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 17 № 4 2022

ISSN 1992-1098
e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.17 no. 4 2022

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

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

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

EDITORIAL BOARD

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

Deputy Editors-in-Chief
Zagirbeg M. Asadulaev, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)
Alimurad A. Gadzhiev, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)
Boris I. Kochurov, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Nukhkadi I. Rabazanov, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)

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

Editorial Executive Secretaries
Aziza G. Gasangadzhieva, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)
Nadira O. Guseynova, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)
Madina G. Daudova, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)
Yuliya Yu. Ivanushenko, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)
Abdulgamid A. Teymurov, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

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

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

© ООО Издательский дом «Камертон», 2022
© Оформление: Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, 2022
Периодичность издания четыре раза в год. Выходит с 2006 года

© Limited Liability Company Publishing House «Kamerton», 2022
© Design: Institute of Ecology and Sustainable Development, DSU, 2022
Published four times annually since 2006

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)
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)
Магомедов М.Д., Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН (Махачкала, Россия)
Матишов Г.Г., Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону, Россия)
Миноранский В.А., Южный Федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)
Москвитина Н.С., Национальный исследовательский Томский государственный университет (Томск, Россия)
Набоженко М.В., Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН (Махачкала, Россия)
Огуреева Г.Н., Московский государственный университет имени 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)
Трифонова Т.А., Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)
Фальк Хюттманн, Университет Аляски в Фербенксе (Аляска, США)
Шестопалова Л.В., Новосибирский государственный университет (Новосибирск, Россия)
Щелканов М.Ю., Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова (Владивосток, Россия)
Яковенко Н.В., Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (Воронеж, Россия)
Яковлев Р.В., Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

EDITORIAL COUNCIL

Alexander Yu. Alekseev, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine (Novosibirsk, Russia)
Askhab M. Askhabov, Komi Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russia)
Anzhela M. Asaturova, Federal Research Centre of Biological Plant Protection (Krasnodar, Russia)
Abtahi Behrooz, Mohammad Hossein, Faculty of Life Sciences & Biotechnology, Shahid Beheshti University (Tehran, Iran)
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)
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)
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

Востоков С.В., Гаджиев А.А., Лобачев Е.Н., Востокова А.С., Рабазанов Н.И., Бархалов Р.М., Сапожников Ф.В., Абтахи Б., Шозаи М.Г.
Развитие и взаимодействие популяций гребневиков *Beroe ovata* Bruguière, 1789 и *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 в прибрежной зоне Среднего Каспия.....8-15

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Садыкова Г.А.
Флора и синтаксономия сообществ с участием *Juniperus oblonga* M. Bieb. Гунибского плато.....16-29
Аджиева А.И., Алиева З.М., Мартемьянова В.К.
Естественное и микроклональное воспроизведение палеоэндемика Дагестана *Scabiosa gumbetica* Boiss.....30-39
Трифонова Т.А., Шоба С.А., Мищенко Н.В., Быкова Е.П., Шутов П.С., Савельев О.В., Репкин Р.В.
Постагрогенные фитоценозы Волжско-Окского междуречья.....40-49
Паштецкий А.В., Ильницкий О.А.
Моделирование особенностей водного режима *Juniperus excelsa* M. Bieb при помощи экофизиологических параметров в условиях Южного берега Крыма.....50-60

ЭКОЛОГИЯ ГРИБОВ

Колпакова В.В., Уланова Р.В., Куликов Д.С., Гулакова В.А., Васильева Л.В., Берестовская Ю.Ю., Черемных Е.Г., Ашихмин А.А.
Использование экологически безопасного микромицета рода *Rhodotorula* для получения кормового каротинсодержащего концентрата.....61-78
Гвоздева М.С., Волкова Г.В.
Изучение влияния комбинированного фунгицида Абакус Ультра на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы.....79-87

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Толкач В.Ф., Щелканов М.Ю.
Вирусные заболевания плодово-ягодных культур на юге российского Дальнего Востока.....88-100
Томашевич Н.С., Сидорова Т.М., Киселева О.И., Курбатов И.Ю., Аллахвердян В.В., Асатурова А.М.
Изучение роли микроэлементов для синтеза антигрибных метаболитов штамма бактерии-антагониста *Bacillus velezensis*.....101-110
Казачинская Е.И., Романова В.Д., Иванова А.В., Чепурнов А.А., Муртазалиева З.А., Кононова Ю.В., Шауло Д.Н., Романюк В.В., Шестопалов А.М.
Ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 *in vitro*.....111-129

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Левыкин С.В., Чибилев А.А., Гулянов Ю.А., Яковлев И.Г., Казачков Г.В.
Современные представления о постцелинном географическом пространстве Евразии и России в свете современных земельных реформ.....130-139
Кашницкая М.А., Болгов М.В.
Гидрологический режим трансграничной реки Ульдза и бессточных Торейских озер в условиях антропогенного воздействия.....140-152
Мишвелов Е.Г., Атаев З.В., Корниенко А.И.
Гидролого-морфологические особенности и геоэкологическое состояние территорий долины равнинной части реки Кумы и их значение в системе цивилизационного развития Центрального Предкавказья периода XVIII–XXI веков.....153-173

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Пономарев А.В., Кремнева О.Ю., Гасиян К.Э., Данилов Р.Ю.
Влияние способов обработки почвы на развитие болезней пшеницы.....174-181

ЛАНДШАФТНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т.
Ландшафтно-гидрологический феномен образования плавучих островов на озере Чебаркуль (Давлетово) в бассейне реки Урал.....182-196
Чибилев А.А., Вельмовский П.В.
Разработка матрицы ландшафтно-восстановительных мероприятий в бассейне трансграничной реки Урал.....197-205

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ахмедова Л.Ш., Магомедова А.А., Раджабова Р.Т.
Применение логико-математических методов для анализа экологической информации.....206-211

Магомедов М.-Р.Д., Рожнов В.В.
Оценка текущего состояния экосистем с учетом разнообразия адвентивных видов.....212-217
Столбунов И.А., Салиенко С.Н., Заботкина Е.А., Извеков Е.И., Скуратовская Е.Н., Сигачева Т.Б., Кирин М.П., Подрезова П.С.
Оценка воздействия электрических полей рыбозащитного устройства на морских рыб.....218-232
Petherbridge G., Gadzhiev A.A., Shestopalov A.M., Alekseev A.Yu., Sharshov K.A., Daudova M.G.
An early warning system for highly pathogenic viruses borne by waterbird species and related dynamics of climate change in the Caspian Sea region: Outlines of a concept.....233-263

ЮБИЛЕИ И ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ
К юбилею Главного редактора научного журнала «Юг России: экология, развитие» Александра Михайловича Шестопалова.....264-265

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....266

ECOLOGY OF ANIMALS

Vostokov S.V., Gadzhiev A.A., Lobachev E.N., Vostokova A.S., Rabazanov N.I., Barkhalov R.M., Sapojnikov Ph.V., Abtahi B., Shojaei M.G.
Development and interaction of ctenophores *Beroe ovata* Bruguière, 1789 and *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 in the coastal zone of the Middle Caspian Sea.....8-15

ECOLOGY OF PLANTS

Sadykova G.A.
Flora and syntaxonomy of communities including *Juniperus oblonga* M. Bieb. on the Gunib Plateau.....16-29
Adzhieva A.I., Alieva Z.M., Martemyanova V.K.
Natural and microclonal reproduction of the Dagestan paleoendemic *Scabiosa gumbetica* Boiss. 30-39
Trifonova T.A., Shoba S.A., Mishchenko N.V., Bykova E.P., Shutov P.S., Saveliev O.V., Repkin R.V.
Postagrogenic phytocenoses of the Volga-Oka interfluve, Russia.....40-49
Pashtetsky A.V., Ilnitsky O.A.
Modeling of various life processes of *Juniperus excelsa* M. Bieb to determine optimal growing conditions in the southern coast of Crimea, Russia.....50-60

ECOLOGY OF FUNGI

Kolpakova V.V., Ulanova R.V., Kulikov D.S., Gulakova V.A., Vasilyeva L.V., Berestovskaya Yu.Yu., Cheremnykh E.G., Ashikhmin A.A.
Use of environmentally safe micromycetes of the genus *Rhodotorula* to obtain fodder carotene-containing concentrate.....61-78
Gvozdeva M.S., Volkova G.V.
Study of the effect of the combined fungicide Abacus Ultra on the population structure of the wheat leaf rust pathogen.....79-87

ECOLOGY OF MICROORGANIZMS

Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Tolkach V.F., Shchelkanov M.Yu.
Viral diseases of fruit and berry crops in the South of the Russian Far East.....88-100
Tomashevich N.S., Sidorova T.M., Kiseleva O.I., Kurbatov I.Yu., Allahverdyan V.V., Asaturova A.M.
Determining the role of microelements for the synthesis of antifungal metabolites of the antagonistic *Bacillus velezensis* strain.....101-110
Kazachinskaia E.I., Romanova V.D., Ivanova A.V., Chepurnov A.A., Murtazalieva Z.A., Kononova Yu.V., Shaulo D.N., Romanyuk V.V., Shestopalov A.M.
Inhibitory activity of dry ethanol extracts of *Artemisia* spp. on SARS-CoV-2 replication *in vitro*.....111-129

GEOECOLOGY

Levykin S.V., Chibilev A.A., Gulyanov Yu.A., Yakovlev I.G., Kazachkov G.V.
Advanced views regarding the post-virgin land geographical space of Eurasia and Russia in the light of current land reforms.....130-139
Kashnitskaya M.A., Bolgov M.V.
Hydrological regime of the transboundary Uldza River and terminal Torey Lakes under conditions of anthropogenic impact.....140-152
Mishvelov E.G., Ataev Z.V., Kornienko A.I.
Hydrological and morphological features and geoecological condition of the territories of the plains area of the Kuma River valley and their significance in the system of civilizational development of the Central Pre-Caucasus in the 18th–21st centuries.....153-173

AGRICULTURAL ECOLOGY

Ponomarev A.V., Kremneva O.Yu., Gasiyan K.E., Danilov R.Yu.
Influence of tillage methods on the development of wheat diseases Aestivum and Fontum.....174-181

LANDSCAPE ECOLOGY

Pavleichik V.M., Sivohip Zh.T.
Landscape-hydrological phenomenon of the formation of floating islands on Lake Chebarkul (Davletovo) in the Ural River basin, Russia.....182-196
Chibilev A.A., Velmovskiy P.V.
Development of a matrix of landscape restoration measures in the basin of the transboundary Ural River.....197-205

METHODS OF ENVIRONMENTAL STUDIES

Akhmedova L.Sh., Magomedova A.A., Radjabova R.T.
Application of logical and mathematical methods for the analysis of environmental information.....206-211
Magomedov M.-R.D., Rozhnov V.V.
Assessment of the current state of ecosystems taking into account the diversity of adventitious species.....212-217

Stolbunov I.A., Salienko S.N., Zabotkina E.A., Izvekov E.I., Skuratovskaya E.N., Sigacheva T.B., Kirin M.P., Podrezova P.S.
Exploring the effect on marine fish of electric fields of a fish-protection……218-232
Petherbridge G., Gadzhiev A.A., Shestopalov A.M., Alekseev A.Yu., Sharshov K.A., Daudova M.G.
An early warning system for highly pathogenic viruses borne by waterbird species and related dynamics of climate change in the Caspian Sea region: Outlines of a concept……233-263

ANNIVERSARIES AND MEMORABLE DATES
For the anniversary of the Editor-in-Chief of the scientific journal “South of Russia: Ecology, Development” Alexander Mikhailovich Shestopalov……264-265

CONTACT INFORMATION……266

Оригинальная статья / Original article
УДК 551.465
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-8-15

Развитие и взаимодействие популяций гребневиков *Beroe ovata* Bruguière, 1789 и *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 в прибрежной зоне Среднего Каспия

Сергей В. Востоков[1], Алимурад А. Гаджиев[2], Евгений Н. Лобачев[3], Анастасия С. Востокова[1], Нухкади И. Рабазанов[3], Руслан М. Бархалов[3,4], Филипп В. Сапожников[1], Бехруз Абтахи[5], Мехди Г. Шозаи[6]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
[2]Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия
[3]Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия
[4]Государственный природный заповедник «Дагестанский», Махачкала, Россия
[5]Факультет наук о жизни и биотехнологии, Университет имени Шахида Бехешти, Тегеран, Иран
[6]Факультет природных ресурсов и морских наук, Университет Тарбиат Модарес, Нур, Иран

Контактное лицо
Сергей В. Востоков, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН; 117997 Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, 36.
Тел. +79096236875
Email vostokov_s@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0754-9325

Формат цитирования
Востоков С.В., Гаджиев А.А., Лобачев Е.Н., Востокова А.С., Рабазанов Н.И., Бархалов Р.М., Сапожников Ф.В., Абтахи Б., Шозаи М.Г. Развитие и взаимодействие популяций гребневиков *Beroe ovata* Bruguière, 1789 и *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 в прибрежной зоне Среднего Каспия // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 8-15. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-8-15

Получена 17 октября 2022 г.
Прошла рецензирование 9 ноября 2022 г.
Принята 11 ноября 2022 г.

Резюме

Цель. Анализ распространения и состояния популяций *Beroe ovata* и *Mnemiopsis leidyi* и оценка параметров их взаимодействия в западной части Среднего Каспия.

Материал и методы. Материал получен в западной и восточной частях Среднего Каспия в сентябре–октябре 2022 года. Для учета гребневиков использовали большую конусную сеть (КБ) с площадью входного отверстия 0.5 м^2 и ячеей 500 мкм. Пробы зоопланктона отбирали сетью Джеди, с площадью захвата фильтрующего конуса 0.1 м^2. Количество и размеры крупных гребневиков определяли непосредственно после отбора, учет личинок и яиц проводили в пробах, фиксированных формалином до конечной концентрации 4%.

Результаты. В сентябре-октябре 2022 г. на акватории Среднего Каспия была зафиксирована развитая популяция *Beroe ovata* с признаками активного размножения. Зона обитания *B. ovata* значительно расширилась на север по сравнению с 2021 г. Отмечено полное подавление популяции мнемиопсиса гребневиком берое на большей части западного шельфа. Общая численность берое достигала 48 экз/м^2, биомасса – 12 г/м^2. Единичные крупные особи берое обнаружены на севере Среднего Каспия при солености 5.7 psu. В структуре мезозоопланктона по-прежнему доминировала мелкая копепода *Acartia tonsa.*

Заключение. Новые данные свидетельствуют об активном освоении гребневиком *Beroe ovata* акватории Каспийского моря, что имеет принципиальное значение для восстановления Каспийской экосистемы. Поступательная адаптация берое к условиям Каспийского моря привела к расширению зоны его распространения на север Среднего Каспия в районы с низкой соленостью. Полное подавление новым вселенцем популяции *M. leidyi* на большей части шельфа Среднего Каспия, свидетельствует об усилении пресса гребневика берое на популяцию мнемиопсиса по сравнению с соответствующим периодом 2021 г.

Ключевые слова
Каспийское море, экосистема, биологические инвазии, гребневики-вселенцы, *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe* o*vata.*

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Development and interaction of ctenophores *Beroe ovata* Bruguière, 1789 and *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 in the coastal zone of the Middle Caspian Sea

Sergey V. Vostokov[1], Alimurad A. Gadzhiev[2], Evgeny N. Lobachev[3], Anastasia S. Vostokova[1], Nukhkadi I. Rabazanov[3], Ruslan M. Barkhalov[3,4], Philipp V. Sapojnikov[1], Behrooz Abtahi[5] and Mehdi G. Shojaei[6]

[1]P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (IO RAS), Moscow, Russia
[2]Dagestan State University, Makhachkala, Russia
[3]Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia
[4]Dagestansky State Natural Reserve, Makhachkala, Russia
[5]Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[6]Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Principal contact
Sergey V. Vostokov, Senior Scientist, Department of Biology, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (IO RAS); 36 Nakhimovsky Prospekt, Moscow, Russia 117997.
Tel. +79096236875
Email vostokov_s@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0754-9325

How to cite this article
Vostokov S.V., Gadzhiev A.A., Lobachev E.N., Vostokova A.S., Rabazanov N.I., Barkhalov R.M., Sapojnikov Ph.V., Abtahi B., Shojaei M.G. Development and interaction of ctenophores *Beroe ovata* Bruguière, 1789 and *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 in the coastal zone of the Middle Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 8-15. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-8-15

Received 17 October 2022
Revised 9 November 2022
Accepted 11 November 2022

Abstract

Aim. Analysis of the distribution and status of ctenophores *Beroe ovata* and *Mnemiopsis leidyi*, and assessment of the parameters of their interaction in the Middle Caspian Sea.

Material and Methods. The material was obtained in the western and eastern parts of the Middle Caspian Sea in September–October 2022. Large ctenophores were collected using a big cone plankton net with a 0.5 m^2 opening and a 500 µm, mesh size. The number and size of large ctenophores were determined immediately after collection, larvae and eggs were counted in samples fixed with formalin to a final concentration of 4%. Zooplankton samples were collected by the Juday plankton net (0.1 m^2 opening, 180 µm mesh size).

Results. In September-October 2022, a developed population of *Beroe ovata* with active reproduction was recorded in the waters of the Middle Caspian Sea. The habitat area of *B. ovata* has significantly expanded to the north compared to 2021. Complete suppression of the *Mnemiopsis* population by the *Beroe* was observed on most of the western and eastern shelf, as well. The total number of *Beroe* reached 48 ind/m^2, biomass – 12 g/m^2. Single large individuals were found in the north of the Middle Caspian Sea at salinity 5.7 psu. The structure of mesozooplankton was still dominated by the small copepod *Acartia tonsa*.

Conclusion. New data indicate the active development of the *Beroe ovata* in the Caspian Sea, which presents a fundamental challenge for the restoration of the Caspian ecosystem. The progressive adaptation of *Beroe* to the conditions of the Caspian Sea has led to its expansion to the north of the Middle Caspian Sea in areas with low salinity. A complete suppression of the *M. Leidyi* population by the new alien noted on most of the shelf indicates an increase in its pressure on the *Mnemiopsis* population compared to the corresponding period of 2021.

Key Words
Caspian Sea, ecosystem, ctenophores, *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe ovata*.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Случайная интродукция гребневика *Mnemiopsis leidyi* [1; 2], привела к негативным изменениям в экосистеме Каспийского моря [3; 4]. Не имея в Каспии естественных врагов, обладая широким спектром питания и высокой интенсивностью размножения, гребневик мнемиопсис получил существенные экологические преимущества перед пищевыми конкурентами – рыбами планктофагами. Его массовое развитие уже в первые годы инвазии (1998–2002) достигло уровня экологической катастрофы [4–6]. Существенно подорвав кормовую базу планктоноядных рыб, гребневик привел в упадок морское рыболовство [7].

Появление в Каспийском море хищного гребневика *Beroe ovata* (рис. 1) является важным событием для дальнейшей эволюции каспийской экосистемы [5; 6]. Развитие популяции *B. ovata* в Каспийском море по Черноморскому сценарию [8–12], может способствовать восстановлению Каспийской экосистемы и ее рыбных ресурсов.

Гидрологические и гидрохимические условия Каспийского моря неблагоприятны для средиземноморского гребневика *B. ovata*. Поэтому адаптация берое к новым условиям среды будет играть принципиальную роль в освоении гребневиком акватории Каспийского моря. Первые годы наблюдений выявили факторы среды, ограничивающие расширение ареала берое в Каспии. Так в 2021 г. распространение гребневика на север в Среднем Каспии ограничивалось соленостью 5.5–6.0 psu [6]. Пределы температурной адаптации берое, которые определяют продолжительность воздействия берое на популяцию мнемиопсиса в течение годового цикла развития на данном этапе исследованы недостаточно.

Рисунок 1. Гребневик *Beroe ovata* – в Каспийском море
Figure 1. The ctenophore *Beroe ovata* – in the Caspian Sea

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в водах западного шельфа Среднего Каспия в сентябре–октябре 2022 года на семи опорных станциях, расположенных вдоль изобаты 10 м (рис. 2).

Количественный учет гребневиков проводили с использованием большой конусной сети (КБ) с площадью входного отверстия 0.5 м^2 и размером ячеи 500 мкм. Пробы зоопланктона отбирали сетью Джеди с площадью захвата фильтрующего конуса 0.1 м^2 с размером ячеи 180 мкм. Сетные ловы проводили тотально от дна до поверхности [6; 13]. Для изучения размерной характеристики популяции выполняли 2–3 лова большой конусной сетью. Для уточнения факта наличия или отсутствия гребневиков в планктоне количество ловов увеличивали до 10. Гребневики размером более 2 мм учитывались и измерялись непосредственно после отбора проб. Количество и размеры мелких гребневиков, личинок и яиц определяли в пробах, фиксированных формалином до конечной концентрации 4%, с применением бинокулярных микроскопов МБС-10 и Olympus SZ51. Биомассу гребневиков определяли исходя из численности и размеров тела, а также путем взвешивания [6]. Параллельно с отбором проб планктона были проведены измерения температуры и солености воды. Данные о динамике температуры поверхностного слоя в среднем и Южном Каспии получены на основе измерений сканера MODIS Aqua http://oceancolor.gsfc.nasa.gov. [14].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С середины сентября по ноябрь 2022 года на акватории западного шельфа Среднего Каспия были изучено распределение и размерная структура популяций, проведена оценка взаимодействия гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata.*

В октябре 2022 г. на большей части западного шельфа Среднего Каспия, а также на восточном шельфе субрегиона было зафиксировано присутствие гребневика *B. ovata.* Максимальная численность берое достигала 48 экз/м^2, биомасса – 12 г/м^2 (сырой вес). Популяция *B. ovata* осенью 2022 г. имела примерно такой же размерный спектр, что и в октябре 2021 г.,

когда в планктоне преобладали личинки и мелкие особи в размерном диапазоне от 2 до 20 мм. Максимальный размер берое в 2022 г. в районе исследований не превышал 30 мм. В восточной части Среднего Каспия численность берое в районе 15-м изобаты составила 10–30 экз/м^2. Преобладали особи в размерном диапазоне 2–10 мм. В мелководных лагунах восточного побережья Среднего Каспия обнаружены более крупные особи размером до 26 мм. Концентрация крупных гребневиков на мелководье достигала 0.5 экз/м^3. Размерная характеристика популяций гребневиков в западной части Среднего Каспия представлена в таблице 1.

Таблица 1. Численность гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* в прибрежных водах западной части Среднего Каспия
Table 1. Enumeration of samples of ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* in western part of the Middle Caspian

Место сбора проб Sample collection location	**Мнемиопсис, экз/м^2** *Mnemiopsis,* ind/м^2				**Берое, экз/м^2** *Beroe,* ind/м^2			
	2–5 мм (mm)	5–10 мм (mm)	10<30 мм (mm)	Общая Total	2–5 мм (mm)	5–10 мм (mm)	10<30 мм (mm)	Общая Total
Самур Samur	1	2	0	3	44	2	2	48
Дербент Derbent	1	1	0	2	32	3	8	43
Новокаякент Novokaikent	0	1	0	1	21	15	4	40
Махачкала Makhachkala	182	8	0	190	3	2	1	6
Сулак Sulak	516	68	12	596	0	0	1	1
Терек Terek	840	23	17	880	0	0	0	0

Приведенные данные показывают, что по численности преобладают гребневики размером 2–5 мм. Биомассу в основном формировали крупные особи.

Таким образом, для популяций обоих вселенцев характерно преобладание мелких особей, что, возможно, является признаком адаптации к неблагоприятным условиям среды. Показательно, что присутствие даже небольшого количества особей гребневика берое (5–6 экз/м^2) в планктоне приводит к значительному снижению численности мнемиопсиса (см. табл. 1).

Граница проникновения берое вдоль Дагестанского побережья на север в осенний сезон 2021 года была зафиксирована на широте г. Дербент. Соленость морской воды на северной границе ареала в 2021 г. составляла 5.5 psu, а температура – 16.0°C. При этом основной пищевой объект берое – гребневик мнемиопсис был распространен в этот период вдоль всего западного шельфа Среднего и Северного Каспия (рис. 2). Полного выедания мнемиопсиса гребневиком берое осенью 2021 г. в прибрежных районах Среднего Каспия не наблюдалось.

Осенью 2022 года отдельные особи берое были обнаружены в районе п. Сулак, т.е. на 200 км севернее, чем в 2021 г.

Соленость на северной границе проникновения берое осенью 2022 г. составила 5.7 psu, а температура 14.2°C. Здесь в условиях развитой популяции *M. leidyi* при низких значениях солености были обнаружены единичные относительно крупные особи *B. ovata* без признаков размножения. При этом в южной и центральной областях западного шельфа Среднего Каспия до Махачкалы, а также на востоке субрегиона отмечалось активное размножение берое. На большей части исследованной акватории в 2022 г. было зафиксировано полное подавление популяции мнемиопсиса новым вселенцем гребневиком берое (см. рис. 2). Аналогичная ситуация в октябре 2022 г. наблюдалась и у восточного побережья Среднего Каспия.

Ежегодное развитие популяции берое в Каспийском море зависит от многих факторов. Среди них особое значение имеют условия зимовки берое в Южном Каспии и адаптация к низкой солености и температуре, которая определяет пространственные и временные масштабы ежегодного распространения гребневиков на акватории Среднего и Северного Каспия. Незначительное снижение зимних температур в южном и Среднем Каспии 2021–2022 (рис. 3) не повлияло на летнее развитие популяций гребневиков.

При этом в 2022 наблюдалось расширение ареала берое в прибрежных водах Среднего Каспия в осенний период по сравнению с 2021 годом. Обнаружение единичных особей берое в северных районах Среднего Каспия свидетельствует о существовании механизмов проникновения гребневиков в воды Северного Каспия, отличающиеся низкой соленостью. Ежегодное расселение гребневиков во многом определяется общей циркуляцией вод, обеспечивающей водообмен между Южным, Средним и Северным Каспием [15; 16]. В Северном Каспии большую роль также играет сгонно-нагонная циркуляция, определяемая локальным ветровым воздействием. Ветровые нагонные явления

способствуют проникновению морских организмов далеко на север в зону речного влияния. Благодаря данным процессам гребневики, переносимые течениями из Южного и Среднего Каспия, могут попадать в неблагоприятные условия среды, препятствующие развитию популяции. Подобная ситуация, по-видимому, наблюдалась нами в 2022 году на границе Среднего и Южного Каспия, где в условиях низкой солености параллельно с развитой популяцией *M. leidyi* были обнаружены единичные особи берое при отсутствии признаков размножения. Необходимо отметить, что северная граница распространения берое в 2021 и 2022 гг., значительно различаясь по широте, соответствовала одним и тем же значениям солености. Не исключено, что распределение солености в прибрежных водах Среднего Каспия в 2022 г., отличное от такового в 2021 г., во многом способствовало проникновению гребневиков на север субрегиона.

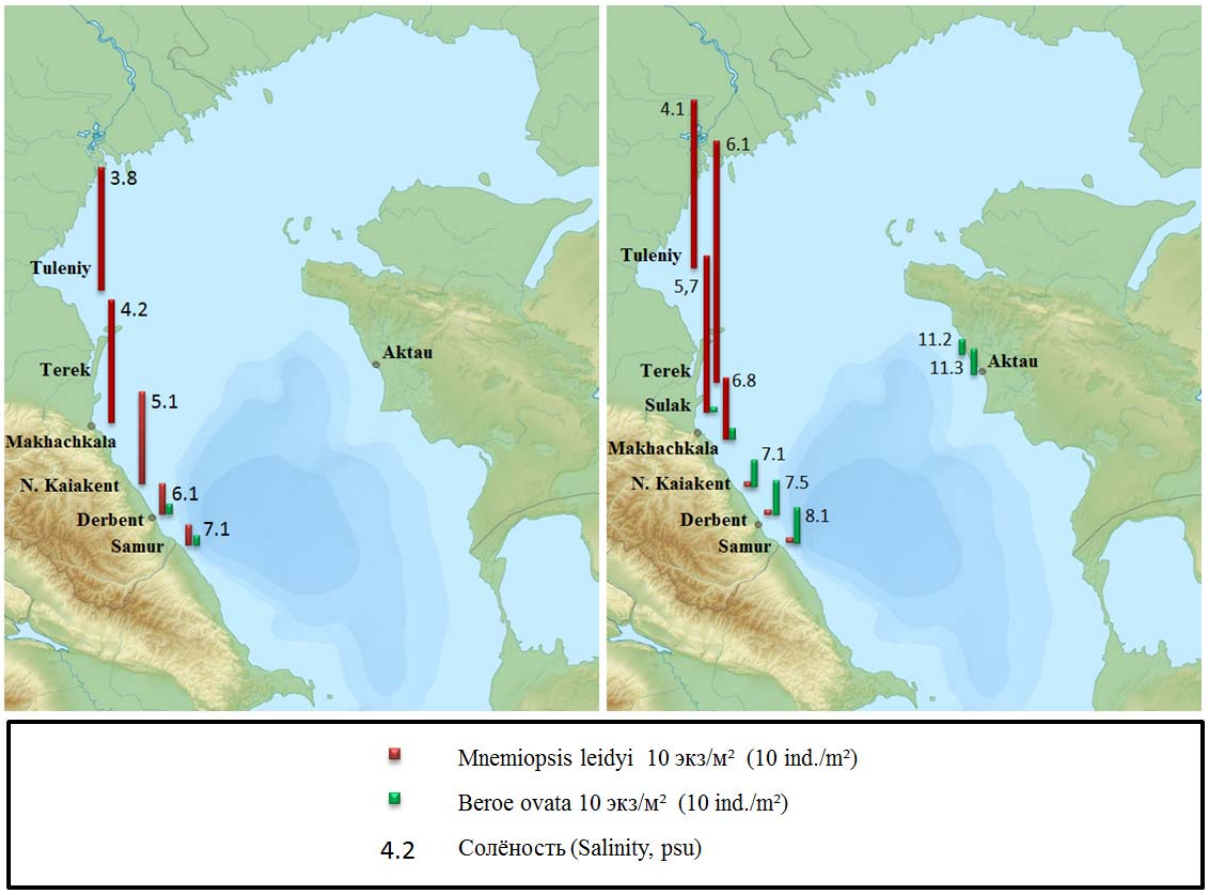


Рисунок 2. Распределение численности гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* в акваториях западного и восточного шельфов Среднего Каспия в 2021 (слева) и 2022 (справа) гг.
Цифры – соленость (psu)
Figure 2. Distribution of ctenophores *Mnemiopsisl leidyi* and *Beroe ovata* in the waters of the western and eastern shelves of the Middle Caspian Sea in 2021 (left) and 2022 (right)
Numbers – salinity (psu)

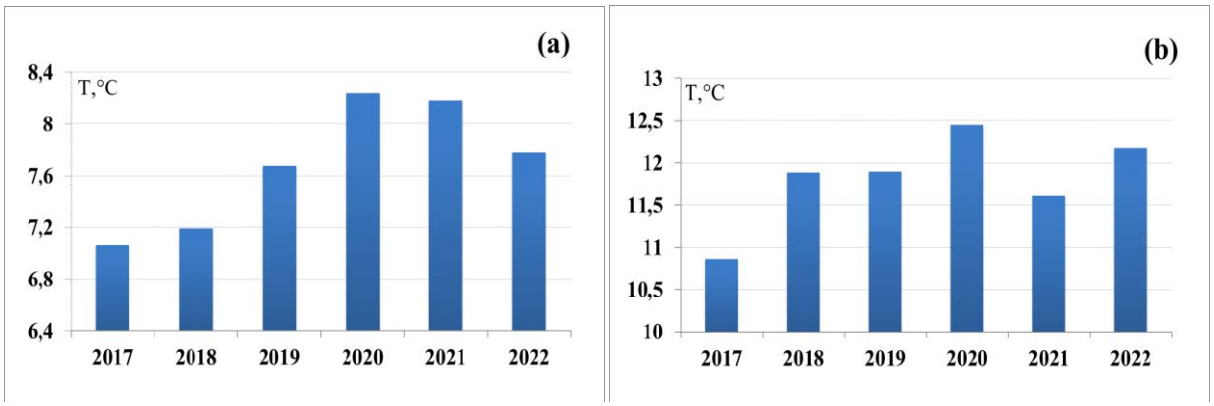


Рисунок 3. Динамика средней зимней температуры (январь–март) поверхностного слоя в Среднем (a) и Южном Каспии (b) за последние пять лет по данным сканера MODIS Aqua
Figure 3. The dynamics of average winter surface layer temperatures in the middle (a) and southern (b) Caspian Sea (MODIS Aqua)

Выживание и размножение берое в районах выселения определяется набором природных условий, среди которых ведущую роль играют соленость, температура, наличие пищи. Интегральное воздействие берое на популяцию мнемиопсиса в Каспийском море определяется как масштабами его пространственного распределения в цикле сезонного развития, так и продолжительностью воздействия. Оценка пространственно-временных параметров взаимодействия гребневиков, а также дальнейшей адаптации берое к химическому составу вод Каспийского моря имеет принципиальное значение и составит предмет будущих исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований 2022 г. были получены важные результаты, свидетельствующие о поступательной адаптации гребневика *Beroe ovata* к условиям Каспийского моря. По сравнению с 2021 г. граница распространения берое в водах западного шельфа значительно продвинулась на север. Также расширилась зона активного размножения берое, которая ограничивалась ранее южными районами Дагестанского шельфа. Отмечено усиление пресса берое на популяцию мнемиопсиса в прибрежных водах Среднего Каспия до полного ее подавления на большей части исследованной акватории. Аналогичная ситуация наблюдалась и на восточном шельфе субрегиона. Зафиксировано проникновение отдельных крупных особей *B. ovata* в районы с низкой соленостью на границе Среднего и Северного Каспия. Полученные новые данные свидетельствуют об активном освоении гребневиком берое акватории Каспийского моря и поступательной адаптации к неблагоприятным условиям среды. В целом отмечается расширение экспансии нового вселенца в Каспийском море и увеличение пресса на популяцию мнемиопсиса. Существенных изменений количественных и структурных характеристик зоопланктона, связанных с ослаблением влияния мнемиопсиса, пока не наблюдается.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Авторы благодарят д.б.н. Мокиевского В. О. и с.н.с. Максимову О. В. за критику и полезное обсуждение результатов, д.г.н. Завьялова П.О. и д.ф.-м.н. Костяного А.Г. за содействие в сборе научного материла, а также руководство Государственного природного заповедника «Дагестанский» за организационную и материально-техническую помощь в проведении исследований.
2. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20–54–56053, гранта ННФИ № 99003103 и Госзадания № 0128-2021-0004.

ACKNOWLEDGMENT

1. The authors express their gratitude to Professor V.O. Mokievsky and senior scientist O. V. Maximova for their criticism and useful discussion of the results, Prof. P.O. Zavialov and Prof. A.G. Kostianoy for the assistance in data collecting, as well as the management of the State Nature Reserve "Dagestansky" for logistical assistance in organizing and providing of the research.
2. This work was funded by RFBR according to the research project № 20–54–56053, INSF, project number № 99003103 and State Assignment, project № 0128–2021-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ivanov V.P., Kamakin A.M., Ushivtzev V.B., Shiganova T.A., Zhukova O., Aladin N., Susan I., Wilson S.I., Harbison G.R., Dumont H.J. Simultaneous invasion of the Caspian Sea by two jellies Mnemiopsis and Aurelia // Journal Biological Invasions. 2000. N 2. P. 255–258.
2. Востоков С.В., Ушивцев В.Б., Лисицын Б.Е., Соловьев Д.М. Летнее состояние популяции гребневика *Mnemiopsis leidyi* – вселенца в Каспийском море и его связь с условиями среды обитания // Океанология. 2004. Т. 44. N1. С. 90–98.
3. Камакин А.М., Чиженкова О.А., Зайцев В Ф. Влияние *Mnemiopsis leidyi* на некоторые трофические звенья Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2010. N 2. С. 33–42.
4. Камакин А.М., Зайцев В.Ф. Закономерности многолетней и межсезонной динамики популяции гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Каспийском море // Юг России: экология, развитие. 2012. N 1. С. 96–103.
5. Востоков С.В., Гаджиев А.А., Востокова А.С., Рабазанов Н.И. Гребневик *Beroe* cf. *ovata* в Каспийском море. Начало нового этапа эволюции Каспийской экосистемы? // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 4. С. 21–35. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-21-35
6. Востоков С.В., Востокова А.С., Лобачев Е.Н., Реза Рахнама Харатбар, Бехруз Абтахи, Тумалаева О.М., Рабазанов Н.И. Новые данные о гребневике *Beroe ovata* – вселенце в Каспийское море // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 4. С. 18–26. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-18-26
7. Камакин А.М., Ходоревская Р.П. Влияние популяции вселенца *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz. 1865 на рыбное население каспийского моря // Биология внутренних вод. 2018. N 2. С. 51–56.
8. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Анохина Л.Л., Востоков С.В., Кучерук Н.В., Лукашева Т.А. Массовое развитие гребневика *Beroe ovata* Eschocholtz у северо-восточного побережья Черного моря // Океанология. 2000. Т. 40. N 1. С. 52–55.
9. Востоков С.В., Арашкевич Е.Г., Дриц А.В., Лукашев Ю.Ф. Эколого-физиологические характеристики гребневика *Beroe ovata* в прибрежной зоне Черного моря: численность, биомасса, размерная характеристика популяции, поведение, питание, метаболизм //Океанология. 2001. Т. 41. N 1. С. 109–115.
10. Арашкевич Е.Г., Анохина Л.Л., Востоков С.В., Луппова Н.Е. Репродукционная стратегия гребневика *Beroe ovata* (Ctenophora. Atentaculata. Beroida) – нового вселенца в Черное море // Океанология. 2001. Т. 41. N 2. С. 116–120.
11. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Vostokov S.V., Vereshchaka A.L., Lukasheva T.A. Interaction between the populations of the ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* off the Caucasian coast of the black sea // Oceanology. 2002. Т. 42. N 5. С. 661–669.
12. Луппова Н.Е., Арашкевич Е.Г. Современное состояние черноморского макрозоопланктона в шельфовой зоне моря. В кн.: Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана. Сборник тезисов научно-практической школы-конференции. 2018. С. 90–91.
13. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Лукашева Т.А., Лебедева Л.П. Востоков С.В. Сравнительное использование различных орудий лова планктона при мониторинге многолетних изменений черноморских сообществ // Океанология. 2003. Т. 43. N 5. С. 744–750.
14. NASA's OceanColor Web. URL: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov (дата обращения: 06.11.2022)
15. Lebedev S.A., Kostianoy A.G. Interannual variability of water exchange anomalies between the Northern, Middle and

Southern Caspian based on satellite altimetry data - Ecologica Montenegrina, 2019. V. 25. P. 106–115.
16. Lebedev S.A., Kostianoy A.G., Ginzburg A.I. Dynamics of the Caspian Sea basing on the instrumental measurements, numerical modeling, and remote sensing data. In: “Applied aspects in geology, geophysics, and geoecology with the use of modern information technologies”, Materials of III International Conference, Maikop, 2015. P. 146–179.

REFERENCES

1. Ivanov V.P., Kamakin A.M., Ushivtzev V.B., Shiganova T.A., Zhukova O., Aladin N., Susan I., Wilson S.I., Harbison G. R., Dumont H.J. Simultaneous invasion of the Caspian Sea by two jellies Mnemiopsis and Aurelia. Journal Biological Invasions. 2000, no. 2, pp. 255–258.
2. Vostokov S.V., Ushivtsev V.B., Lisitsyn B.E., Solovyov D.M. Summer state of the population of *Mnemiopsis leidyi* – an invader in the Caspian Sea and its relation to habitat conditions. Okeanologiya [Oceanology]. 2004, vol. 44, no. 1, pp. 90–98. (In Russian)
3. Vostokov S.V., Gadgiev A.A., Vostokova A.S., Rabazanov N.I. The ctenophore *Beroe cf. ovata* in the Caspian Sea. The beginning of a new stage in the evolution of the Caspian ecosystem? *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 21–35. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-421-35
4. Vostokov S.V., Vostokova A.S., Lobachev E.N., Tumalaeva O.M., Rabazanov N.I. Rahnama Haratbar Reza, Abtahi Behrooz, Tumalaeva O.M., Rabazanov N.I. New data on the ctenophore *Beroe ovata*, an invader to the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 18–26. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-18-26
5. Kamakin A.M., Chizenkova O.A., Zaizev V.F. *Mnemiopsis leidyi* impact on some trophical chains of the Caspian Sea. Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology, development]. 2010, vol. 5, no. 2, pp. 67–74. (In Russian)
6. Kamakin A.M., Zaitsev V.F. Regularities of long-term and interseasonal dynamics of the ctenophore Mnemiopsisleidyi population in the Caspian Sea. Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology, development]. 2012, vol. 7, no. 1, pp. 96–102. (In Russian)
7. Kamakin A.M., Khodorevskaya R.P. Impact of the alien species *Mnemiopsis leidyi A. Agassiz,* 1865 on fish of the Caspian Sea. *Inland Water Biology*, 2018, no. 2, pp. 51–56. (In Russian) DOI: 10.7868/S0320965218020067
8. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Anokhina L.L., Vostokov S.V., Kucheruk N.V., Lukasheva T.A. Mass development of the *Beroe ovata* eschocholtz near the North-Eastern coast of the Black Sea. Okeanologiya [Oceanology]. 2000, vol. 40, no. 1, pp. 52–55. (In Russian)
9. Vostokov S.V., Arashkevich E.G., Drits A.V., LukashevYu.F. Ecological and physiological characteristics of the ctenophore *Beroe ovata* in the coastal zone of the Black Sea: population, biomass, size characteristics of the population, behavior, nutrition, metabolism. Okeanologiya [Oceanology]. 2001, vol. 41, no. 1, pp. 109–115. (In Russian)
10. Arashkevich E.G., Anokhina L.L., Vostokov S.V., Luppova N.E. Reproductive strategy of the ctenophore *Beroe ovata* (Ctenophora. Tentaculata. Beroida) – a new invader in the Black Sea. Okeanologiya [Oceanology]. 2001, vol. 41, no. 2, pp. 116–120. (In Russian)
11. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Vostokov S.V., Vereshchaka A.L., Lukasheva T.A. Interaction between the populations of the ctenophores Mnemiopsis leidyi and Beroe ovata off the Caucasian coast of the Black sea. Oceanology. 2002, vol. 42, no. 5, pp. 661–669.
12. Luppova N.E., Arashkevich E.G. [Current state of the Black Sea macrozooplankton in the shelf zone of the sea]. In: Nazemnye i morskie ekosistemy Prichernomor'ya i ikh okhrana [Terrestrial and marine ecosystems of the black sea region and their protection]. 2018, pp. 90–91. (In Russian)
13. Shushkina E.A., Vinogradov M.E., Lukasheva T.A., Lebedeva L.P., Vostokov S.V. Comparative use of various plankton fishing tools for monitoring long-term changes in the black sea communities. Okeanologiya [Oceanology]. 2003, vol. 43, no. 5, pp. 744–750. (In Russian)
14. NASA's OceanColor Web. Available at: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov (accesses 06.11.2022)
15. Lebedev S.A., Kostianoy A.G. Interannual variability of water exchange anomalies between the Northern, Middle and Southern Caspian based on satellite altimetry data. Ecologica Montenegrina, 2019, vol. 25, pp. 106–115.
16. Lebedev S.A., Kostianoy A.G., Ginzburg A.I. Dynamics of the Caspian Sea basing on the instrumental measurements, numerical modeling, and remote sensing data. In: “Applied aspects in geology, geophysics, and geoecology with the use of modern information technologies”, Materials of III International Conference, Maikop, 2015, pp. 146–179. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей В. Востоков собрал и обработал полевые данные, проанализировал результаты, написал рукопись статьи. Алимурад А. Гаджиев проанализировал полевые данные, участвовал в написании рукописи. Евгений Н. Лобачев собрал, обработал и проанализировал полевые данные. Анастасия С. Востокова обработала полевые данные, собрала и проанализировала климатические данные, подготовила иллюстрации, участвовала в написании рукописи. Нухкади И. Рабазанов и Руслан Бархалов проанализировали результаты исторических данных, участвовали в написании рукописи. Филипп В. Сапожников собрал, обработал и проанализировал полевые данные. Бехруз Абтахи, Мехди Г. Шозаи проанализировал полевые данные, участвовал в написании рукописи. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey V. Vostokov collected and processed field data, analysed results and partipated in writing the manuscript. Alimurad A. Gadzhiev analysed results and participated in writing the manuscript. Evgeny N. Lobachev collected, processing and analysed field data. Anastasia S. Vostokova processed field data, collected and analysed climate data, prepared illustrations and participated in writing the manuscript. Nukhkadi I. Rabazanov and Ruslan M. Barkhalov analysed results and historical data and participated in writing the manuscript. Philipp V. Sapojnikov collected and processed field data. Behrooz Abtahi and Mehdi G. Shojaei analysed field data and participated in the writing of the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID
Сергей В. Востоков / Sergey V. Vostokov https://orcid.org/0000-0002-0754-9325
Алимурад А. Гаджиев / Alimurad A. Gadzhiev https://orcid.org/0000-0002-7359-1951
Евгений Н. Лобачев / Evgeny N. Lobachev https://orcid.org/0000-0001-7688-8454
Анастасия С. Востокова / Anastasia S. Vostokova https://orcid.org/0000-0002-8547-3776
Нухкади И. Рабазанов / Nukhkadi I. Rabazanov https://orcid.org/0000-0001-7664-6308
Руслан М. Бархалов / Ruslan M. Barkhalov https://orcid.org/0000-0003-0210-4236
Филипп В. Сапожников / Philipp V. Sapojnikov https://orcid.org/0000-0002-3239-6543
Бехруз Абтахи / Behrooz Abtahi https://orcid.org/0000-0002-4049-0505
Мехди Годрати Шозаи / Mehdi G. Shojaei https://orcid.org/0000-0002-5594-3730

Оригинальная статья / Original article
УДК 581.93: 581.55 (470/67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-16-29

Флора и синтаксономия сообществ с участием *Juniperus oblonga* M. Bieb. Гунибского плато

Гульнара А. Садыкова
Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо
Гульнара А. Садыкова, кандидат биологических наук, Горный ботанический сад ДФИЦ РАН; 367000, Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45
Тел. +79288095458
Email sadykova_gula@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8604-1572

Формат цитирования
Садыкова Г.А. Флора и синтаксономия сообществ с участием *Juniperus oblonga* M. Bieb. Гунибского плато // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 16-29. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-16-29

Получена 8 июля 2022 г.
Прошла рецензирование 14 сентября 2022 г.
Принята 20 сентября 2022 г.

Резюме

Цель. Выделить и описать сообщества с участием *Juniperus oblonga* на Гунибском плато. Провести таксономический, географический, биоморфологический анализ флоры сообществ.

Материал и методы. Исследования проводили методом закладки пробных площадей. Проведено 15 геоботанических описаний. Камеральная обработка данных проведена методом табличного эколого-фитоценотического анализа. Анализ флоры сообществ проводили по общепринятым методикам флористических исследований.

Результаты. Флора можжевеловых редколесий Гунибского плато представлена 185 видами из 124 родов и 41 семейства. По результатам географического анализа выделено 19 геоэлементов из 4 геотипов, из которых наиболее представлены виды бореальной группы (53,8%) кавказского геоэлемента (31,9%). Об уникальности и оригинальности флоры можжевеловых сообществ на плато свидетельствует наличие редких и исчезающих (2,7%), эндемичных (28,1%) и реликтовых видов (14,1%). Разработана эколого-фитоценотическая классификация сообществ с участием *Juniperus oblonga* на Гунибском плато, выделены 4 ассоциации, 5 субассоциаций и 5 вариантов. Составлен продромус.

Заключение. Можжевеловые редколесья представляют собой один из основных типов растительности Гунибского плато, включающий треть флоры плато с высокой степенью оригинальности и уникальности, а комплекс абиотических факторов, изменяющихся вдоль высотного градиента, микрорельефа и по экспозициям склонов, является определяющим при смене доминантов в сообществах можжевеловых редколесий.

Ключевые слова
Флора, синтаксономия, Гунибское плато, *Juniperus oblonga* M.Bieb., Дагестан, структура флоры, геоботаника, можжевеловые редколесья, растительное сообщество.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Flora and syntaxonomy of communities including *Juniperus oblonga* M. Bieb. on the Gunib Plateau

Gulnara A. Sadykova
Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact
Gulnara A. Sadykova, Candidate of Biological Sciences, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 45 M. Gadzhiev St, Makhachkala, Russia 367000.
Tel. +79288095458
Email sadykova_gula@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8604-1572

How to cite this article
Sadykova G.A. Flora and syntaxonomy of communities including *Juniperus oblonga* M. Bieb. on the Gunib Plateau. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 16-29. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-16-29

Received 8 July 2022
Revised 14 September 2022
Accepted 20 September 2022

Abstract
Aim. To identify and describe communities which include Juniperus oblonga on the Gunib Plateau. To conduct a taxonomic, geographical, biomorphological analysis of the flora of these communities.
Material and Methods. The research was carried out by the method of the laying of trial plots. 15 geobotanical descriptions were undertaken. Office data processing was carried out using tabular ecological-phytocenotic analysis. Analysis of the flora of the communities was carried out according to generally accepted methods of floristic research.
Results. The flora of the juniper woodlands of the Gunib Plateau is represented by 185 species from 124 genera and 41 families. According to the results of geographical analysis, 19 geoelements were identified from 4 geotypes, of which the species of the boreal group (53.8%) of the Caucasian geoelement (31.9%) are the most represented. There are present rare and disappearing (2.7%), endemic (28.1%) and relict species (14.1%). An ecological-phytocenotic classification of communities with the participation of Juniperus oblonga on the Gunib Plateau was developed and 4 associations, 5 subassociations and 5 variants were identified. A prodromus was compiled.
Conclusion. Sparse juniper forests are one of the main types of vegetation of the Gunib Plateau, constituting a third of the flora of the plateau with a high degree of uniqueness and a complex of abiotic factors that change along the altitudinal gradient, microrelief and slope exposures, which are decisive when dominants change in communities of sparse juniper forests.

Key Words
Flora, syntaxonomy, Gunib plateau, Juniperus oblonga M. Bieb., Dagestan, flora structure, geobotany, juniper woodlands, plant community.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Гунибское плато нами представлена как модельная территория Внутреннегорного Дагестана и отличается флористическим разнообразием экосистем и сообществ, отражающих особенности всего Горного Дагестана. Флора плато насчитывает 657 видов высших растений [1] и представляется весьма разнообразной, что определяется характером рельефа, составом коренных пород, микроклиматическими и эдафическими условиями.

Гунибское плато слагают ценозы различного состава и структуры. Северные склоны в пределах 1400–2000 м над ур.м. покрывают березовые и сосновые леса.

Березовые леса на плато представлены 3 видами *Betula pendula*, *B. litwinowii* и *B. raddeana*, каждый из которых образует как чистые, так и смешанные между собой древостои, с участием *Salix caprea*. Березовые леса распространены от 1500 до 2000 м. Лесные сообщества с доминированием других видов деревьев на плато встречаются реже, они образуют нижнюю и верхнюю пограничные полосы лесного пояса. В нижней части плато встречаются участки с грабом (*Carpinus caucasica* Grossh.), реже осиной (*Populus tremula* L.). Здесь же, в малодоступных скалистых участках, встречаются липа (*Tilia* sp.), дуб (*Quercus macranthera* Fisch. et Mey.), вяз (*Ulmus glabra* Huds.). Вдоль русла реки Гунибка на дне ущелья обычны заросли ольхи (*Alnus incana* (L.) Moench).

Сосновые леса (*Pinus kochiana* Klotzsch ex C.Koch) образуют чистый массив в верхней части плато (от 1700 до 2000 м над ур.м.). Сосна Коха формирует спорадические микроценозы и в березовых лесах. Выше границы лесного пояса растительность плато представлена послелесными и субальпийскими остепненными лугами с доминированием дерновинных злаков, главным образом овсяницы пестрой (*Festuca woronowii*, *F. sulcata*), осоки (*Carex humilis*), манжетки (*Alchimilla sericata*, *A. rigida*) и др. [2].

Растительность южных и юго-восточных склонов плато резко отличается от северных и в основном представлена петрофильными сообществами с участием можжевельника продолговатого (*Juniperus oblonga* M. Bieb.) (рис. 1).

Juniperus oblonga один из наиболее широкораспространенных видов в Дагестане и на Кавказе в целом. Описан с Восточного Кавказа [3].

Одни авторы *J. oblonga* Bieb. выделяют в качестве самостоятельного вида [4; 5], другие считают его подвидом *J. communis* L. [3; 6]. По результатам исследований последних лет по составу эфирных масел [7] и анатомо-морфологического и генетического анализов [8] предложено рассматривать таксономический статус *J. oblonga* в качестве самостоятельного вида.

Можжевельник продолговатый является лекарственным растением, обладает ценными свойствами и используется в медицине и фармакологии. Вследствие широкого распространения в горах можжевеловые леса имеют большое водоохранное, водорегулирующее и почвозащитное значение.

На плитообразных поверхностях южных склонов Гунибского плато можжевельник произрастает рассеянно, не играет какую-либо средообразующую роль. На более пологих склонах или в низинных участках можжевельник образует плотные группировки и выступает эдификатором этих сообществ. Можжевеловые редколесья распространены до высоты 2000–2100 метров.

Рисунок 1. Можжевеловые редколесья Гунибского плато
Figure 1. Juniper woodlands of the Gunib Plateau

Ранее изучение можжевеловых редколесий на Гунибском плато было связано с популяционными и ресурсными исследованиями. Была определена возрастная, виталитетная и половая структуры популяций, оценена продуктивность кустов и ресурсный потенциал *J. oblonga* на Гунибском плато [9]. Однако популяционные исследования без структурного и функционального анализа сообществ представляются неполноценными, не дают комплексной оценки состояния и развития ценопопуляции. Поэтому выделение и изучение типов сообществ важно и является наиболее эффективной формой сохранения фитогенофонда в составе природных экосистем.

Цель настоящей работы – описание и флористический анализ сообществ можжевельника продолговатого на Гунибском плато для дальнейшей оценки сукцессионных процессов и развития популяции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гунибское плато расположено в северо-западной известняковой части Внутреннегорного Дагестана. Гора Гуниб – изолированное синклинальное известняковое плато, площадью около 15 км^2 (1470 га). Максимальная высота – 2351 м над уровнем моря, минимальная – 1400 м (рис. 2). Внешние склоны спускаются до 900 м, внутренние и внешние склоны северной и южной экспозиций чрезвычайно контрастны: южный склон на большей части представлен голым плитняком, северный – лесными и послелесными луговыми сообществами (до 2000 м), выше которых наблюдаются остепненные варианты послелесных и субальпийских злаково-разнотравных лугов.

Климатические показатели плато характеризует его как континентальное (со степенью 42–47%). При среднегодовой сумме осадков имеет четкий одновершинный характер, с июньско-июльским максимумом, причем на долю летних осадков приходится 80–90% годового количества. Среднегодовая температура воздуха 6,7°С с максимумом в июле-августе, со средней максимальной 12,3° и средней минимальной 2,8°.

Почвы на плато горнолуговые черноземовидные каменисто-щебнистые, маломощные.

Рисунок 2. Гунибское плато на карте Кавказа
Figure 2. Location of the Gunib Plateau on a map of the Caucasus

Геоботанические описания сообществ выполнены на 15 пробных площадях (ПП), размерами 20×20 м (400 м^2). Пробные площади закладывали по стандартной методике [10]; на них проводили пересчет древостоя и детальный учет флористического состава сообществ по ярусам; для древесных и кустарниковых видов указывали сомкнутость крон, а для травянистых видов – проективное покрытие (в процентах). На каждой пробной площади отмечали положение в рельефе, высоту над уровнем моря, экспозицию и крутизну склона, особенности микрорельефа.

Для формирования флористического списка видов с площадок собран и обработан гербарный материал в количестве 185 эксикатов.

Камеральную обработку геоботанических описаний проводили методом табличного эколого-фитоценотического анализа в программе Excel [11]. При разработке классификации растительности следовали

принципам и методам эколого-фитоценотического направления русской геоботанической школы Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Правила номенклатуры единиц классификации растительности эколого-фитоценотического направления приняты и разработаны В.Ю. Нешатаевым [12]. К одной ассоциации отнесены фитоценозы, сходные по флористическому составу и ценотической структуре, т.е. по соотношению видов-доминантов каждого яруса, при значительном сходстве состава сопутствующих видов. Субассоциации и варианты выделяли по различиям видового состава и структуры сообществ, учитывая количественные соотношения видов и ярусов, отражающие экологические особенности местообитаний.

Экологические особенности местообитаний определяли на основе метода фитоиндикации. Определение экологических групп видов по отношению к влажности проводили по литературным данным [13–14] и Интернет-ресурсам [16]. Латинские названия сосудистых растений приведены по «Конспекту флоры Кавказа» [3]. Названия синтаксонов приведены по «Проекту Кодекса фитоценологической номенклатуры» [12].

Анализ флоры сообществ проводили по общепринятым методикам флористических исследований [17]. Таксономическая принадлежность и номенклатура видов приведены по «Конспекту флоры Дагестана» [5]. Анализ географических элементов проведен с использованием классификации элементов кавказской флоры, разработанной Н.Н. Портениером [18; 19] и дополненной А.Л. Ивановым [13; 20].

Анализ жизненных форм проведен по системе Х. Раункиера [21]. При выделении редких и охраняемых видов были использованы Красная книга Республики Дагестан [22] и Красная книга Российской Федерации [23]. Список эндемиков составлен по аннотированному списку эндемиков Кавказа С.А. Литвинской и Р.А. Муртазалиева [24]. Реликты выделены по аналитическим спискам реликтов флоры Дагестана [25] и конспектам флор республик Северного Кавказа [13–15].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В сообществах с участием *Juniperus oblonga* M. Bieb. выявлено185 видов сосудистых растений, представленных 124 родом и 41 семейством. Спектр ведущих семейств возглавляет семейство *Asteraceae* (15,7%). Второе место в спектре занимает *Fabaceae* (10,3%) свидетельствует о тесной связи ценофлоры можжевеловых редколесий Гунибского плато с флорой Древнего Средиземноморья. О древнесредиземноморском влиянии свидетельствует также обилие видов семейства *Lamiaceae* (12 видов, 6,5%) (табл. 1).

По числу родов замыкает первую триаду семейство *Rosaceae*, по числу видов *Rosaceae* (8,6%) и *Poaceae* (8,6%) разделяют третье место, что свидетельствует о значительном влиянии лесной растительности среднеевропейской флоры. Вторую триаду в спектре замыкает семейство *Caryophyllaceae*, что подчеркивает высокогорный характер флоры [26].

В целом на долю ведущих семейств приходится 137 видов, составляющих 76,1% флоры. Значительно количество олиготипных (11) и монотипных (16) семейств, на долю которых приходится 15,1% и 8,64% соответственно. Это такие семейства как *Crassulaceae*, *Iridaceae*, *Ranunculaceae*, *Linaceae*, *Gentianaceae*, *Alliaceae*, *Primulaceae*, *Aspleniaceae*, *Hypericaceae*, *Polygalaceae*, *Violaceae* и др.

Таблица 1. Численность видов в спектре семейств флоры можжевеловых редколесий (*J. oblonga*) Гунибского плато
Table 1. The number of species in the spectrum of families of the flora of Juniper woodlands (*J. oblonga*) on the Gunib Plateau

Семейство Family	**Ранг** Rank	**Количество родов** Number of genera	**Количество видов** Number of species	%
Asteraceae	1	19	29	15,7
Fabaceae	2	11	19	10,3
Rosaceae	3	12	16	8,6
Poaceae	4	10	16	8,6
Lamiaceae	5	10	12	6,5
Caryophyllaceae	6	7	8	4,3
Apiaceae	7	5	6	3,2
Dipsacaceae	8	3	6	3,2
Scrophullariaceae	9	5	5	2,7
Boraginaceae	10	4	5	2,7
Rubiaceae	11	3	5	2,7
Plantaginaceae	12	1	5	2,7
Campanulaceae	13	1	5	2,7
Brassicaceae	14	2	4	2,2

Географический анализ

Особое место в анализе флоры занимает сопоставление спектров географических элементов. Географический анализ флоры позволяет получить информацию об истории формирования флоры, ее связи с окружающими флорами и путях миграции видов.

По классификации ареалов Н.Н. Портениера [18] и А.Л. Иванова [13] в составе флоры можжевеловых редколесий Гунибского плато выделено 19 географических элементов из 4 геотипов (табл. 2). Наибольшее количество видов в исследуемой ценофлоре отнесено к бореальной группе – 98 видов (53,8%), из которых 31,9% приходится на кавказский геоэлемент, что свидетельствует о высокой автохтонности в развитии флоры можжевеловых редколесий плато.

К группе широко распространенных видов отнесены 49 видов (26,9%), где 18,7% палеарктических видов, подчеркивающие связь с умеренной и субтропической флорой Голарктического царства.

Видов древнесредиземноморского геотипа 13 (7,1%), из которых преобладают виды общедревнесредиземноморского геоэлемента (3,3%), ареалы которых широко представлены в средиземноморской и Ирано-Туранской областях Древнего Средиземья (*Botriochloa ischaemum* (L.) Keng, *Erysimum meyerianum* (Rupr.) N. Busch, *Linum tenuifolium* L., *Poterium polygamum* Waldst. et Kit., *Teucrium polium* L., *Prunus divaricata* Ldb.).

Группа связующих (переходных) видов, ареалы которых охватывают 2 и более фитохориона, представлена 22 видами. Среди них 17 субкавказских видов (9,3%).

Таблица 2. Географический анализ флоры можжевеловых редколесий (*J. oblonga*) Гунибского плато
Table 2. Geographical analysis of the flora of Juniper woodlands (*J. oblonga*) of the Gunib Plateau

Группа географических элементов Group of geographic elements	**Геоэлемент** Geoelement	**Количество видов** Number of species	**% от общего числа видов** % of total number of species
Широко распространенные виды Widespread species	Плюрирегиональный Pluriregional	7	3,8
	Голарктический Holarctic	8	4,4
	Палеарктический Palearctic	34	18,7
Бореальные виды Boreal species	Панбореальный Panboreal	3	1,6
	Евро-сибирский Euro-Siberian	11	6,0
	Евро-кавказский Euro-Caucasian	14	7,7
	Европейский European	5	2,7
	Кавказский: Caucasian:	58	31,9
	Общекавказский All-Caucasian	30	16,5
	Эукавказский Eucaucasian	28	15,4
	Понтическо-Южносибирский Pontic-South Siberian	5	2,7
	Понтический Pontic	2	1,1
Древнесредиземноморские виды Ancient Mediterranean species	Общедревнесредиземноморский Common Ancient Mediterranean	6	3,3
	Западнодревнесредиземноморский Western Ancient Mediterranean	1	0,6
	Восточносредиземноморский Eastern Mediterranean	3	1,6
	Ирано-Туранский Iranian-Turanian	2	1,1
	Армено-Иранский Armenian-Iranian	1	0,6
Связующие Connecting	Субсредиземноморский Sub-Mediterranean	1	0,6
	Субтуранский Sub-Turanian	1	0,6
	Субкавказский Sub-Caucasian	17	9,3
	Субпонтический Sub-Pontic	3	1,6

Биоморфологический анализ по К. Раункиеру [21] выявил в ценофлоре можжевеловых редколесий плато преобладание гемикриптофитов – 140 видов (77%) (табл. 3). Следующая по численности группа фанерофитов – 13 видов (7,1%), то есть значительное разнообразие видов древесно-кустарниковой флоры указывает на благоприятность почвенно-климатических условий.

Число терофитов и хамефитов почти равное, их наличие определяет условия среды как аридные (терофиты) и более суровые (хамефиты). В условиях Гунибского плато наличие разных жизненных форм обусловлено различием условий произрастания – на южных склонах, в более разреженных петрофильных сообществах, и на северо-восточных склонах в более мезофильных условиях.

На долю криптофитов, для которых углубление в почву наиболее уязвимых частей растения – меристем, обеспечивающих продолжение развития, служит весьма эффективной защитой, как от холодного, так и от засушливого периода, приходится 3,3% (6 видов). Эта группа видов (многие лесные травянистые виды, а также весенние эфемероиды степей, пустынь, лиственных лесов (многолетники с коротким циклом вегетации и длительным покоем)) широко распространена в различных климатических условиях.

Таблица 3. Биоморфологический спектр флоры сообществ с участием *J. oblonga*
Table 3. Biomorphological spectrum of flora of communities including *J. oblonga*

Биоморфа Biomorphs	**Ph**				**Ch**	**НК**	**К**	**Т**
	Phmg	Phms	Phm	Phn				
Количество видов Number of species	1	5	3	4	11	140	6	12
% от общего числа % of total	0,5	2,8	1,6	2,2	6,0	77%	3,3	6,6

Об участии *J. oblonga* в истории формировании флоры и связи с иными флорами свидетельствуют реликты, которые в ценозе представлены третичными (Rt), ледниковыми (Rg) и послеледниковыми периодами (Rx) (табл. 4).

Всего в сообществах выявлено 26 реликтовых вида (14,1%), из которых более половины (16 видов) третичных реликтов: *Hypericum asperuloides* Czern. ex Turcz., *Sedum oppositifolium* Sims, *Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm., *Asplenium ruta-muraria* L., *Primula macrocalyx* Bunge, *Onobrychis bobrovii* Grossh., *Cephalaria gigantea* (Ledeb.) Bobr., *Alyssum daghestanicum* Rupr. и др.

Реликты ксеротермического периода в ценозе представлены 5 видами *Artemisia caucasica* Willd., *Festuca ovina* L., *Iris pumila* L., *Linum tauricum* Willd., *Silene chloropetala* Rupr. Реликты ледникового периода представлены следующими видами: *Cotoneaster integerrimus* Medik., *Ranunculus oreophylus* Bieb., *Sedum subulatum* (C.A. Mey.) Boiss., *Vicia cracca* L., *Pinus kochiana* Klotsch. ex C. Koch.

Таблица 4. Реликты во флоре можжевеловых редколесий (*J. oblonga*) Гунибского плато
Table 4. Relicts in the flora of juniper woodlands (*J. oblonga*) of the Gunib Plateau

Группа реликтов Relict group	**Число видов** Number of species	**% от общего числа реликтов** % of the total number of relict
Rt	16	61,5
Rg	5	19,25
Rx	5	19,25

Об оригинальности флоры можжевеловых редколесий плато свидетельствуют эндемики, число которых составляет почти 1/3 часть флоры – 52 вида (28,1%), из которых 26 видов эндемиков Кавказа (*Pastinaca pimpinellifolia* M. Bieb., *Viola somchetica* C. Koch, *Veronica propinqua* Boriss., *Thymus collinus* Bieb., *Sempervivum caucasicum* Rupr. ex Boiss., *Ranunculus oreophylus* Bieb., *Onosma caucasica* Levin et M. Pop., *Campanula sarmatica* Ker Gawl. и др.), 6 эндемиков Большого Кавказа (*Cerastium holosteum* Fisch. ex Hornem., *Dianthus caucaseus* Sims, *Elytrigia gracillima* (Nevski) Nevski, *Polygala sosnowskyi* Kem.-Nath., *Salvia canescens* C.A. Mey., *Scorzonera filifolia* Boiss.) и 20 эндемиков Восточного Кавказа (*Gentiana grossheimii* Doluch., *Astragalus alexandri* Char., *Anthemis fruticulosa* Bieb., *Allium gunibicum* Miscz. ex Grossh., *Silene chloropetala* Rupr., *Medicago daghestanica* Rupr., *Campanula daghestanica* Fomin и др.) (табл. 5).

Таблица 5. Эндемики во флоре можжевеловых редколесий (*J. oblonga*) Гунибского плато
Table 5. Endemics in the flora of Juniper woodlands (*J. oblonga*) of the Gunib Plateau

Группы эндемиков Endemic groups	**Количество видов** Number of species	**% от общего количества эндемиков** % of the total number of endemics
Эндемики Большого Кавказа Endemics of the Greater Caucasus	6	11,5
Эндемики Кавказа Endemics of the Caucasus	26	50,0
Эндемики Восточного Кавказа Endemics of the Eastern Caucasus	20	38,5
Эндемики Дагестана Endemics of Dagestan	2	3,8

В составе можжевеловых редколесий плато – 2 вида, включенных в Красные книги Российской Федерации и Республики Дагестан (*Allium gunibicum* Miscz. ex Grossh и *Iris pumila* L.) и 3 вида, включенных в Красную книгу Дагестана (*Silene chloropetala* Rupr., *Psephellus galushkoi* Alieva, *Campanula daghestanica* Fomin).

Синтаксономический анализ сообществ с участием *Juniperus oblonga* на Гунибском плато позволил выделить 4 ассоциации, 4 субассоциации и 6 вариантов (табл. 6).

Таблица 6. Геоботаническая характеристика сообществ *Juniperus oblonga* M. Bieb. на Гунибском плато
Table 6. Geobotanical characteristics of communities formed by *Juniperus oblonga* M. Bieb. on the Gunib plateau

Ассоциация Association	Juniperetum oblongi carexoso-botriochloosum			Juniperetum salviosum		Juniperetum Botriochlooso-Carexosum			Juniperetum oblongi pinoso-carexosum
Субассоциация subassociation	Xeroherbosum			Carex humilicae	typicum	Alchemilla sericata		xeroherbosum	
Вариант variant	Teucrium polium	Salvia canescens	typicum						Bryophytum
Число описаний Number of descriptions	1	1	2	3	1	2	3	1	1
Экспозиция склона Slope Exposure	ЮЗ SW	ЮЗ SW	ЮЗ, ЮВ SW, SE	Ю, ЮВ S, SW	Ю S	В, ЮЗ E, SW	ЮВ SE	Ю S	СВ NE
Крутизна склона, град. Slope inclination, degrees	30°	35°	15–27°	37–45°	35°	20–25°	15–37°	35°	40°
Высота над ур. моря, м Altitude above sea level, m	1750	1755	1750–1800	1730–1800	1780	1720	1720–1790	1715	1710
№№ по порядку NN in order	1	2	3,8	4,5,10	7	11,15	6,9,13	14	12
Древесный ярус, сомкнутость: Tree layer, density	**0**	**0.03**	**0.015**	**0**	**0**	**0.03**	**0**	**0.01**	**0.04**
Pyrus caucasica		0.03							
Pinus kochiana			0.015			0.03			0.04
Fraxinus excelsior								**0.01**	
Подрост, сомкнутость Young growth, density, %	**0.018**	**0**	**+**	**0**	**<1**	**0.06**	**0.01**	**0.01**	**0.03**
Malus orientalis						0.02	+	0.01	
Prunus divaricata					<1	0.03	<1		
Pinus kochiana	0.01		+				+		0.03
Fraxinus excelsior	<1					<1	+		
Pyrus caucasica	+					0.01			
Betula litwinowii						<1			
Кустарниковый ярус, покрытие, % Shrub layer, coverage, %	**0.35**	**0.3**	**0.64**	**0.25**	**0.29**	**0.42**	**0.66**	**0.33**	**0.54**
Juniperus oblonga	0.3	0.27	0.62	0.22	0.25	0.39	0.65	0.30	0.50
Rosa canina	0.03	0.03	<1	+	0.01	0.013	<1	0.013	0.03
Rhamnus tortuosa	<1	<1	<1	3.7	<1	+	+		
Potentilla fruticosa		+	<1	+		<1	+		0.01
Cotoneaster integerrimus							+		
Berberis vulgaris					0.025	+		0.012	
Травяной ярус, покрытие, % Herb layer, coverage, %	**85**	**85**	**82.5**	**52**	**40**	**87.5**	**85**	**90**	**85**
Salvia canescens	10	12	<1	20.3	15	+	1.7	14	+
Teucrium polium	12	<1	1.75	<1	1.5	+	1,7	6	+
Botriochloa ischaemum	28	25	34	3.3	2	10	17	8	4

Carex humilis	15	15	21.5	9.3	2	38.5	41.3	32	45
Scabiosa gumbetica	5	2.5	3.75	2.3	2	<1	<1	8	
Androsace villosa	<1	1		<1	1		<1		
Trifolium pratense	<1	<1	1.25			<1	<1		1.5
Astragalus alexandri	+	+	<1	+	+	1	2.2	2	
Teucrium chamaedrys	<1	1.5	1.15	<1	+	+	<1		
Dianthus awarica	+	+	+	+	<1		+	+	<1
Inula aspera	+	<1	+		+	2.85		1	<1
Hieracium pilosella	+	+	+			+	+	+	+
Dianthus caucaseus	+		+			+	+		+
Astrantia biebersteinii	<1	+				+	+		+
Thalictrum minus	+		+	+		+	<1		
Scabiosa bipinnata	+	+	1	+	<1	<1	+		+
Alchemilla sericata	1	2	3.25		+	8.5	1.3		8
Salvia verticillata	3	5	2.35	<1	1	2.5	2.4	2	3
Galium verum	+			+		+	+	+	<1
Anthemis fruticulosa	<1	<1	<1	1	+	+	+	+	
Medicago falcata	1.2	5	1.75	+		+	<1		1.8
Thymus collinus	1.5	4	1.75	<1	1.5	2	2.4	15	1.3
Leontodon strigosa	+		+			+	+		
Silene chloropetala	+	+	+	+	+	+	+	+	
Campanula hohenackeri	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Leucanthemum vulgare	+	+				1	+		
Briza elatior	+	<1	+			+	+	+	+
Prunella vulgaris	+	+	+			+	+		
Phleum pratense	+					+	<1		<1
Acinos arvensis	+	+	+	+	+	<1	+		+
Carthamus lanatus	+	+	+			+	+		<1
Onobrychis petraea	+	<1	+	+		+	+	+	<1
Satureja subdentata	<1	<1		3.4	3	+	<1	<1	
Minuartia oreina	+			+	+	+	+		
Oxytropis dasypoda	+	+	+	+	<1				
Stachys etherocalyx	+	+		+		+	+		
Pimpinella saxifraga	+	+	+			1.35	+	+	
Festuca sp.	+		<1	<1	<1		+	+	
Plantago urvillei	+		+				+		
Psephellus galushkoi	+			+			+		+
Bromus sp.	<1	<1	<1			+	+		1.3
Jurinea arachnoidea	+	+			+			+	+
Primula macrocalyx	+		+						
Psephellus daghestanicus	+			+	+	+	+	+	<1
Taraxacum officinale	+	+	+		+	+	+		
Onobrychis bobrovii	+	+						+	
Seseli alexeenkoi	<1	<1	+	+			+		
Elytrigia gracillima	0.7	1	+	1.3	4	<1	<1	+	
Bupleurum polyphyllum	+	<1				+	+	+	<1
Festuca woronowii	1.2		1.3	<1	<1	1.5	<1	1	1.8
Lotus corniculatus	<1	+	+			<1	+	+	2
Polygala anatolica	+	+				+			+
Cichorium intybus	<1	+	+	+		1	+		<1
Achillea millefolium	<1	<1	<1	+	<1	+	1.5	+	
Coronilla varia	+	+	+	+	+	1.15	<1	<1	1.3
Galium brachyphyllum	+	+	+		+		+		
Plantago media	+	+	+	+		<1	+		+
Plantago lanceolata	<1	1.2	+	+	+	+	+		
Leontodon danuibialis		+	<1	+		2.5	+	<1	2.3
Gentiana cruciata		+				+	+		
Artemisia chamaemelifolia		1.5	<1	+	+	<1	<1		<1
Linum tenuifolium		+	+	+			+	+	+
Phleum phleoides		<1	+		+	+	+		+
Veronica propinqua		+	+	+	+		+	+	+

Campanulaceae rapunculoides		<1				+	+		
Trifolium repens		+				<1	+		+
Polygala sosnowskyii			+	+	+		+		
hieracium umbellatum		+				<1	+	+	
Aster amelloides		+						+	<1
Gentiana grossheimii		+	+	+					
Filipendula vulgaris		+				+	+		
Stipa lessingiana		+		1.9	1.5				
Allium gunibicum		+		+	+			+	
Asperula alpina		+	+	+	+		+	+	+
Trtifolium ambiguum			+			+			+
Linum tauricum			+	+					
Cirsium echinus			<1		+	+	+		
Potentilla crantzii			+	+	+	<1	+		<1
Potentilla recta			+	+		+	+		
Gypsophylla tenuifolia				<1	<1		+		
Euphrasia tatarica				+		+	+		
Euphorbia virgata				+	+				
Alyssum daghestanicum				+	+		+		
Iris pumila			+	+			+		
Sedum oppositifolium				+	<1	+	1.1		1
Asplenium ruta-muraria				+	+				+
Anthyllis lachnophora				+	+	+	+		<1
Jurinea ruprechtii				+	<1				
Allium albidum				+	+		+		
Cerastium holosteum			+	+			+		
Scorzonera filifolia				<1	+				
Hypericum perforatum				+		+	+	+	
Festuca ovina				<1	<1				
Sempervivum caucasicum			+	+	+		+		+
Thalictrum foetidum				+		+	+		<1
Poa pratensis			+	+	+	+	+		
Cirsium vulgare						+	+		
Echium maculatum			+				+		<1
Fragaria vesca			<1			<1	+		<1
Cruciata humifusa			+			+	+		+
Medicago lupulina			+		+	+	+		<1
Myosotis arvensis			+			+	+		
Plantago major			+			+	+		+
Origanum vulgare			+			+			
Galium valantioides							+		<1
Trifolium medium						+	+		
Мохово-лишайниковый ярус, % Moss-lichen layer, coverage	**5**	**2**	**1.5**	**2.3**	**0**	**0**	**3**	**0**	**10**

Примечание: Единично встречены виды (цифрами обозначены порядковый номер в таблице и среднее проективное покрытие): в травяно-кустарничковом ярусе: *Betonica macrantha* – 11 (+); *Gladiolus tenuis* – 11(+); *Vicia cracca* – 11 (+); *Artemisia caucasica* – 13 (+); *Bryonia alba* – 13 (+); *Inula britannica* – 8 (+), 10 (+); *Centaurea scabiosa* – 13 (+), 15 (+); *Cephalaria gigantea* – 11(+), 15 (+); *Astragalus danicus* – 14 (+); *Plantago saxatilis* – 14 (+); *Campanula glomerata* – 15 (+); *Seseli libanotis* – 15 (+); *Poa angustifolia* – 11 (+); *Hypericum asperuloides* – 12 (+); *Geranium sibiricum* – 8 (+), 11 (+); *Potentilla erecta* – 12 (+); *Gentiana septemfida* – 12 (+); *Artemisia daghestanica* – 13 (+); *Orobanche* sp. – 13 (+); *Scabiosa ocroleuca* – 6 (+), 9 (+); *Verbascum laxum* – 9 (+), 13 (+); *Alyssum tortuosum* – 7 (+), 10 (+); *Medicago glutinosa* – 7 (+); *Astragalus danicus* – 7 (+); *Sedum subulatum* – 7 (+); *Viola somchetica* – 7 (+), 14 (+), 15 (+); *Setaria viridis* – 7 (+); *Mellilotus officinalis* – 8 (+); *Stellaria media* – 8 (+); *Erysimum meyerianum* – 2(+); *Poa annua* – 8 (+); *Iris sibirica* – 8 (+); *Melandrium album* – 9 (+); *Nepeta grandiflora* – 9 (+); *Scabiosa caucasica* – 6 (+), 12 (+); *Asplenium septentrionale* – 4 (+); *Chenopodium album* – 8 (+); *Convolvulus arvensis* – 8 (+); *Ranunculus oreophylus* – 1 (+); *Alyssum murale* – 1 (+); Ononis arvensis – 1 (+); *Cynoglossum officinale* – 1 (+); *Pedicularis sibthorpii* – 1 (+), 15 (+); *Helianthemum nummularium* – 1 (+); *Rubus saxatilis* – 1 (+); *Linum nervosum* – 1 (+); *Melampyrum arvensis* – 1 (+), 14 (+); *Poterium polygamum* – 2 (+), 3 (+); *Medicago daghestanica* – 4 (+), 7 (+); *Onosma caucasica* – 4 (+), 7 (+); *Knautia arvensis* – 5 (+); *Urtica dioica* – 6 (+), 11 (+);

Echium vulgare – 6 (+), 10 (+); *Viola* sp. – 6 (+), 9 (+); *Allium kunthianum* – 6 (+), 12 (+); *Carlina vulgaris* – 1 (+); *Setaria viridis* – 2 (+); *Agrimonia eupatoria* – 2 (+); *Centaurea phrygia* – 6 (+), 15 (+); *Potentilla* reptans – 6 (+); *Campanula sarmatica* – 5 (+), 7 (+); *Erigeron acris* – 11 (+), 12 (+); *Tragopogon graminifolius* – 3 (+); *Campanula daghestanica* – 3 (+), 4 (+), 15 (+); *Inula germanica* – 3 (+), 14 (+); *Helianthemum nummularium* – 4 (+), 5 (+)

Note: Species found singly (numbers indicate the serial number in the table and the average projective cover): in the grass-shrub layer: *Betonica macrantha* – 11 (+); *Gladiolus tenuis* – 11(+); *Vicia cracca* – 11 (+); *Artemisia caucasica* – 13 (+); *Bryonia alba* – 13 (+); *Inula britannica* – 8 (+), 10 (+); *Centaurea scabiosa* – 13 (+), 15 (+); *Cephalaria gigantea* – 11(+), 15 (+); *Astragalus danicus* – 14 (+); *Plantago saxatilis* – 14 (+); *Campanula glomerata* – 15 (+); *Seseli libanotis* – 15 (+); *Poa angustifolia* – 11 (+); *Hypericum asperuloides* – 12 (+); *Geranium sibiricum* – 8 (+), 11 (+); *Potentilla erecta* – 12 (+); *Gentiana septemfida* – 12 (+); *Artemisia daghestanica* – 13 (+); *Orobanche* sp. – 13 (+); *Scabiosa ocroleuca* – 6 (+), 9 (+); *Verbascum laxum* – 9 (+), 13 (+); *Alyssum tortuosum* – 7 (+), 10 (+); *Medicago glutinosa* – 7 (+); *Astragalus danicus* – 7 (+); *Sedum subulatum* – 7 (+); *Viola somchetica* – 7 (+), 14 (+), 15 (+); *Setaria viridis* – 7 (+); *Mellilotus officinalis* – 8 (+); *Stellaria media* – 8 (+); *Erysimum meyerianum* – 2(+); *Poa annua* – 8 (+); *Iris sibirica* – 8 (+); *Melandrium album* – 9 (+); *Nepeta grandiflora* – 9 (+); *Scabiosa caucasica* – 6 (+), 12 (+); *Asplenium septentrionale* – 4 (+); *Chenopodium album* – 8 (+); *Convolvulus arvensis* – 8 (+); *Ranunculus oreophylus* – 1 (+); *Alyssum murale* – 1 (+); Ononis arvensis – 1 (+); *Cynoglossum officinale* – 1 (+); *Pedicularis sibthorpii* – 1 (+), 15 (+); *Helianthemum nummularium* – 1 (+); *Rubus saxatilis* – 1 (+); *Linum nervosum* – 1 (+); *Melampyrum arvensis* – 1 (+), 14 (+); *Poterium polygamum* – 2 (+), 3 (+); *Medicago daghestanica* – 4 (+), 7 (+); *Onosma caucasica* – 4 (+), 7 (+); *Knautia arvensis* – 5 (+); *Urtica dioica* – 6 (+), 11 (+); *Echium vulgare* – 6 (+), 10 (+); *Viola* sp. – 6 (+), 9 (+); *Allium kunthianum* – 6 (+), 12 (+); *Carlina vulgaris* – 1 (+); *Setaria viridis* – 2 (+); *Agrimonia eupatoria* – 2 (+); *Centaurea phrygia* – 6 (+), 15 (+); *Potentilla* reptans – 6 (+); *Campanula sarmatica* – 5 (+), 7 (+); *Erigeron acris* – 11 (+), 12 (+); *Tragopogon graminifolius* – 3 (+); *Campanula daghestanica* – 3 (+), 4 (+), 15 (+); *Inula germanica* – 3 (+), 14 (+); *Helianthemum nummularium* – 4 (+), 5 (+)

Ассоциация Juniperetum oblongi carexoso-botriochloosum описана на 4 площадях юго-западного и юго-восточного склонов, крутизной 15°–35° на высоте 1750–1800 м. В древесном ярусе единично отмечены особи *Pyrus caucasica* и *Pinus kochiana*. Проективное покрытие кустарникового яруса 0.3–0.64. Травяной ярус насчитывает 116 видов с покрытием 82,5–85%. Ассоциация характеризуется высоким проективным покрытием травяного яруса, где наиболее обильны *Carex humilis* и *Botriochloa ischaemum.* В ассоциации выделена субассоциация Xeroherbosum. В пределах субассоциации по составу доминантов травяного яруса различаются 3 варианта.

Вар. Teucrium polium описан на юго-западном склоне крутизной 30°. В кустарниковом ярусе сомкнутостью 0.35 доминирует *Juniperus oblonga* (0.3), отмечены *Rosa canina* (0.03) и *Rhamnus tortuosa* (<1). В подросте отмечены *Pinus kochiana, Fraxinus excelsior* и *Pyrus caucasica.* В травяно-кустарничковом ярусе с покрытием 85% помимо основных доминантов *Botriochloa ischaemum* (28%), *Carex humilis* (15%) хорошо представлены *Teucrium polium* (12%) и *Salvia canescens* (10%). Покрытие видов *Scabiosa gumbetica* (5%) и *Salvia verticillata* (3%) не превышает 5%.

Вар. Salvia canescens описана на 1 площадке юго-западного склона крутизной 35° на высоте 1755 м. В древесном ярусе отмечен *Pyrus caucasica* (0.03). В кустарниковом ярусе (0.3) доминирует *J. oblonga* (0.27), отмечены *Rosa canina* (0.03), *Rhamnus tortuosa* (<1) и единично *Potentilla fruticosa.* Проективное покрытие травяного яруса 85%. Доминируют *Botriochloa ischaemum* (25%), *Carex humilis* (15%), *Salvia canescens* (12%), *Teucrium polium* (10%). Значительно участие видов сухих известняковых открытых склонов *Salvia verticillata* (5%), *Medicago falcata* (5%), *Thymus collinus* (4%).

Вар. Typicum описан юго-восточном и юго-западном склонах крутизной 15–27° на высоте 1750–1800 м. В древесном ярусе встречается *P. kochiana* (0.015). Кустарниковый ярус достаточно сомкнутый 0.64, проективное покрытие *J. oblonga* (0.62). В травяно-кустарничковом ярусе (82,5%) доминирует *Botriochloa ischaemum* (34%) и *Carex humilis* (21,5%). С покрытием 2–4% отмечены виды *Scabiosa gumbetica*, *Alchemilla sericata*, *Salvia verticillata*.

Acc. Juniperetum salviosum описана на 4 площадях южных и юго-восточных склонов. Ассоциация характеризуется слабо развитым кустарниковым и травяно-кустарниковым ярусами. Кустарниковый ярус разрежен и представлен абсолютным доминантом *J. oblonga*. В травянистом ярусе в проплешинах между кустами заселяет представитель сухих каменистых склонов *Salvia canescens*, проективное покрытие которого достигает 10–27%. Древесный ярус отсутствует. В пределах ассоциации выделено 2 субассоциации.

Субасс. Carex humilicae описана на 3 площадях, на высоте 1730–1800 метров. В кустарниковом ярусе (0.25) доминирует *J. oblonga* (0.22). Покрытие *Rhamnus tortuosa* (0.037), единично отмечены *R. canina*, *P. fruticosa.* В травяно-кустарничковом ярусе (40–65%) отмечено 74 вида, доминирует *Salvia canescens* (20.3%), содоминирует *Carex humilis* (9,3%). Значительно меньше (2–4%) участие других видов *Botriochloa ischaemum*, *Satureja subdentata*, *Scabiosa gumbetica* и др.

Субасс. Typicum описана на южном склоне крутизной 35° на высоте 1780 м над ур.м. В кустарниковом ярусе (0.29) доминирует *J. oblonga* (0.25). Отмечены *Berberis vulgaris* (0.025), *Rosa canina* (0.01), *Rhamnus tortuosa* (<0.01). Покрытие травяного яруса 40%, видовое богатство 62 вида. Доминирует *Salvia canescens* (15%). В целом для сообщества характерны ксерофильные виды. С покрытием до 4% отмечены *Satureja subdentata*, *Elytrigia gracillima*, *Stipa lessingiana*, *Scabiosa gumbetica*, *Teucrium polium* и др.

Acc. Juniperetum Botriochlooso-Carexosum описана на 6 площадях юго-восточных, восточных, южных и юго-западных склонов крутизной 15°–37°. В древесном ярусе единично отмечены *Pinus kochiana* и *Fraxinus excelsior.* Древесный подрост относительно богатый (6 видов), отмечены *Malus orientalis*, *Prunus divaricata*, *Pyrus caucasica*, *Betula litwinowii*, *Fraxinus excelsior*, *Pinus kochiana*. В кустарниковом ярусе (0.33–0.66) абсолютным доминантом выступает *J. oblonga*

(0.3–0.65 соответственно). Отмечены также *R. canina*, *Rh. tortuosa*, *P. fruticosa*, *C. integerrimus*, *B. vulgaris*. Травяной ярус 85–90% представлен 126 видами, доминируют *C. humilis* (от 31 до 55%) и *B. ischaemum* (от 5% до 22%). По составу субдоминантов травянистого яруса выделены 2 субассоциации: *Alchemilla sericata* (8,5%) и **xeroherbosum**, где при доминировании *Carex humilis* (32%) покрытие ксерофильных видов в травяно-кустарничком ярусе значительно: *Thymus collinus* (15%), *Salvia canescens* (14%), *Botriochloa ischaemum* (8%), *Scabiosa gumbetica* (8%), *Teucrium polium* (6%).

Acc. Juniperetum oblongi pinoso-carexosum описана на 1 пробной площади, на склоне северо-восточной экспозиции на высоте 1710 м, крутизной 40°. Ассоциация отличается мезофильностью условий северного склона, в таких условиях покрытие мхом достигает 10%. Выделен вариант зеленомошный. В древесном ярусе и подросте отмечается *Pinus kochiana* (до 0.04). В кустарниковом ярусе доминирует *J. oblonga* (0.5), отмечены *Rosa canina* (0.03) и *Potentilla fruticosa* (0.01).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Флора можжевеловых редколесий представлена 185 видами из 124 родов и 41 семейства. Спектр ведущих семейств свидетельствует о тесной связи ценофлоры можжевеловых редколесий Гунибского плато с флорой Древнего Средиземноморья. Географический анализ флоры можжевеловых редколесий Гунибского плато (19 геоэлементов из 4 геотипов), где 31,9% приходится на кавказский геоэлемент, свидетельствует о высокой автохтонности в развитии флоры можжевеловых редколесий плато. Об уникальности и оригинальности флоры можжевеловых редколесий свидетельствует 14,1% реликтовых и 28,1% эндемичных видов.

Для сообществ с участием *Juniperus oblonga* Гунибского плато разработана эколого-фитоценотическая классификация сообществ, выделены 4 ассоциации, 5 субассоциаций и 5 вариантов. Составлен продромус:

Ассоциация Juniperetum carexoso-botriochloosum
Субассоциация xeroherbosum
Вар. Teucrium polium
Вар. Salvia canescens
Ассоциация Juniperetum salviosum
Субассоциация Carex humilicae
Субассоциация typicum
Ассоциация Juniperetum botriochlooso-carexosum
Субассоциация xeroherbosum
Вар. Alchemilla sericata
Вар. Thymus collinus
Ассоциация Juniperetum carexosum
Субассоциация alchemilla sericatae
Вар. Bryophytum

Таким образом, можжевеловые редколесья представляют собой один из основных типов растительности Гунибского плато, включающий треть флоры плато с высокой степенью оригинальности и уникальности, а комплекс абиотических факторов, изменяющихся вдоль высотного градиента, микрорельефа и по экспозициям склонов, является определяющим при смене доминантов в сообществах можжевеловых редколесий.

Кроме того, можжевеловые редколесья на Гунибском плато имеют важное почвозащитное и водорегулирующее значение и требуют определенных мероприятий по охране и контролю за популяциями. И в первую очередь, проведение таких мероприятий связано с выявлением на особях можжевельника, ранее не встречавшегося на плато, полупаразита *Arceuthobium oxycedri* (DC.) M. Bieb., приводящего к повреждению можжевельника, снижая его устойчивость к неблагоприятным условиям среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Омарова С.О. результаты исследований флоры локальных платообразных поднятий внутреннегорного Дагестана // Вестник Дагестанского государственного университета. 2006. Вып. 1. С. 81–86.
2. Асадулаев З.М., Магомедмирзаев М.М., Гусейнова З.А., Муртазалиев Р.А. Горный ботанический сад Дагестанского НЦ РАН. Махачкала: Алеф, 2018. 70 с.
3. Конспект флоры Кавказа: В 3 томах / Отв. ред. А. Л. Тахтаджян: Том 1 / Ред. Ю. Л. Меницкий, Т. Н. Попова. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2003. 204 с.
4. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель: в 3 т. Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1978. Т. 1. 320 с.
5. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Т. 1. (*Lycopodiaceae* – *Urticaceae*). Махачкала: Издательский дом «Эпоха», 2009. 252 с.
6. Имханицкая Н.Н. Критическая заметка о кавказских видах секции *Juniperus* рода *Juniperus* L. (*Cupressaceae*) // Новости систематики высших растений. Л. 1990. Т. 27. С. 5–16.
7. Adams R.P. Junipers of the World: The Genus Juniperus. 4th edn. Trafford Publishing, 2014. 422 p.
8. Князева С.Г., Хантемирова Е.В. Сравнительный анализ генетической и морфолого-анатомической изменчивости можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) // Генетика. 2020. Т. 56. N 1. С. 55–66.
9. Асадулаев З.М., Садыкова Г.А. Структурная и ресурсная оценка природных популяций можжевельника продолговатого (*Juniperus oblonga* Bieb.) в Дагестане. Махачкала: Наука ДНЦ, 2011. 216 с.
10. Андреев Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., и др. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
11. Нешатаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 192 с.
12. Нешатаев В. Ю. Проект Всероссийского кодекса фитоценологической номенклатуры // Растительность России. 2001. N 1. С. 62–70.
13. Иванов А.Л. Конспект флоры Российского Кавказа (сосудистые растения). Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2019. 341 с.
14. Тайсумов М.А., Омархаджиева Ф.С. Анализ флоры Чеченской Республики. Грозный: АН ЧР, 2012. 320 с.
15. Шхагапсоев С.Х. Растительный покров Кабардино-Балкарии. Нальчик: ООО «Тетраграф», 2015. 352 с.
16. Атлас видов и иллюстрированный online определитель растений. URL: https://www.plantarium.ru/ (дата обращения: 08.07.2022).
17. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: ЛГУ, 1974. 244 с.

18. Портениер Н.Н. Система географических элементов флоры Кавказа // Ботанический журнал. 2000. Т.85. N 9. С. 26–33.
19. Портениер Н.Н. Флора и ботаническая география Северного Кавказа. Избранные труды. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 294 с.
20. Иванов А.Л. Эндемики и реликты Ставропольской возвышенности и их значение для построения модели флорогенеза центральной части Северного Кавказа. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2010. 148 с.
21. Raunkier C. The life form of plants. Oxford, 1937. 104 p.
22. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала: Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. 800 с.
23. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
24. Литвинская С.А. Муртазалиев Р.А. Кавказский элемент во флоре Российского Кавказа: география, созология, экология. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2009. 439 с.
25. Аджиева А.И. Омарова С.О. Конспект и краткий анализ флоры реликтов Дагестана // Материалы Всероссийской конференции «Закономерности распространения, воспроизведения и адаптаций растений и животных», Махачкала, 11–12 октября, 2010. С. 131–137.
26. Хохряков А.П. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике // Ботанический журнал. 2000. N 5. Т.85. С. 1–11.

REFERENCES

1. Omarova S.O. Results of studies of the flora of local plateau-like uplifts of the inner mountainous Dagestan. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Dagestan State University]. 2006, iss. 1, pp. 81–86. (In Russian)
2. Asadulaev Z.M., Magomedmirzaev M.M., Guseynova Z.A., Murtazaliev R.A. *Gornyy botanicheskiy sad Dagestanskogo NTS RAN* [Mountain Botanical Garden of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. Makhachkala, Alef Publ., 2018, 70 p. (In Russian)
3. Menitsky Yu.L., Popova T.N., eds. *Konspekt flory Kavkaza* [Synopsis of the flora of the Caucasus]. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 2003, vol. 1, 204 p. (In Russian)
4. Galushko A.I. *Flora Severnogo Kavkaza* [Flora of the North Caucasus]. Rostov, Rostov University Publ., 1978, vol. 1, 320 p. (In Russian)
5. Murtazaliev R.A. *Konspekt flory Dagestana. (Lycopodiaceae – Urticaceae*) [Synopsis of the flora of Dagestan. (Lycopodiaceae – Urticaceae)]. Makhachkala, Epokha Publ., 2009, vol. 1, 252 p. (In Russian)
6. Imkhanitskaya N.N. Critical note on the Caucasian species of the Juniperus section of the genus Juniperus L. (Cupressaceae). Novosti sistematiki vysshikh rastenii [News of taxonomy of higher plants]. 1990, vol. 27, pp. 5–16. (In Russian)
7. Adams R.P. Junipers of the World: The Genus Juniperus. 4th edn. Trafford Publishing, 2014, 422 p.
8. Knyazeva S.G., Khantemirova E.V. Comparative analysis of the genetic and morphological-anatomical variability of the common juniper (*Juniperus communis* L.). Genetika [Genetics]. 2020, vol. 56, no. 1, pp. 55–66.
9. Asadulaev Z.M., Sadykova G.A. *Strukturnaya i resursnaya otsenka prirodnykh populyatsii mozhzhevel'nika prodolgovatogo (Juniperus oblonga Bieb.) v Dagestane* [Structural and resource assessment of natural populations of juniper oblonga (*Juniperus oblonga* Bieb.) in Dagestan]. Makhachkala, Nauka DSC Publ., 2011, 216 p. (In Russian)
10. Andreev E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., et al. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. SPb., Research Institute of Chemistry, St. Petersburg State University Publ., 2002, 240 p. (In Russian)
11. Neshataev Yu.N. *Metody analiza geobotanicheskikh materialov* [Methods of analysis of geobotanical materials]. Leningrad, LSU Publ., 1987, 192 p. (In Russian)
12. Neshataev V.Yu. Draft All-Russian Code of Phytocenological Nomenclature. Rastitel'nost' Rossii [Vegetation of Russia]. 2001, no. 1, pp. 62–70. (In Russian)
13. Ivanov A.L. *Konspekt flory Rossiiskogo Kavkaza (sosudistye rasteniya)* [Synopsis of the flora of the Russian Caucasus (vascular plants)]. Stavropol, North Caucasus Federal University Publ., 2019, 341 p. (In Russian)
14. Taisumov M.A., Omarkhadzhieva F.S. *Analiz flory Chechenskoi Respubliki* [Analysis of the flora of the Chechen Republic]. Grozny, Academy of Sciences of the ChR Publ., 2012, 320 p. (In Russian)
15. Shkhagapsoev S.Kh. *Rastitel'nyi pokrov Kabardino-Balkarii* [Vegetation cover of Kabardino-Balkaria]. Nalchik, Tetragraph LLC Publ., 2015, 352 p. (In Russian)
16. *Atlas vidov i illyustrirovannyi online opredelitel' rastenii* [Atlas of species and an illustrated online guide to plants]. Available at: https://www.plantarium.ru/ (accessed 08.07.2022)
17. Tolmachev A.I. *Vvedenie v geografiyu rastenii* [Introduction to plant geography]. Leningrad, LSU Publ., 1974, 244 p. (In Russian)
18. Porteniyer N.N. The system of geographical elements of the Caucasian flora. Botanicheskii zhurnal [Botanical journal]. 2000, vol. 85, no. 9, pp. 26–33. (In Russian)
19. Porteniyer N.N. *Flora i botanicheskaya geografiya Severnogo Kavkaza. Izbrannye trudy* [Flora and Botanical Geography of the Northern Caucasus. Selected works]. Moscow, KMK Publ., 2012, 294 p. (In Russian)
20. Ivanov A.L. *Endemiki i relikty Stavropol'skoi vozvyshennosti i ikh znachenie dlya postroeniya modeli florogeneza tsentral'noi chasti Severnogo Kavkaza* [Endemics and relics of the Stavropol Upland and their significance for building a model of florogenesis of the central part of the North Caucasus]. Stavropol, SGU Publ., 2010, 148 p. (In Russian)
21. Raunkier C. The life form of plants. Oxford, 1937, 104 p.
22. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, Dzhamaludinov M.A. Publ., 2020, 800 p. (In Russian)
23. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Data Book of the Russian Federation (Plants and Mushrooms)]. Moscow, KMK Publ., 2008, 855 p. (In Russian)
24. Litvinskaya S.A. Murtazaliev R.A. *Kavkazskii element vo flore Rossiiskogo Kavkaza: geografiya, sozologiya, ekologiya* [Caucasian element in the flora of the Russian Caucasus: geography, sozology, ecology]. Krasnodar, Kuban State University Publ., 2009, 439 p. (In Russian)
25. Adzhieva A.I. Omarova S.O. Konspekt i kratkii analiz flory reliktov Dagestana [Synopsis and brief analysis of the flora of the relics of Dagestan]. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii «Zakonomernosti rasprostraneniya, vosproizvedeniya i adaptatsii rastenii i zhivotnykh», Makhachkala, 11–12 oktyabrya, 2010* [Proceedings of the All-Russian Conference "Patterns of distribution, reproduction and adaptations of plants and animals", Makhachkala, October 11–12, 2010]. Makhachkala, 2010, pp. 131–137. (In Russian)
26. Khokhryakov A.P. Taxonomic spectra and their role in comparative floristics. Botanicheskii zhurnal [Botanical Journal]. 2000, vol. 85, no. 5, pp. 1–11. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Гульнара А. Садыкова заложила и описала площадки, собрала флористический материал, проанализировала данные и написала рукопись. Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Gulnara A. Sadykova established and described the sites, collected floristic material, analyzed the data and wrote the manuscript. The author is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

Гульнара А. Садыкова / Gulnara A. Sadykova https://orcid.org/0000-0001-8604-1572

Оригинальная статья / Original article
УДК 581.527.4.017.53
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-30-39

Естественное и микроклональное воспроизведение палеоэндемика Дагестана *Scabiosa gumbetica* Boiss.

Аида И. Аджиева, Зарина М. Алиева, Вера К. Мартемьянова
Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо
Аида И. Аджиева, кандидат биологических наук, доцент, кафедра ботаники, Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Магомеда Гаджиева, 43а.
Тел. +79633726499
Email saricum@rambler.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-7621-5898

Формат цитирования
Аджиева А.И., Алиева З.М., Мартемьянова В.К. Естественное и микроклональное воспроизведение палеоэндемика Дагестана *Scabiosa gumbetica* Boiss. // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 30-39. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-30-39

Получена 22 июля 2022 г.
Прошла рецензирование 13 сентября 2022 г.
Принята 20 сентября 2022 г.

Резюме

Цель. *Scabiosa gumbetica* Boiss. – палеоэндемичный петрофильный вид внутригорий Дагестана, что делает актуальным его комплексные исследования. Работа посвящена выявлению состояния тантаринской ценопопуляции вида и изучению потенциала возобновления особей в полевых, лабораторных условиях и в культуре *in vitro.*

Материал и методы. Многолетние популяционные исследования *S. gumbetica* с использованием геоботанических методов проводились в окрестностях селения Тантари Гумбетовского района Дагестана. Виталитетное состояние особей определяли по методу Злобина, степень состояния жизненности особей – по Ишбирдину. Введение объекта в культуру *in vitro* обеспечивали по общепринятой методике.

Результаты. Широкий диапазон варьирования признаков особей *S. gumbetica* характеризует дифференцированность экотопов. Виталитетный анализ особей обнаружил депрессивные тенденции развития ценопопуляции с невысокой степенью их выраженности. Показано высокое значение потенциальной и низкое – реальной семенной продуктивности, которая недостаточна для успешного семенного возобновления в природных популяциях. Потенциал вегетативного возобновления особей успешен, что возмещает недостатки семенного возобновления. Разработана схема клонального микроразмножения *S. gumbetica* путем культивирования узловых эксплантов на среде Мурасиге-Скуга с добавлением ИМК, НУК, БАП, кинетина.

Заключение. Низкая реальная семенная продуктивность и депрессивные тенденции виталитета особей в тантаринской ценопопуляции *S. gumbetica* свидетельствуют о необходимости разработки методов для ее сохранения. Здесь перспективными могут стать биотехнологические методы. Исследования обосновали и продемонстрировали возможности микроклонального воспроизведения путем прямого органогенеза.

Ключевые слова
Популяционные исследования, виталитет популяции, *Scabiosa. gumbetica*, микроклональное размножение, культура *in vitro*.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Natural and microclonal reproduction of the Dagestan paleoendemic *Scabiosa gumbetica* Boiss.

Aida I. Adzhieva, Zarina M. Alieva and Vera K. Martemyanova
Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact
Aida I. Adzhieva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Botany, Dagestan State University; 43a Magomed Gadzhieva St, Makhachkala, Russia 367000.
Tel. +79633726499
Email saricum@rambler.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-7621-5898

How to cite this article
Adzhieva A.I., Alieva Z.M., Martemyanova V.K. Natural and microclonal reproduction of the Dagestan paleoendemic *Scabiosa gumbetica* Boiss. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 30-39. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-30-39

Received 22 July 2022
Revised 13 September 2022
Accepted 20 September 2022

Abstract
Aim. As a paleoendemic petrophilic species of the foothills of Dagestan *Scabiosa gumbetica* Boiss, its comprehensive studies are relevant. This work is devoted to the identification of the state of the Tantari cenopopulation of the species and the study of the renewal potential of individuals in the field, in laboratory conditions and through in vitro culture.
Material and Methods. Long-term population studies of *Scabiosa gumbetica* using geobotanical methods were carried out in the vicinity of the village of Tantari in the Gumbetovsky district of Dagestan. The vital state of individuals was determined by the Zlobin method, while the degree of vitality of individuals was determined according to Ishbirdin. The introduction of the subject into in vitro culture was done according to the generally accepted methodology.
Results. A wide range of variation in the characteristics of *S. gumbetica* individuals characterises the differentiation of ecotopes in which it occurs. The vital analysis of individuals revealed depressive tendencies in the development of the cenopopulation with a low degree of severity. A high value of potential and a low value of real seed productivity were shown – insufficient for successful seed renewal in natural populations. The potential of vegetative renewal of individuals was confirmed, which compensates for the low productivity of natural seed renewal. A scheme of clonal micro-multiplication of *S. gumbetica* was developed by cultivating nodal explants on a Murashige-Skuga medium with the addition of IBA, NAA, BAP and kinetin.
Conclusion. Low real seed productivity and depressive tendencies of the vitality of individuals in the Tanari cenopopulation of *S. gumbetica* indicate the need to develop methods for its conservation. Biotechnological methods can be promising. Studies have substantiated and demonstrated the possibilities of microclonal reproduction by direct organogenesis.

Key Words
Population studies, population vitality, *Scabiosa gumbetica*, microclonal reproduction, in vitro culture.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Scabiosa gumbetica Boiss. – палеоэндемичный и специфичный для известняков внутригорий и аридных северных предгорий Дагестана вид, описан А.П. Оверин-ным в 1861 году из района Гумбета. Еще Н.И. Кузнецов [1] писал о нем, как о третичном реликте скал и подвижных каменистых субстратов, выходов на поверхность материнских известняковых пород (750–1650 м н. у. м.), «излюбленных» экотопов нагорных ксерофитов [2].

Популяционные исследования этого оригинального вида на территории дагестанских гор находятся на начальной стадии. Предварительные наблюдения показывают, что изучаемые в разных участках внутригорий республики ценопопуляции этого вида по доминированию особей в среднем генеративном возрастном состоянии относятся к нормальному типу, когда максимум приходится на это состояние [3]. В то же время ряд авторов указывает на угрожаемое состояние ценопопуляций этого вида, связывая его с ограниченным естественным возобновлением особей [4; 5]. Так, З.З. Шахбановой [5] при анализе реальной семенной продуктивности *S. gumbetica* по разным локалитетам Дагестана было выявлено крайне низкое количество семянок, обладающих всхожестью и способных дать жизнеспособные проростки (1.70 штук на корзинку в ценопопуляции окрестностей Чиркейского водохранилища и 2.11 штук на корзинку – в ценопопуляции окрестностей селения Хариколо при общем количестве семянок в корзинке 21.3 и 27.8 соответственно). Такая низкая реальная семенная продуктивность особей может привести к сокращению естественного ареала вида [5]. В связи с вышесказанным проведен анализ виталитетного состояния особей *S. gumbetica* во внутригорном (Центральном) Дагестане на примере модельной ценопопуляции окрестностей селения Тантари Гумбетовского района (*locus classicus*) для оценки морфогенетического потенциала и возможностей микроклонального размножения особей этого оригинального нагорно-ксерофитного вида.

Для изучения и сохранения редких видов растений все более широко применяются биотехнологические методы [6; 7], однако они лишь начинают разрабатываться в отношении редких и ценных видов растений Дагестана [8]. Скабиоза остается мало изученным объектом в этом отношении, встречаются лишь отдельные сведения по видам этого рода [9]. Ранее нами была налажена методика непрямого органогенеза *S. gumbetica* через каллусную культуру [10]. Поэтому в задачи настоящего исследования входила и разработка способа прямого органогенеза для дальнейшего возможного использования его результатов в поддержании ботанических коллекций редких видов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение ценопопуляции *S. gumbetica* окрестностей селения Тантари Гумбетовского района Дагестана в полевые сезоны 2013–2020 гг. было связано с использованием общепринятых для горных условий республики [11–15] геоботанических подходов: закладкой учетных площадей на трансектах, располо-женных поперек склонов с типичными сообществами нагорных ксерофитов, изучением проективного покрытия субстрата особями, выраженного в процентах, определением обилия особей (по Друде), выяснением роли особей в естественных фитоценозах. Полевой материал собирали в первых числах июля (массовое цветение особей) и в конце июля (массовое плодоношение особей). Учетной единицей выбрана средневозрастная генеративная особь, выборка составила 50 штук; выкопка особей для определения фитомассы осуществлялась в 15 площадях с учетом всех местообитаний: каменистые склоны, травянистые склоны, скалы, обочины грунтовых дорог).

Промеры и взвешивания осуществляли в лабораторных условиях. Семенную продуктивность генеративного побега определяли анализом всхожести семянок или общей его продуктивности – «коэффициент семенификации» [16], что колеблется в широких пределах и отражает процент всхожих семянок от числа цветков на корзинку.

Виталитетное состояние особей в изучаемой ценопопуляции определяли методом Ю.А. Злобина [17], в качестве учетных были выбраны мерные и счетные параметры – высота генеративного побега, число листьев в розетке, длина листа розетки, длина листа генеративного побега, диаметр корзинки в цветении, число цветков в корзинке, число оберточных листьев корзинки, число семянок на корзинку, длина семянки, вес семянки. Эти данные вносились в виде массивов в электронные таблицы и обрабатывались с помощью возможностей аппарата математической статистики для выявления частот разных показателей (среднее арифметическое $\overline{X}$, его ошибка $S_{\overline{X}}$, коэффициент вариации *CV%*, ошибка опыта $S_{\overline{X}\%} = \frac{S_{\overline{X}}}{\overline{X}} \cdot 100\%$.

При определении виталитета особей в выборке были отобраны указанные выше признаки, особи распределяли по трем размерным классам (a – крупные, b – средние, c –мелкие), при этом границами деления служили числа в интервале $\overline{X}_r = \overline{X} \pm tS_{\overline{X}}$. После построения доверительных интервалов, выявляли показатель качества (виталитета) особей в популяции (*Q*) в зависимости от соотношения групп особей в размерных классах по формуле *Q=(a+b)/2 >,=,<c.*

Степень процветания или депрессивных тенденций морфометрических параметров особей изучаемой ценопопуляции определяли по формуле $I_Q = \frac{(a+b)}{2c}$ [18].

В качестве исходного материала для введения в культуру *in vitro* использовали зеленые побеги средневозрастных генеративных особей *S. gumbetica*, полученные с растений тантаринской ценопопуляции в местах их естественного произрастания. Асептику обеспечивали по общепринятой методике в условиях ламинар – бокса [6; 19]. Побеги замачивали в мыльной воде с добавлением 2–3 капель твин-80 в течение 10–15 минут, несколько раз промывали водопроводной и 2–3 раза – дистиллированной водой, стерилизовали в течение 8 минут в 0,1%-м растворе сулемы ($HgCl_2$) и

затем трехкратно (15, 10 и 5 минут) промывали в дистиллированной воде. После стерилизации выделяли узловые экспланты и помещали их на питательную среду Мурасиге-Скуга (МС), содержащую разные дозы регуляторов роста: индолилмасляной кислоты (ИМК), нафтилуксусной кислоты (НУК), 6-бензиламинопурина (БАП) и кинетина. Эксперименты проводили в контролируемых условиях в климатической камере Sanyo MLR (16 часовой фотопериод, температура 23–25°С, влажность 70–75%). Оценку состояния эксплантов проводили по показателям выживаемости (% живых эксплантов от их общего числа в варианте), роста, активности процессов каллусообразования и морфогенеза. Рост оценивали по количеству эксплантов (в процентах от общего их числа в варианте), у которых наблюдали увеличение размеров, а также визуально в баллах (0–3): рост отсутствует («0»), прирост экспланта не превышает («1»), равен («2») или превышает («3») его изначальную величину. Каллусообразование оценивали в процентах (доля эксплантов, у которых наблюдали формирование каллуса, в % от общего числа эксплантов в варианте), и баллах, отражающих степень его развития (1 – начало закладки, 2 – слабое покрытие раневой поверхности, 3 – мощное развитие). Эффективность клонального размножения оценивали по количеству новообразованных побегов.

В связи с ограниченностью исходного материала для первичного введения в культуру *in vitro* было использовано 10 побегов. Дальнейшие опыты проведены в 10–20 кратной биологической повторности, результаты приведены в виде средних значений и их стандартных ошибок.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экотопы произрастания нагорных ксерофитов во внутригорьях Дагестана, традиционно считаются «неудобьями», то есть местами, где температурные, горно-экспозиционные, почвенные и другие условия не позволяют растительному покрову иметь сплошной характер размещения, в этой связи наши геоботанические исследования в окрестностях с. Тантари, естественно, выявили низкую степень проективного покрытия почвы на изучаемых площадках особями *S. gumbetica* (от 5 до 25%). Наименьшего обилия особи достигали в несомкнутых сообществах скал и каменистых склонов. В то же время, размеры средневозрастных генеративных особей в этих экотопах были довольно крупными. Наименьшими размерами и наибольшим обилием характеризовались особи изучаемого вида в условиях каменистых лугов. Видимо, при наличии нормальных почвенных условий для развития особей изучаемого вида в ценопопуляции становится много, что сопровождается миниатюризацией их размеров. Но даже при наибольшем обилии и во время массового цветения особи никогда не перекрывают органы друг друга и не аспектируют в ценозах. Таким образом, ценотическая роль изучаемого растения в сообществах указанной территории чаще всего ассектаторная, что уже было отмечено немного ранее [3]. Особи размещаются на изучаемой территории группами, контагиозно, что хорошо заметно даже без специальных исследований.

Исследования тантаринской ценопопуляции *S. gumbetica* выявили некоторые особенности варьирования учетных признаков. Средневозрастные генеративные особи в выборке изучаемой ценопопуляции отличаются широким диапазоном коэффициента вариации. Мы связываем это с гетерогенностью экотопов. Несмотря на произрастание на склонах южной экспозиции и каменистом их характере, места произрастания особей изучаемого вида все же заметно различаются по степени крутизны склона, подвижности субстрата (неподвижный или сильно подвижный), соседствующим видам. Видимо, это и приводит к разбросу значений признаков. Умеренный коэффициент вариации зафиксирован для признаков «диаметр корзинки в цветении», «число оберточных листьев корзинки», повышенный – для признаков «длина листа розетки», «длина листа генеративного побега», «число цветков в корзинке», «число семянок на корзинку», «длина семянки», высокий – у признаков «высота генеративного побега» и «вес семянок» и очень высокий – у признаков «число листьев в розетке». Среди всех учтенных признаков наименее вариабельны те, которые имеют отношение к соцветиям изучаемого растения. Выборка, взятая для анализа, достоверно отражает генеральную совокупность, так как ошибка опыта в вариантах колеблется в пределах от 1,8 до 4,5 по разным параметрам (табл. 1), что не превышает уровень пяти процентов.

Жизненность, или виталитет особей, определяющий устойчивое, нормальное их существование в популяциях, у *S. gumbetica* в тантаринской ценопопуляции демонстрирует невысокое качество процессов жизнедеятельности. Использованный для виталитетного анализа способ одномерной оценки метрических признаков с ранжированием показаний и разделением выборки на три группы продемонстрировал указанные выше тенденции. Так, по пяти учетным признакам в ценопопуляции преобладают крупноразмерные и среднеразмерные особи (табл. 2). Степень процветания (виталитета) особей по этим параметрам колеблется от 1,2 до 7,8. Преимущественно это признаки, связанные с генеративными органами (табл. 2). По пяти другим учетным признакам: «высота генеративного побега», «число листьев в розетке», «число оберточных листьев корзинки», «число семянок на корзинку», «длина листа генеративного побега» в выборке изучаемой ценопопуляции преобладают мелкоразмерные особи. Эти пять признаков с депрессивными тенденциями развития у особей имеют степень выраженности в рамках от 0,8 до 0,4 (табл. 2). Вычисленный по всем десяти признакам усредненный уровень виталитета *S. gumbetica* в популяции окрестностей селения Тантари показывает его депрессивный характер с небольшой степенью выраженности этих тенденций.

Как известно, высокое виталитетное состояние особей в популяциях растений не всегда трактуют как устойчивость их развития, особенно если популяция составлена ассектаторами [17]. В то же время, депрессивные явления, наблюдаемые в популяционной жизни *S. gumbetica* в Тантаринском локалитете уже не один год подряд, не могут не настораживать, учитывая отсутствие таких ярко выраженных тенденций в ценопопуляциях других территорий Внутригорного Дагестана [17].

Полученные данные подчеркивают недостаточность материала нескольких лет полевых наблюдений и сборов для качественного и полного

изучения особенностей популяционной жизни *S. gumbetica* в данном локалитете; первые также указывают на необходимость систематического мониторингового изучения состояния вида во временных промежутках, сопоставимых с продолжительностью его большого жизненного цикла. Думаем, что продолжительные исследования в этом направлении важны также для научного обоснования необходимости охраны данного вида в определенных локалитетах республики.

Для характеристики репродуктивной биологии вида обязательным показателем является определение продукционных характеристик его ценопопуляций (репродуктивный успех, репродуктивное усилие, урожайность) или отдельных особей (семенная продуктивность, биомасса репродуктивных органов и др.). Высокие показатели продукционного процесса характерны для изучаемого вида в отношении потенциальной семенной продуктивности: 631,7 семянок на особь, условно-реальная продуктивность – 626 семянок на особь, что составляет 99% от потенциальной. В то же время, реальная семенная продуктивность, под которой мы понимаем число всхожих семянок на растение, крайне низкая, а целенаправленное изучение всхожести семянок в лабораторных условиях выявило коэффициент семенной продуктивности в пределах 0–9%, что явно недостаточно для семенного возобновления в природных популяциях *S. gumbetica*. В этом плане весьма важен потенциал вегетативного возобновления особей изучаемого вида в ценопопуляции. На учетных площадях, начиная с виргинильного возрастного состояния, у особей появляются раметы с вегетативными побегами – розетками. Наибольшее их количество на особь было характерно для сенильного, средневозрастного генеративного и старого генеративного состояний, гораздо меньшее количество ramet наблюдается у виргинильных или молодых генеративных особей изучаемого вида в тантаринской ценопопуляции (табл. 3). Недостаток семенного возобновления, таким образом, здесь возмещается возможностями вегетативного возобновления. Это важно и в плане фотосинтетической активности, ведь у особей *S. gumbetica* отсутствуют или ограниченное количество (2–4) мелких листьев на генеративном побеге.

Выявленные нами низкая реальная семенная продуктивность и элементы депрессивных тенденций при оценке виталитета особей в изучаемой ценопопуляции *S. gumbetica* свидетельствуют о необходимости разработки методов для ее сохранения, и здесь перспективными могут стать биотехнологические методы, в частности, микроклонального размножения путем прямого органогенеза.

Таблица 1. Данные морфометрических исследований средневозрастных генеративных особей *Scabiosa gumbetica* в тантаринской ценопопуляции
Table 1. Indicators morphometric study of middle-aged generative individuals *Scabiosa gumbetica* in Tantari coenopopulation

Параметры / Parameters	$\overline{X} \pm S_{\overline{X}}$	$S_{\overline{X}}\%$	$CV\%$
Число листьев в розетке, см Number of leaves in rosettes, sm	9,9±0,3	3,0	42,5
Длина листа розетки, см Length of leaves in rosettes, sm	5,2±0,2	3,8	25,7
Длина листа генеративного побега, см Length of leaves in generative shoots, sm	3,4±0,1	2,9	25,3
Диаметр корзинки в цветении, см Diameter of flowering floscules, sm	2,9±0,1	3,4	18,9
Число цветков в корзинке, шт Number of flowers in floscules, pcs	22,4±1,0	4,5	21,3
Число оберточных листьев корзинки, шт Number of wrapping leaves of floscules, pcs	9,8±0,2	2,0	15,5
Число семянок на корзинку, шт Number of seeds in floscules, pcs	22,2±0,4	1,8	24,5
Длина семянки, мм Length of seeds, mm	2,8±0,1	3,6	23,7
Вес семянки, мг Weight of seeds, mg	7,9±0,2	2,5	30,5

Примечание: $\overline{X} \pm S_{\overline{X}}$ – среднее арифметическое и ошибка среднего арифметического,

$S_{\overline{X}}\% = \frac{S_X}{\overline{X}} \cdot 100\%$ – ошибка опыта, $CV\%$ – коэффициент вариации

Note: $\overline{X} \pm S_{\overline{X}}$ *– arithmetic mean and error of arithmetic mean,* $S_{\overline{X}}\% = \frac{S_X}{\overline{X}} \cdot 100\%$ *– error of experiment,*

$CV\%$ *– coefficient of variation*

Экспланты *S. gumbetica* обладали высокой жизнеспособностью в культуре *in vitro*, их рост и выживаемость на среде МС с добавлением БАП (0.5 мг/л), ИМК и БАП (0.5: 2.5 мг/л), а также кинетина (0.5 и 2.5 мг/л) достигали 100 % (табл. 4). Во всех вариантах через 4–6 недель культивирования отмечали закладку и рост адвентивных почек (рис. 1). Наибольшее количество экплантов (100%), сформи-

ровавших почки, было отмечено на среде с кинетином (0.5 мг/л). При повышении его содержания в среде до 2,5 мг/л показатель снижался в 3 раза, составляя уже 33%. В вариантах с введением БАП или совместным введением БАП и ИМК почки формировались у 33–43% эксплантов.

Таблица 2. Данные определения виталитета Тантаринской ценопопуляции *Scabiosa gumbetica*
Table 2. Indicators definitions of vitality Tantari coenopopulation of *Scabiosa gumbetica*

Параметры / Parameters	**Определение виталитета особей ценопопуляции** Vitality of individuals in coenopopulation		
	Границы деления выборок Range of samples	**Процент особей классов *a/b/c*** Percentage of individuals in classes *a/b/c*	**Степень виталитета** Degree of vitality
Высота генеративного побега, см Height of generative shoots, sm	24,5–21,1	39/16/45	0,6
Число листьев в розетке, шт Number of leaves in rosettes, pcs	10,5–9,3	32/11/57	0,4
Длина листа розетки, см Length of leaves in rosettes, sm	6,0–4,4	14/62/24	1,6
Длина листа генеративного побега, см Length of leaves in generative shoots, sm	3,6–3,2	33/18/49	0,5
Диаметр корзинки в цветении, см Diameter of flowering floscules, sm	3,1–2,7	21/52/27	1,4
Число цветков в корзинке, шт Number of flowers in floscules, pcs	25,2–19,6	30/48/22	1,8
Число оберточных листьев корзинки, шт Number of wrapping leaves of floscules, pcs	10,2–9,4	26/34/40	0,8
Число семянок на корзинку, шт Number of seeds in floscules, pcs	23,0–21,4	38/10/52	0,5
Длина семянки, см Length of seeds, sm	3,0–2,6	57/14/29	1,2
Вес семянки, мг Weight of seeds, mg	8,3–7,5	66/28/6	7,8
Виталитетное состояние особей ценопопуляции в целом State of vitality of individuals in coenopopulation in general		36/29/35 Депрессивное / Depression	0,9

Таблица 3. Интенсивность вегетативного размножения особей *Scabiosa gumbetica* в тантаринской ценопопуляции
Table 3. Intensity of vegetative propagation of individuals of *Scabiosa gumbetica* in the Tantari coenopopulation

Возрастное состояние Age status	**Количество, шт** Number, pcs		
	Рамет на особь Ramets per individual	**Розеток на рамету** Rosettes in ramets	**Розеток на особь** Rosettes per individual
Виргинильное Virginal	6,0±0,3	19,7±0,5	118,2
Молодое генеративное Young generative	5,0±0,2	9,8±0,6	49,0
Средневозрастное генеративное Middle-aged generative	16,8±1,0	26,9±0,6	451,9
Старое генеративное Old generative	8,0±0,2	30,0±0,3	240,0
Сенильное Senile	8,2±0,3	24,5±0,9	196,0

В среднем во всех вариантах почки на узлах без формирования каллуса развивались в количестве 3–5 на эксплант, при этом активность роста из них побегов зависела от гормонального состава среды. Так, на среде с ИМК и БАП рост отмечен только у 14%, с БАП – у 33% (рис. 1), а с 0.5 мг/л кинетина – у всех 100% эксплантов. В то же время на среде с более высоким (2.5 мг/л) содержанием кинетина рост побегов полностью подавлялся. В варианте с НУК (0.5 мг/л) выживаемость эксплантов составила лишь 20%. У всех эксплантов в варианте с кинетином (0.5 мг/л) происходила закладка в среднем около 5 почек на эксплант (коэффициент мультипликации 1:5) с дальнейшим ростом 3–4 побегов. В вариантах с НУК у 20–30% происходила закладка почек без роста побегов (табл. 4).

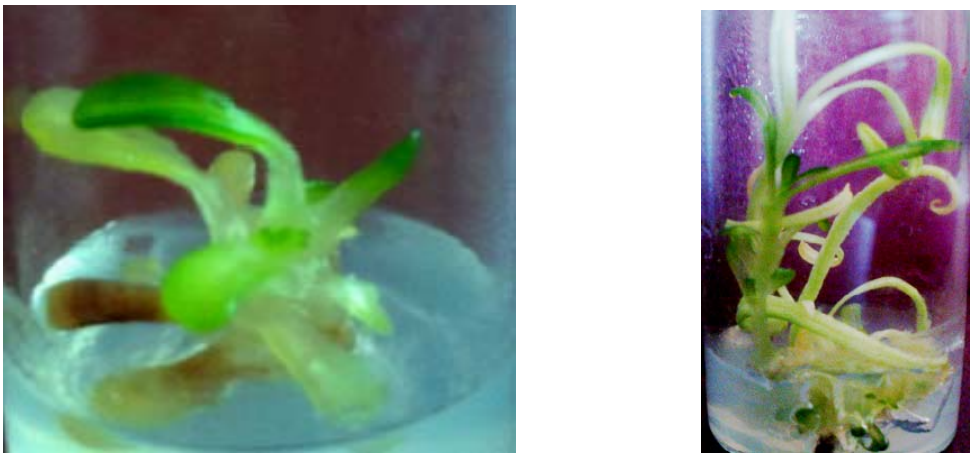


Рисунок 1. Состояние узловых эксплантов *Scabiosa gumbetica* при первом пассировании на 25 и 55сутки культивирования на среде МС+ БАП (0.5. мг/л)
Figure 1. Condition of nodular explants of *Scabiosa gumbetica* during the first passage on the 25th and 55th days of cultivation on MS+ BAP medium (0.5 mg/l)

Таблица 4. Морфогенез узловых эксплантов *Scabiosa gumbetica*
Table 4. Morphogenesis of nodal explants of *Scabiosa gumbetica*

Вариант Variant	**Выживаемость,%** Survival, %	**Рост** Growth		**Каллус** Callus		**Морфогенез, %** Morphogenesis, %		
		%	балл score	%	балл score	корни roots	почки (% / шт.) buds (% / pieces)	побеги shoots
I пассаж / I passage								
1	100	100	2.9±0.1	0	-	0	43 / 3	14
2	100	100	2.8±0.2	0	-	0	33 / 3	33
4	100	100	2.8±0.2	0	-	0	100 / 5	100
5	100	66	0.8±0.4	0	-	0	33 / 1	0
6	20	100	1.7±0.2	100	2.0±0.3	0	20 / 5	0
II пассаж / II passage								
2	100	80	2.5±0.3	34	1.0±0.1	0	80 / 4	80
III пассаж / III passage								
2	90	100	2.9±0.2	100	1.8±0.2	0	100 / 4	100
IV а пассаж / IV a passage								
3	80	100	2±0.3	100	2.3±0.4	0	80	80
IV б пассаж / IV б passage								
3	100	100	0.8±0.1	100	2.7±0.2	80	0	0

Примечание: Варианты культивирования: МС+ ИМК + БАП (0.5:2.5 мг/л) (1), МС+ БАП (0,5 мг/л) (2), МС+ ИМК (0.5 мг/л) (3), МС + кинетин (0.5 мг/л) (4); МС+ кинетин (2.5 мг/л) (5); МС + НУК (0.5 мг/л) (6); а – без предобработки, б – с предобработкой ИМК
Note: Cultivation options: MS+ BAP + BAP (0.5:2.5 mg/l) (1), MS+ BAP (0.5 mg/l) (2), MS+ BAP (0.5 mg/l) (3), MS + kinetin (0.5 mg/l) (4; MS+ kinetin (2.5 mg/l) (5); MS + NAA (0.5 mg/l) (6); a – without preprocessing, b – with IBA preprocessing

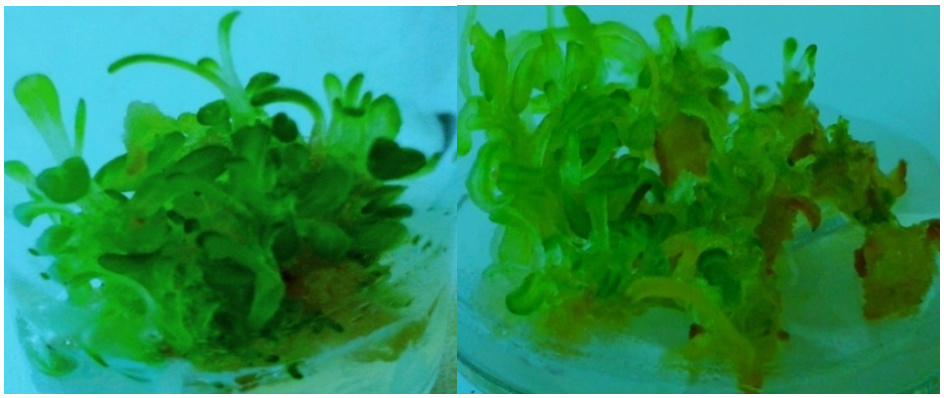
На следующем этапе, на 25-е сут. культивирования, полученные побеги-регенеранты использовали для микрочеренкования (этап собственно микроразмножения). Узловые экспланты, культивируемые на среде МС + БАП (0.5 мг/л), характеризовались высокими показателями выживаемости, роста и морфогенеза (табл. 4, второй пассаж, рис. 2). Отмечена мультипликация побегов, развитие 3–6 и более почек и разворачивание листьев у 80% эксплантов (коэффициент мультипликации, соответственно, 1:3–1:6), у 20% эксплантов наблюдалось побурение и дальнейшее отмирание. У 34% эксплантов (от общего числа жизнеспособных) наблюдалась закладка рыхлой, оводненной каллусной ткани светло-бежевого цвета с легко отделяющимися друг от друга участками.

Далее побеги вновь подвергали микроразмножению: узловые экспланты размером 5–10 мм, полученные на побегах второго пассажа, пересаживали на среду МС+ БАП (0.5 мг/л) (рис. 3а) (третий пассаж), а затем параллельно на два варианта среды: МС+БАП (0.5 мг/л) (рис. 3б) и МС+ИМК (0.5 мг/л) (четвертый пассаж). При высокой выживаемости эксплантов здесь отмечена и высокая активность

формирования почек, достигающая 80–100%, с последующим ростом побегов. Однако в целом экспланты узлов побегов скабиозы характеризовались некоторым снижением жизнеспособности при длительном пассировании. Так, выживаемость в третьем пассаже составила 90%, четвертом – 80% (табл. 4), тогда как при первичной посадке достигала 100%. При этом у всех жизнеспособных эксплантов с зеленой окраской наблюдалась интенсивная пролиферация каллуса и закладка пазушных почек с последующим ростом из них побегов.

а б в

Рисунок 2. Узловые экспланты *Scabiosa gumbetica* при втором пассировании в варианте МС+ кинетин (2.5 мг/л) (а); МС+ НУК (0.5 мг/л) (б); МС+ кинетин (0.5 мг/л) (в) на 60 сутки культивирования
Figure 2. *Scabiosa gumbetica* nodular explants during the second passage in the variant MS + kinetin (2.5 mg/l) (a); MS+ NAA (0.5 mg/l) (b); MS+ kinetin (0.5 mg/l) (c) on the 60th day of cultivation



а б

Рисунок 3. Узловые эксплантов *Scabiosa gumbetica* третьего (а) и четвертого (б) пассажей на 55 сутки культивирования на среде МС+БАП (0.5 мг/л)
Figure 3. *Scabiosa gumbetica* nodular explants of the third (a) and fourth (b) passages on the 55th day of cultivation on MS+BAP medium (0.5 mg/l)

Для индукции ризогенеза часть эксплантов после достижения побегами размеров 2 см перед культивированием на среде с ИМК (0.5 мг/л) обрабатывали 1% раствором ИМК в течение 1 часа. Все экспланты узлов скабиозы с предобработкой ИМК на 55 сутки характеризовались высокой выживаемостью, закладкой рыхлой, активно растущей, покрывающей всю поверхность побега оводненной каллусной ткани коричневого цвета с легко отделяющимися друг от друга участками при слабом росте самого побега. У 80% эксплантов с сильно разросшейся каллусной тканью, наблюдалась закладка в среднем 4-х корней на экспланта (табл. 4, IVб). Выживаемость у всех эксплантов при четвертом пассировании составила 80%, при этом интенсивность роста и способность к морфогенезу на среде с БАП у них были выше, чем на среде с ИМК (табл. 4 II–IVa).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введен в культуру *in vitro* редкий, нуждающийся в охране вид – *Scabiosa gumbetica,* генеративные особи которого имеют невысокое качество виталитета в тантаринской ценопопуляции и слабо возобновляются генеративным путем в природных условиях; разработана схема его микроклонального размножения. Выбраны оптимальные условия для повышения морфогенетического потенциала эксплантов изучаемого растения и определены условия для увеличения его посадочного материала.

Перспективы анализа возможностей реализации семенного и вегетативного возобновления *S. gumbetica* связаны с изучением не только состояния популяций этого палеоэндемичного вида в типичных условиях его распространения, но и потенциальной выживаемости потомства микроклонального воспроизведения в соответствующей им природной среде.

БЛАГОДАРНОСТЬ
На этапе обсуждения идеи и планирования хода исследования авторы руководствовались ценными советами и рекомендациями д.б.н., профессора А.Г. Юсуфова (1930–2018).
ACKNOWLEDGMENT
The authors were guided by the valuable advice and recommendations of Doctor of Biological Sciences, Professor A.G. Yusufov (1930–2018), at the stage of discussing the idea and planning the course of the study.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Н.И. Нагорный Дагестан и значение его в истории развития флоры Кавказа // Известия Императорского Русского географического общества. 1910. XLVI (VI). С. 213–260.
2. Львов П.Л. Редкие и исчезающие виды растений Дагестана // Бюллетень Главного ботанического сада 1976. N 102. С. 102–106.
3 Бийболатова З.А., Аджиева А.И. Онтогенетическая структура ценопопуляций эндемичного дагестанского вида *Scabiosa gumbetica* Boiss. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. N 10. С. 43–47.
4. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Кавказский элемент во флоре Российского Кавказа: география, созология, экология. Краснодар. 2009. 439 с.
5. Шахбанова З.З. Популяционные исследования репродуктивной сферы *Scabiosa gumbetica* Boiss. // Сборник статей Всероссийской научной конференции «Модернизация науки и образования», Махачкала, 2015. С. 144–146.
6. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. М.: ФБК – ПРЕСС, 1999. 160 с.
7. Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Ширнина И.В., Егорова Д.А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов // Ботанический журнал. 2020. Т. 105. N 6. С. 610–619. DOI: 10.31857/S0006813620030072
8. Алиева З.М., Мартемьянова В.К., Юсуфов А.Г. Специфика морфогенеза изолированных структур редких растений Дагестана *in vitro* // Фундаментальные исследования. 2014. N 6. С. 58–62.
9. Масленников А.В., Сорокина С.С., Филиппова С.С. Редкий охраняемый вид скабиоза исетская (*Scabiosa isetensis* L.) как объект клеточных технологий // Материалы Всероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии». Чебоксары: ИД «Среда», 2019.С. 34–37.
10. Мартемьянова В.К., Алиева З.М. Морфогенез эксплантов зеленых побегов скабиозы гумбетовской (*Scabiosa gumbetica* Boiss.) *in vitro* и ее микроразмножение // Биотехнология. 2014. N 3. С. 62–66.
11. Ахмедова З.М., Бабаева Д.Р., Шахбанова З.З., Магомедова Б.С. Изучение пространственного размещения особей *Onobrychis majorovii* на массиве Сарыкум (Дагестан) // Материалы международной конференции «Флора и заповедное дело на Кавказе: история и современное состояние изученности». Пятигорск, 22-25 мая 2019. С. 18–19.
12. Яровенко Е.В. Некоторые исследования популяции хохлатки таркинской (*Corydalis tarkiensis* Prok (*Fumariaceae* DC.) на территории Нараттюбинского хребта (Дагестан) // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2016. N 1. С. 82–90.
13. Аджиева А.И. Изучение метрических параметров в сарыкумской ценопопуляции эспарцета Майорова // Тезисы докладов III Всероссийской научной конференции «Закономерности распространения, воспроизведения и адаптаций растений и животных», Махачкала, 2021. С. 28–29.
14. Гаджиева Н.Н., Аджиева А.И. Первичные итоги исследования чиркейской ценопопуляции *Onosma sericea* Willd. // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки. 2022. Т. 37. Вып. 1. С. 95–101. DOI: 10.21779/2542-0321-2022-37-1-95-101
15. Муртузалиева П.М. Виталитетный анализ Сачадинской ценопопуляции *Salvia Beckeri* (Trautv.) // Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием «Горные экосистемы и их компоненты», Нальчик, 11–16 сентября 2017. С. 59–61.
16. Ходачек Е.А. Семенная продуктивность и урожай семян растений в тундрах Западного Таймыра // Ботанический журнал. 1970. N 55. С. 995–1010.
17. Злобин Ю.А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы. 2009. 263 с.
18. Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М., Жирнова Т.В. Стратегии жизни ценопопуляции *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. на территории Башкирского Государственного заповедника. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2005. N 1(9). С. 85–98.
19. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев: Наукова думка, 1980. 448 с.

REFERENSES

1. Kuznetsov N.I. Mountain Dagestan and its importance in the history of the Caucasian flora. Izvestiia Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshchestva [News of the Imperial Russian Geographical Society]. 1910, XLVI (IV), pp. 213–260. (In Russian)
2. Lvov P.L. Rare and endangered species of plants of Dagestan. Biulleten Glavnogo Botanicheskogo Sada [Bulletin of the main botanical garden]. 1976, no. 102, pp. 102–106. (In Russian)
3. Biibolatova Z.A., Adzhieva A.I. Ontogenetic spectrum coenopopulations endemic Dagestan kind *Scabiosa gumbetica* Boiss. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh I fundamentalnykh issledovanii [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2014, no. 10, pp. 43–47. (In Russian)
4. Litvinskaya S.A., Murtazaliev R.A. *Kavkazskii element vo flore Rossiiskogo Kavkaza: geografiya, sozologiya, ekologiya* [The Caucasus Element within the Flora of the Russian Caucasus: Geography, Sozology, Ecology]. Krasnodar, 2009, 439 p. (In Russian)
5. Shakhbanova Z. Z. Populyatsionnye issledovaniya reproduktivnoi sfery Scabiosa gumbetica Boiss. [Population investigations of reproductive sphere of *Scabiosa gumbetica* Boiss.]. In: *Sbornik statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii «Modernizatsiya nauki i obrazovaniya»* [Digest of articles of All-Russian Scientific Conferences «Modernization science and education», Makhachkala, 2015]. Makhachkala, 2015, pp. 144–146. (In Russian)
6. Butenko R.G. *Biologiya kletok vysshikh rastenii in vitro i biotekhnologii na ikh osnove* [Biology of higher plant cells *in vitro* and biotechnology based on them]. Moscow, FBK – PRESS, 1999, 160 p. (In Russian)
7. Molkanova O.I., Gorbunov Yu.N., Shirnina I.V., Egorova D.A. Application of biotechnological methods for preserving the gene pool of rare species. *Botanical Journal*, 2020, vol. 105, no. 6, pp. 610–619. (In Russian) DOI: 10.31857/S0006813620030072
8. Alieva Z.M., Martem'yanova V.K., Yusufov A.G. Specificity of morphogenesis of isolated structures of rare plants of Dagestan *in vitro*. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. 2014, no. 6. pp. 58–62. (In Russian)
9. Maslennikov A.V., Sorokina S.S., Filippova S.S. Redkii okhranyaemyi vid skabioza isetskaya (Scabiosa isetensis L.) kak ob"ekt kletochnykh tekhnologii [A rare protected species of

scabiosa isetensis (*Scabiosa isetensis* L.) as an object of cellular technologies]. *Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii «Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya po prioritetnym napravleniyam bioekologii i biotekhnologii», Cheboksary, 2019* [Materials of the All-Russian Scientific Conference "Fundamental and Applied Research in Priority Areas of Bioecology and Biotechnology"]. Cheboksary, "Sreda" Publ., 2019, pp. 34–37. (In Russian)
10. Martemyanova V.K., Alieva Z.M. Morphogenesis of explants of green shoots of *Scabiosa gumbetica* Boss. *in vitro* and its micropropagation. Biotekhnologiya [Biotechnology]. 2014, no. 3, pp. 62–66. (In Russian)
11. Ahmedova Z.M., Babaeva D.R., Shahbanova Z.Z., Magomedova B.S. Izuchenie prostranstvennogo razmeshcheniya osobei *Onobrychis majorovii* na massive Sarykum (Dagestan) [Study of spatial placement of *Onobrychis majorovii* individuals on the Sarykum massif (Dagestan)]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Flora i zapovednoe delo na Kavkaze: istoriya i sovremennoe sostoyanie izuchennosti». Pyatigorsk, 22-25 maya 2019* [Materials of the international conference "Flora and Conservation in the Caucasus: history and current state of knowledge". Pyatigorsk, May 22-25, 2019]. Pyatigorsk, 2019, pp. 18–19. (In Russian)
12. Yarovenko E.V. Some studies of the population of the *Corydalis Tarkinsky (Corydalis tarkiensis* Prok (*Fumariaceae* DC.) on the territory of the Narattyubinsky ridge (Dagestan). Botanicheskii vestnik Severnogo Kavkaza [Botanical Bulletin of the North Caucasus]. 2016, no. 1, pp. 82–90. (In Russian)
13. Adzhieva A.I. Izuchenie metricheskikh parametrov v sarykumskoi tsenopopulyatsii espartseta Maiorova [Study of metric peremeters in the Sarykum coenopopulation of Onobrychis Mjorovii]. *Tezisy dokladov III Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii «Zakonomernosti rasprostraneniya, vosproizvedeniya i adaptatsii rastenii i zhivotnykh», Makhachkala, 2021* [Abstracts of reports of the All-Russian scientific conferens «Patterns of distribution, reproduction and adaptation of plants and animals», Makhachkala, 2021]. Makhachkala, 2021, pp. 28–29. (In Russian)
14. Gadzhieva N.N., Adzhieva A.I. Primary results of the study of the Chirkei coenopopulation *Onosma sericea* Willd. *Bulletin of Dagestan State University. Series 1. Natural sciences*, 2022, vol. 37, iss. 1, pp. 95–101. (In Russian) DOI: 10.21779/2542-0321-2022-37-1-95-101
15.Murtuzalieva P.M. Vitalitetnyi analiz Sachadinskoi tsenopopulyatsii *Salvia Beckeri* (Trautv.) [Vital analysis of the Sachada coenopopulation of Salvia Beckeri (Trautv)]. *Materialy VI Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Gornye ekosistemy i ikh komponenty», Nal'chik, 11-16 sentyabrya 2017* [Proceedings of the VI All-Russian Conference with international participation "Mountain ecosystems and their components", Nalchik, 11-16 September 2017]. Nalchik, 2017, pp. 59–61. (In Russian)
16.Khodachek E.A. Seed productivity and seed yield of plants in the tundra of Western Taimyr. Botanicheskii zhurnal [Botanical Journal]. 1970, no. 55 (7), pp. 995–1010. (In Russian)
17.Zlobin Yu.A. The theory and practice of evaluation vital composition of plants. Botanicheskii zhurnal. [Botanical Journal]. 1989, no. 74 (6), pp. 769–781. (In Russian)
18.Ishbirdin A.R., Ishmuratova M.M., Zhirnova T.V. Strategies of life seedlings of *Cephalantherarubra* (L.) Rich. on the territory of the Bashkir State nature reserve. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University]. 2005, no. 1(9), pp. 85–98. (In Russian)
19. Kalinin F.L., Sarnackaya V.V., Polishchuk V.E. *Metody kul'tury tkanei v fiziologii i biokhimii rastenii* [Methods of tissue culture in plant physiology and biochemistry]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1980, 448 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Авторы совместно работали над проведением экспериментов и обсуждением результатов. Аида И. Аджиева выполнила популяционные исследования. Зарина М. Алиева и Вера К. Мартемьянова провели эксперименты в культуре *in vitro*. 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

The authors worked together to conduct the experiments and discuss the results. Aida I. Adzhieva carried out population studies. Zarina M. Alieva and Vera K. Martemyanova undertook the *in vitro* culture experiments. 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

Аида И. Аджиева / Aida I. Adzhieva https://orcid.org/0000-0002-7621-5898
Зарина М. Алиева / Zarina M. Alieva https://orcid.org/0000-0002-7722-7399
Вера К. Мартемьянова / Vera K. Martemyanova https://orcid.org/0000-0001-7517-5671

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-40-49

Постагрогенные фитоценозы Волжско-Окского междуречья

Татьяна А. Трифонова[1], Сергей А. Шоба[1], Наталья В. Мищенко[2], Елена П. Быкова[1], Павел С. Шутов[2], Олег В. Савельев[2], Роман В. Репкин[2]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2]Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия

Контактное лицо
Татьяна А. Трифонова, доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; 119991 Россия, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1.
Тел. +74922479943
Email tatrifon@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1628-9430

Формат цитирования
Трифонова Т.А., Шоба С.А., Мищенко Н.В., Быкова Е.П., Шутов П.С., Савельев О.В., Репкин Р.В. Постагрогенные фитоценозы Волжско-Окского междуречья // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 40-49. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-40-49

Получена 22 августа 2022 г.
Прошла рецензирование 21 сентября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. На основе фактического материала осуществить оценку состояния земельных угодий ранее (более 15 лет назад) осваиваемых под пашни и «заброшенных» к настоящему времени.

Материал и методы. Контрольные площадки, расположенные в различных ландшафтных провинциях Волжско-Окского междуречья, сравнивались по состоянию растительного покрова, а также типу зарастания.

Результаты. В процессе исследования было установлено, что многие особенности постагрогенной трансформации пахотных земель анализируемой территории на начальных и промежуточных стадиях (доклимаксное состояние) определяются характером ее использования и прилегающими земельными угодьями. В результате определено три основных типа зарастания постагрогенных земель: зарастание, связанное со сменой землепользования, зарастание вблизи леса, зарастание вдали от леса.

Заключение. Показано, что в результате зарастания сельскохозяйственных угодий резко снижается видовое разнообразие растительных сообществ, восстановление которого в обозримом будущем весьма проблематично. Хотя постагрогенные фитоценозы способны постепенно восстанавливать продукционный потенциал до уровня естественных фитоценозов, однако их продуктивность обеспечивается другим видовым составом травянистых растений при низком биоразнообразии.

Ключевые слова
Состояние растительного покрова, зарастание сельскохозяйственных угодий, видовое разнообразие растительных сообществ.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Postagrogenic phytocenoses of the Volga-Oka interfluve, Russia

Tatiana A. Trifonova[1], Sergey A. Shoba[1], Natalia V. Mishchenko[2], Elena P. Bykova[1], Pavel S. Shutov[2], Oleg V. Saveliev[2] and Roman V. Repkin[2]

[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2]A.G. and N.G. Stoletov Vladimir State University, Vladimir, Russia

Principal person
Tatiana A. Trifonova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Lomonosov Moscow State University; 1 Leninskie Gory St, Moscow, Russia 119991.
Tel. +74922479943
Email tatrifon@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1628-9430

How to cite this article
Trifonova T.A., Shoba S.A., Mishchenko N.V., Bykova E.P., Shutov P.S., Saveliev O.V., Repkin R.V. Postagrogenic phytocenoses of the Volga-Oka interfluve, Russia. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 40-49. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-40-49

Received 22 August 2022
Revised 21 September 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract

Aim. On the basis of factual material, an assessment was made of the state of land previously (more than 15 years ago) developed as arable land and "abandoned" to date.

Material and Methods. Control plots located in different landscape provinces of the Volga-Oka interfluve were compared in terms of the state of the vegetation cover, as well as the type of overgrowth.

Results. Three types of overgrowing of postagrogenic lands characteristic of the initial and intermediate stages of overgrowing of pre-climax communities have been identified: overgrowing of fields associated with a change in land use; overgrowing of fields with a nearby forest; and overgrowing of fields without a closely located forest.

Conclusion. It was shown that as a result of the overgrowing of agricultural lands, the species diversity of plant communities is sharply reduced, the restoration of which is very problematic in the foreseeable future. While postagrogenic phytocenoses are able to gradually restore their production potential to the level of natural phytocenoses, however, their productivity will occur with a different species composition of herbaceous plants with low biodiversity.

Key Words
State of vegetation cover, overgrowth of agricultural land, species diversity of plant communities.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Биоразнообразие рассматривается в качестве одного из важнейших критериев оценки состояния ландшафта, оно является важным фактором поддержания стабильности среды обитания флоры и фауны и обеспечения экосистемных услуг. Для восстановления и поддержания биоразнообразия в экосистемах важно сохранение опылителей и распространителей семян [1].

Проблемы оптимальной территориальной организации ландшафтов изучены недостаточно. Рассматриваются и предлагаются различные варианты сохранения естественных растительных сообществ и их биоразнообразия в условиях активного освоения территории [2]. Например, перевод низкопродуктивных пашен в сенокосы и пастбища или перевод залежных земель в категорию охраняемых эталонов экосистем [3].

Постагрогенная трансформация определяется многообразием факторов и во многом зависит от ландшафтных особенностей территории, поэтому необходимы исследования, приуроченные к различным регионам. Зарастание залежей происходит стадийно, видовой состав фитоценозов зависит от целого ряда факторов, в результате возможны различные экологические последствия, включая изменение климатических характеристик и баланса углерода, что требует дальнейшего изучения [4–6]. Так, например, в среднетаежной зоне зарастающие луга сменяются сосново-березовыми насаждениями, соотношение пород меняется со временем, а интенсивность зависит от расстояния до леса и степени развития лугового травостоя [7; 8].

В настоящее время часто ставится вопрос о введении залежных земель в сельскохозяйственный оборот, следовательно, необходимо анализировать изменения характеристик почвенного покрова в процессе зарастания, которое часто ведет к утрате положительных свойств окультуренных почв [9–14]. Подавляющая часть исследований посвящена изучению зарастания постагрогенных земель лесной растительностью. Работы, как правило, носят прикладной, практический характер и направлены на выявление экономических потерь при выводе земель из сельскохозяйственного оборота. Практически слабо исследованными остаются вопросы возобновления травянистой растительности, ее видового состава и продуктивности, т.е. исследования воспроизводства биоразнообразия.

Зона смешанных лесов (подтайги) характеризуется преимущественным развитием лесных сообществ, которые восстанавливаются на месте заброшенных сельскохозяйственных земель [12]. На первом этапе возникает травянистое сообщество, которое с разной скоростью замещается древесной растительностью. В данной работе рассматриваются типы постагрогенных сукцессий, характерные для начальных и промежуточных стадий зарастания доклимаксных сообществ.

Целью работы явилась типизация постагрогенной трансформации почвенно-растительного покрова ландшафтов Волжско-Окского междуречья, находящихся в залежном состоянии с учетом показателей биоразнообразия и фитопродуктивности с использованием полевых исследований и методов математической статистики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на территории Волжско-Окского междуречья, которое на западе и северо-западе поднимается лесистой Смоленско-Московской возвышенностью до 300 м над уровнем моря, а на юге – Среднерусской возвышенностью, рассеченной оврагами и балками, с широколиственными рощами преимущественно в долинах рек, постепенно выполаживаясь в направлениях с северо-запада и юго-запада на восток, образуя плоскую лесисто-болотистую Мещёрскую низменность и Балахнинскую (Фролищеву) низину с высотами 70–90 м над уровнем моря (рис. 1). Почти в центре междуречья расположен бассейн реки Клязьмы, территория которого, представлена разнообразными в ландшафтном аспекте природными районами.

Исследованные участки расположены в четырех провинциях: Клинско-Дмитровской; Волжско-Клязьминской; Мещерской и Окско-Цнинской.

Почвенный покров исследованной территории представлен преимущественно дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами.

Исследования проводились в 2017–2021 годах, использовались следующие методы.

Маршрутные полевые исследования с определением контрольных площадок (ключевые участки). Площадки располагались на постагрогенных землях и участках исходных (естественных) фитоценозов (рис. 1) и были пронумерованы следующим образом:

I.Клинско-Дмитровская провинция

Клинско-Дмитровская гряда: I.01 Зарастающая залежь.

Владимирское Ополье Бассейн р. Колокши: ***I.02*** Поле, засаженное клевером и люцерной; ***I.03*** Разнотравно-злаковый луг.

Владимирское Ополье Территория бассейна р. Рпень ***I.04*** Зарастающая залежь; ***I.05*** Зарастающая залежь; ***I.06*** Зарастающая залежь.

Владимирское Ополье Боголюбовский луг: ***I.07*** Разнотравно-злаковый луг.

II. Волжско-Клязьминская провинция

Плёсско-галичская возвышенность: II.01 Зарастающая залежь; ***II.02*** Смешанный лес.

Нерлинско-Клязьминская низина: II.03 Зарастающая залежь: ***II.04*** Суходольный луг.

III. Мещерская провинция

Мещерская равнина: III.01 Разнотравный луг; ***III.02*** Возобновляющийся сосняк на песках на месте пожарища 2010г.; ***III.03*** Разнотравный мезофитный луг.

IV. Окско-Цнинская провинция

Окско-Цнинский вал: IV.01 Смешанный лес; ***IV.02*** Зарастающая залежь; ***IV.03*** Разнотравный луг.

Коврово-Касимовское плато: IV.04 Злаково-разнотравный луг; ***IV.05*** Смешанный лес.

Гороховецкий отрог: IV.06 Разнотравный злаковый луг; ***IV.07*** Злаковая залежь.

Муромское ополье: IV.08 С/х угодья; ***IV.09*** Зарастающая залежь.

Дмитриевогорский ландшафтный район: IV.010 Зарастающая залежь.

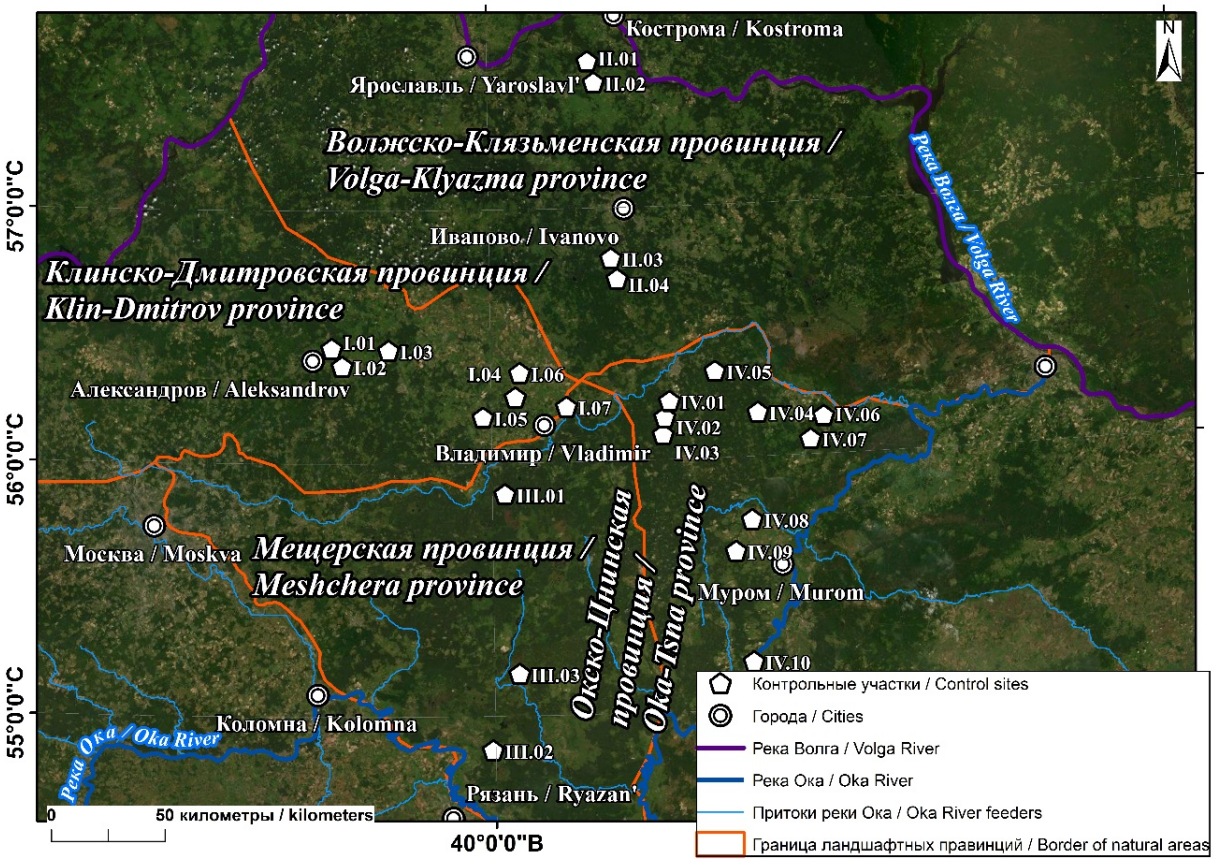


Рисунок 1. Расположение контрольных площадок
Figure 1. Location of control sites

Всего заложено 24 контрольные площадки, характеризующие постагрогенные территории и характерные фитоценозы, не использующиеся в сельскохозяйственной деятельности. Площадки выбраны с учетом охвата различных ландшафтных районов и провинций.

В основе выбора, которых лежит дистанционный и картографический анализ территории, принадлежность их к различных ландшафтным районам и провинциям.

В ландшафтах, характеризующихся большим разнообразием условий и особенностей постагрогенной трансформации, оказалось целесообразным заложение нескольких контрольных площадок для проведения более точных аналитических оценок.

На изучаемых площадках проводились следующие исследования:

А). Определялись вид и интенсивность антропогенного воздействия.

Б). Оценивалось состояние растительности, для чего выполнялись геоботанические описания растительного покрова, определялись запасы травянистой фитомассы (сырая) путем взвешивания с точностью до 1 г., отобранной с помощью стандартной рамки. Количественная оценка фитомассы проводилась в период максимального развития вегетативной массы (начало июля).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выделение контрольных площадок на территории Волжско-Окского междуречья

Ареалы выбранных площадок отражают наиболее существенные особенности постагрогенной трансформации различных ландшафтов Волжско-Окского междуречья. Они позволяют определить, как наличие общих для территории Волжско-Окского междуречья закономерностей, так и особенностей, характерных для определенных ландшафтов.

Определение типов зарастания постагрогенных территорий

В процессе исследования было установлено, что многие особенности постагрогенной трансформации пахотных земель анализируемой территории на начальных и промежуточных стадиях (доклимаксное состояние) определяются характером ее использования и прилегающими земельными угодьями. В результате определено три основных типа зарастания постагрогенных земель:

Зарастание, связанное ***со сменой землепользования***.

Зарастание ***вблизи леса***. Данный тип зарастания характерен для заброшенных пашен, рядом с которыми находятся лесные массивы.

Зарастание ***вдали от леса.*** В данном случае рядом с зарастающей территорией нет леса, вокруг нее могут находиться луговые сообщества, населенные пункты и т.д.

Ключевые площадки на постагрогенных территориях были отнесены к одному из трех типов зарастания. Также были выделены три площадки с характерной растительностью лесных сообществ (II.02, IV.01, IV.05), две площадки занятые сельхозугодьями в активной разработке (I.02 и IV.08)

Для сравнения в качестве естественно-луговой ассоциации была определена площадка (I.07) с

минимальным антропогенным воздействием на ООПТ «Боголюбовский луг», который в обозримом прошлом поддерживался в естественном состоянии за счет выгона скота и сенокошения. Считается, что в этом ареале максимально представлено фиторазнообразие, характерное для данного региона [10; 11]. Данная площадка явилась эталонной для сравнительного анализа показателей фитопродуктивности и биоразнообразия разных типов зарастания.

Ключевые площадки, представляющие выделенные типы зарастания, приурочены к различным ландшафтам и систематизированы (табл. 1, рис. 1, 2).

Анализ сукцессионных процессов на постагрогенных землях и основные типы зарастания

Анализ трех типов зарастания выполнен на примерах ключевых площадок, расположенных на территориях различных ландшафтов (табл. 1, рис. 1, 2).

Тип зарастания: зарастание вблизи леса

Данный тип зарастания представлен шестью контрольными площадками. Общим для них является то, что преобладает интенсивное зарастание древесной растительностью породами коренного леса, особенно вдоль опушки леса. Здесь недостаточно развита дерновина, невысокое видовое разнообразие травянистой растительности (с преобладанием разнотравья), средние и высокие запасы фитомассы.

Наиболее типичные процессы наблюдаются на площадке с залежными почвами ***IV.02*** в районе *Окско-Цнинского вала*, которая была выведена из сельхозоборота примерно 30 лет назад и расположена рядом со смешанным лесом (площадка ***IV.01***).

Данная территория интенсивно зарастает сосной и березой, что обусловлено преобладанием этих пород в прилегающем участке леса. Проективное покрытие древесной растительности составляет уже более 50%, при этом сомкнутости крон не происходит. Преобладающая травянистая растительность представлена в таблице. Несмотря на наличие достаточного количества древесной растительности, интенсивного зарастания типичными травянистыми лесными растениями пока не происходит, ее видовой состав существенно отличается от расположенной рядом лесной территории (площадка ***IV.01***). Например, отсутствуют Гравилат городской, Грушанка малая и др., а произрастают луговые травы (Тимофеевка луговая, Ежа сборная и др.).

Сформировалось сообщество, в котором под древесной растительностью находятся виды, более характерные для луговых территорий, поскольку первоначально шло зарастание без древостоя и на данном этапе не сформировались условия для расселения лесной травянистой растительности. Препятствует этому расселению хорошо сформированная дернина и не достаточное проективное покрытие древесной растительности. Травянистая растительность сформировавшегося фитоценоза по сравнению с лесной характеризуется существенно большей фитомассой и немного большим видовым разнообразием, но значительно уступает по разнообразию и количеству видов луговым ассоциациям с минимальным антропогенным воздействием (контрольная площадка ***I.07*** «Боголюбовский луг»), приближаясь к ним лишь по фитомассе.

Среди площадок, относящихся к типу зарастания с расположенным рядом лесом необходимо отметить расположенную в Волжско-Клязьменской провинции (***II.01***) на территории *Плесско-галичской возвышенности.* Для нее также характерно возобновлением древесных пород, типичных для соседнего леса (эталонная площадка ***II.02***). Но трансформация растительного покрова отличается максимальным среди всех участков, включая и эталонные, запасом фитомассы травянистых растений (10,2 т/га) и самым большим среди постагрогенных территорий количеством видов (23 вида). Однако биоразнообразие (по индексу Шеннона) также значительно ниже контрольной площадки.

Тип зарастания: Зарастание со сменой землепользования

Данный тип зарастания представлен двумя ключевыми площадками (***IV.03***, ***IV.04***), отличающимися характером антропогенного воздействия, что сказывается на накоплении фитомассы растительными сообществами.

Для него характерно практически полное отсутствие древесной растительности, хорошо развита дерновина, обильное развитие травянистой растительности (с преобладанием злаковых), использование территории в качестве сенокоса или пастбища, запас фитомассы, близкий к естественным.

Площадка залежных земель в *районе Окско-Цнинского вала* (***IV.03***), расположена рядом с лесом, но длительное время после выхода из категории пахотных земель, использовалась под сенокосные угодья, что создало хорошие условия для формирования дернины, поэтому процесс зарастания древесной растительностью здесь не происходит. Общий запас фитомассы надземной травянистой растительности составляет 7,79 т/га, что выше значений для естественных мезофитных луговых фитоценозов. На второй площадке (***IV.04*** *Коврово-Касимовское плато*) сформировался злаково-разнотравный фитоценоз, который используется не только для сенокошения, но для выпаса скота. Фитомасса данного участка достаточно низка (3,2 т/га) за счет интенсивного выедания ее скотом.

Общим для обеих площадок является то, что их видовой состав отличается от эталонной и имеет более низкое по сравнению с ней биоразнообразие.

Тип зарастания: зарастание вдали от леса

Зарастание древесной растительностью происходит в более поздние сроки, в основном породами, семена которых хорошо разносятся ветром. Задернованность средняя, видовой состав невысокий, с преобладанием злаковых и разнотравья (на начальных стадиях зарастания – преобладание рудеральной растительности). Стадийное изменение запасов фитомассы и видового состава фитоценоза.

Зарастание без близкого расположения леса представлено 10-ю площадками, которые не зависимо от ландшафтной принадлежности по сравнению с эталонной луговой площадкой (***I.07***) характеризуются более низким индексом Шеннона, меньшим количеством видов травянистых растений и практически на всех площадках фитомасса ниже.

Таблица 1. Типы трансформаций постагрогенных систем (по результатам полевых исследований)
Table 1. Types of transformations of postagrogenic systems (based on the results of field research)

№ площадки Site No.	**Основные виды растений** Main types of plants		**Фитомасса (травянистых растений), т/га** Phytomass (herbaceous plants), t/ha	**индекс Шеннона** Shannon index	**Количество видов на геоботанической площадке** Number of species on the geobotanical site
	Древесная Wood	**Травянисто-кустарниковая** Herbaceous and shrubby			
Тип зарастания: зарастание, связанное со сменой землепользования / Type of overgrowth: overgrowth associated with land use change					
IV.03	-	Ежа сборная (*Dactylis glomerata*) Купырь лесной (*Anthríscus sylvestris*) Люпин многолетний (*Lupinus perennis*)	7,8	3,4	19
IV.04	-	Овсянница луговая (*Festuca pratensis*) Тимофеевка луговая (*Phleum pratense*) Полевица тонкая (*Agrostis capillaris*)	3,2	3,1	17
Тип зарастания: вблизи леса / Type of overgrowth: near the forest					
IV.02	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Береза повислая (*Betula pendula*)	Люпин многолетний (*Lupinus perennis*) Ежа сборная (*Dactylis glomerata*) Тимофеевка луговая (*Phleum pratense*)	6,4	3,0	13
IV.06	-	Цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*) Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus*) Тимофеевка луговая (*Phleum pratense*)	6,1	3,4	18
IV.07	Осина (*Populus tremula*) Ива козья (*Salix caprea*) Береза повислая (*Betula pendula*)	Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) Хвощ полевой (*Equisetum arvense*) Пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*)	5,1	2,4	9
III.02	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*)	Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) Иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*) Прострел весенний (*Pulsatilla vernalis*)	4,2	2,1	8
III.01	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Береза повислая (*Betula pendula*)	Люпин многолетний (*Lupinus perennis*) Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus*) Ястребинка волосистая (*Pilosella officinarum*)	3,5	3,4	16
II.01	Береза повислая (*Betula pendula*) Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Ель обыкновенная (*Picea abies*) Ива козья (*Salix caprea*)	Ежа сборная (*Dactylis glomerata*) Подмаренник северный (*Galium boreale*) Василек луговой (*Centaurea jacea*)	10,2	3,5	23
Тип зарастания: вдали от леса / Type of overgrowth: away from the forest					
I.01	Ива козья (*Salix caprea*) Берёза повислая (*Betula pendula*) Груша обыкновенная (*Pyrus communis*)	Хвощ полевой (*Equisetum arvense*) Люпин многолетний (*Lupinus perennis*) Горошек мышиный (*Vicia cracca*)	3,84	3,64	19
II.03	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Берёза повислая (*Betula pendula*)	Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus*) Щавель кислый (*Rumex acetosa*) Хвощ полевой (*Equisetum arvense*)	4,3	2,0	7

II.04	Ива козья (*Salix caprea*) Берёза повислая (*Betula pendula*)	Ежа сборная (*Dactylis glomerata*) Василек луговой (*Centaurea jacea*) Люцерна серповидная (*Medicago falcata*)	5,0	3,2	17
I.03	-	Купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*) Овсянница луговая (*Festuca pratensis*) Тимофеевка луговая (*Phleum pratense*)	5,2	2,6	17
I.04	Ива ушастая (*Salix aurita*)	Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) Золотарник канадский (*Solidago canadensis*) Мятлик луговой (*Poa pratensis*)	6,0	3,0	13
I.05	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Береза повислая (*Betula pendula*) Ива козья (*Salix caprea*) Ель обыкновенная (*Picea abies*)	Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) Золотарник канадский (*Solidago canadensis*) Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus*)	3,9	2,6	11
I.06	Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*)	Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) Сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*) Мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilágo fárfara*)	4,3	2,7	11
IV.10	Береза повислая (*Betula pendula*)	Пырей ползучий (*Elytrigia repens*) Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus*) Щавель кислый (Rumex acetosa)	7,5	2,6	12
IV.09	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Береза повислая (*Betula pendula*)	Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus*) Щавель кислый (*Rumex acetosa*) Ястребинка волосистая (*Pilosella officinarum*)	5,9	3,1	15
III.03	Береза повислая (*Betula pendula*)	Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) Ежа сборная (*Dactylis glomerata*) Тимофеевка луговая (*Phleum pratense*)	4,6	2,2	12
IV.01	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Береза повислая (*Betula pendula*) Ель обыкновенная (*Picea abies*)	Грушанка малая (*Pyrola minor*) Костяника (*Rubus saxatilis*) Марьянник дубравный (*Melampyrum nemorosum*)	1,2	2,3	10
IV.05	Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) Береза повислая (*Betula pendula*) Ель обыкновенная (*Picea abies*)	Земляника лесная (*Fragaria vesca*) Марьянник дубравный (*Melampyrum nemorosum*) Марьянник луговой (*Melampyrum pratense*)	4,6	3,4	19
II.02	Ель обыкновенная (*Picea abies*) Береза повислая (*Betula pendula*) Осина (*Populus tremula*)	Костяника (*Rubus saxatilis*) Черника (*Vaccinium myrtillus*) Земляника лесная (*Fragaria vesca*)	8,0	2,5	10
I.07	-	Василек луговой (*Centaurea jacea*) Бедренец камнеломка (*Pinélla saxífraga*) Лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*)	6,3	4,1	28

Зарастание вблизи от леса
Overgrowth a closely located forest

Зарастание вдали от леса
Overgrowth away from the forest

Зарастание, связанное со сменой землепользования
Overgrowth associated with land use change

Рисунок 2. Примеры зарастаний постагрогенных территорий
Figure 2. Examples of overgrowth of postagrogenic territories

Таким образом, анализ типов постагрогенной трансформации пахотных земель позволил выявить следующие закономерности характерные для начальных и промежуточных стадий зарастания доклимаксных сообществ.

Во-первых, тип зарастания не зависит от ландшафтной принадлежности ареала зарастания. Основная тенденция, которая прослеживается на всей территории – это восстановление лесной растительности, которое идет с различной скоростью. Она определяется, в основном, расположением территории рядом с лесом или на значительном удалении, а также характером антропогенной деятельности на заброшенных пахотных земля их.

Во-вторых, результаты исследований показали, что зарастание большинства участков на территории разных ландшафтов идет по общим сукцессиям, даже на разных почвах (дерново-подзолистых и серых лесных) происходит нивелирование ландшафтных особенностей территорий, появляются сходные виды растений и сообществ.

В-третьих, результате постагрогенной трансформации фитопродуктивность травянистых растений на первых этапах снижается, затем она, как правило, возрастает и может достигать значений, характерных для эталонных разнотравно-злаковых сообществ или, даже, в редких случаях, превышать эти значения. Аналогичная ситуация прослеживалась при восстановлении растительности после загрязнения почв техногенным поллютантами.

В-четвертых, биоразнообразие травянистых растений и количество их видов (видовое разнообразие) в разной степени снижаются на всех контрольных площадках, не зависимо от ландшафтной принадлежности, типа и времени зарастания по сравнению характеристиками эталонной растительности разнотравно-злаковых сообществ, представленных площадкой ***I.07.*** При этом одинаковая продуктивность фитоценозов обеспечивается различным видовым составом сообществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ постагрогенных фитоценозов, характерных для начальных и промежуточных стадий зарастания доклимаксных сообществ показал, что они способны постепенно восстанавливать продукционный потенциал естественных фитоценозов и в некоторых случаях превосходить его, но отличаются от них видовым составом.

В результате зарастания сельскохозяйственных угодий снижается биоразнообразие сообществ, так как зарастание на территории разных ландшафтов с отличающимся почвенным покровом идет по общим сукцессиям, имеет место нивелирование ландшафтных особенностей фитоценозов, появляются сходные виды растений и сообществ. Восстановление биоразнообразия в обозримом будущем весьма проблематично.

В целях сохранения и последующего восстановления биоразнообразия представляется целесообразным при распашке территорий перемежать пахотные угодья с необрабатываемыми участками достаточно большого размера, которые могут служить своеобразными банками семян аборигенной растительности в целях сохранения фиторазнообразия. Кроме того, очевидно, что близкое расположение пахотных угодий больших площадей лишает естественных биотопов для насекомых-опылителей, что также негативно сказывается на сохранении и поддержании биоразнообразия естественных ландшафтов и экосистем.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет регионального гранта Российского научного фонда № 22-27-20127, https://rscf.ru/project/22-27-20127/ и Владимирской области.

ACKNOWLEDGMENT

The study was supported by the regional grant of the Russian Science Foundation No. 22-27-20127, https://rscf.ru/project/22-27-20127/ and the Vladimir Region.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hatziiordanou L., Fitoka E., Hadjicharalampous E., Votsi N., Palaskas D., Malak D. Indicators for mapping and assessment of ecosystem condition and of the ecosystem service habitat maintenance in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *One Ecosystem,* 2019, N. 4. Available at: https://oneecosystem.pensoft.net/article/32704/ (accessed 18.10.2022)
2. Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Шутов П.С., Быкова Е.П. Оценка динамики продукционных процессов в

ландшафтах подзоны южной тайги восточно-европейской равнины с использованием данных дистанционного зондирования // Вестник Московского университета. Серия: Почвоведение. 2021. Т. 17. N 1. С. 14–22.
3. Чибилев А.А. Ключевые ландшафтные территории как фундаментальная основа природного наследия России // Проблемы геоэкологии и степеведения. Т. 1. Оренбург: Печатный Дом «Димур», 2008. С. 217–221.
4. Дмитриев А.В., Леднев А.В. Влияние периода зарастания на ботанический состав и продуктивность залежных земель // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2016. N 2 (43). С. 7–12.
5. Казанцева Т.И., Бобровская Н.И., Тищенко В.В. Особенности восстановления залежной растительности луговых степей центрального Черноземья (Воронежская область) // Аридные экосистемы. 2010. N 2(42). С. 76–78.
6. Miranda I.S., Mitja D., Santos A.M., Lima T.T.S., Costa, L.G.S. Successional processes in agricultural mosaics in the eastern Amazon // Agriculture ecosystems & environment. 2018. V. 256. P. 51–60. DOI: 0.1016/j.agee.2017.12.004
7. Беляева Н.В., Данилов Д.А., Кази И.А. Особенности естественного возобновления ели европейской на постагрогенных землях // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2019. N 54. С. 6–10.
8. Горяинова И.Н., Леонова Н.Б., Феодоритов В.М. Процессы зарастания сельскохозяйственных земель в средней тайге Архангельской области // Вестник Московского университета Серия: География. 2012. Т. 5 N 3. С. 41–47.
9. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Методика по изучению содержания и состава гумуса в почве. Москва: Изд-во МГУ, 1968. 83 с.
10. Романенко Г.А. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. Москва: Росинформагротех, 2008. 64 с.
11. Русанова А.М., Семенов Е.А. Структурно-экономическая трансформация сельского хозяйства как фактор естественного восстановления агроландшафтов Оренбургской области // Вестник ОГУ. 2014. N 6 (167). С. 139–143.
12. Симонова Л.А., Семенова Е.И., Титова В.И. Возможности планирования хозяйственного использования пахотных земель с учетом степени их зарастания травянистой и древесно-кустарниковой растительностью // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. N 6. С. 55–57.
13. Щукин С.В., Голубева А.И., Дорохова В.И., Дугин А.Н. Рекомендации по вовлечению в хозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. N 1 (41). С. 87–98.
14. Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. What is the future of abandoned agricultural lands? A systematic review of alternative trajectories in Europe // Land use policy. 2022. V. 112. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.lusepol.2021.105833

REFERENCES

1. Hatziiordanou L., Fitoka E., Hadjicharalampous E., Votsi N., Palaskas D., Malak D. Indicators for mapping and assessment of ecosystem condition and of the ecosystem service habitat maintenance in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *One Ecosystem*, 2019, no. 4. Available at: https://oneecosystem.pensoft.net/article/32704/ (accessed 18.10.2022)
2. Trifonova T.A., Mishchenko N.V., Shutov P.S., Bykova E.P. Estimate of the production process dynamics in landscapes of the southern taiga subzone of the East European Plain using remote sensing data. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya: Pochvovedenie* [Bulletin of Moscow University. Series: Soil Science]. 2021, no. 1, pp. 14–22. (In Russian)
3. Chibilev A.A. *Klyuchevye landshaftnye territorii kak fundamental'naya osnova prirodnogo naslediya Rossii* [Key landscape areas as the fundamental basis of Russia's natural heritage]. *Problemy geoekologii i stepevedeniya* [Problems of geoecology and steppe studies]. Orenburg, Dimur Publ., 2008, vol. 1, pp. 217–221. (In Russian)
4. Dmitriev A.V., Lednev A.V. Influence of overgrowing period on botanical composition and productivity of fallow lands. *Vestnik Buryatskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii im. V.R. Filippova.* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov]. 2016, no. 2 (43), pp. 7–12. (In Russian)
5. Kazantseva T.I., Bobrovskaya N.I., Tishchenko V.V. The peculiarities of restoration of fallow vegetation of meadow steppes of the central Chernozem region (Voronezh region). *Aridnye ekosistemy*. [Arid ecosystems]. 2010, no. 2(42), pp. 76–78. (In Russian)
6. Miranda I.S., Mitja D., Santos A.M., Lima T.T.S., Costa, L.G.S. Successional processes in agricultural mosaics in the eastern Amazon. *Agriculture ecosystems & environment*, 2018, vol. 256, pp. 51–60. DOI: 0.1016/j.agee.2017.12.004
7. Belyaeva N.V., Danilov D.A., Kazi I.A. Features of natural regeneration of European spruce on post-agrogenic lands. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. 2019, no. 54, pp. 6–10. (In Russian)
8. Goryainova I.N., Leonova N.B., Feodoritov V.M. Overgrowing of agricultural lands in the middle taiga of Arkhangelsk Region. *Vestnik Moskovskogo universiteta Seriya: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series: Geography]. 2012, no. 3, pp. 41–47. (In Russian)
9. Orlov D.S., Grishina L.A. *Metodika po izucheniyu soderzhaniya i sostava gumusa v pochve* [Methods for studying the humus content and composition in soil]. Moscow, Moscow State University Publ., 1968, 83 p. (In Russian)
10. Romanenko G.A. *Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaistvennogo oborota* [Agroecological state and prospects for the use of lands in Russia that are withdrawn from active agriculture]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 2008, 64 p. (In Russian)
11. Rusanova A.M., Semenov E.A. Structural and economic transformation of agriculture as a factor in the natural restoration of agrolandscapes within the Orenburg region. *Vestnik OGU* [Bulletin of the Orenburg State University]. 2014, no. 6 (167), pp. 139–143. (In Russian)
12. Simonova L.A., Semenova E.I., Titova V.I. Opportunities of planning the economic use of arable land, taking into account the degree of their overgrowth with grass and woody and shrub vegetation. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International Agricultural Journal]. 2019, no. 6, pp. 55–57. (In Russian)
13. Shchukin S.V., Golubeva A.I., Dorokhova V.I., Dugin A.N. Recommendations on the involvement in the economic turnover of unused agricultural lands. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* [Verkhnevolzhye Agroindustrial Complex Bulletin]. 2018, no. 1 (41), pp. 87–98. (In Russian)
14. Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. What is the future of abandoned agricultural lands? A systematic review of alternative trajectories in Europe. *Land use policy*, 2022, vol. 112, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.lusepol.2021.105833

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татьяна А. Трифонова участвовала в разработке концепции, анализе и интерпретации материала, написании рукописи. Сергей А. Шоба участвовал в разработке ее концепции. Наталья В. Мищенко участвовала в анализе и интерпретации материала, в написании рукописи, в корректуре рукописи до подачи в редакцию. Елена П. Быкова участвовала в сборе материала, в анализе результатов. Павел С. Шутов участвовал в сборе материала, в анализе результатов, в научном дизайне. Олег В. Савельев и Роман В. Репкин, участвовали в сборе материала, в анализе и интерпретации результатов. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatiana A. Trifonova participated in the development of the concept, analysis and interpretation of the manuscript material. Sergey A. Shoba participated in the development of the research concept. Natalia V. Mishchenko participated in the analysis and interpretation of the material, in the writing of the manuscript and in proofreading of the manuscript before submission to the Editor. Elena P. Bykova participated in the collection of material and in the analysis of the results. Pavel S. Shutov participated in the collection of material, in the analysis of the results and in scientific design. Oleg V. Saveliev participated in the collection of material and in the analysis and interpretation of the results. Roman V. Repkin participated in the collection of material and in the analysis and interpretation of the results. 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

Татьяна А. Трифонова / Tatiana A. Trifonova https://orcid.org/0000-0002-1628-9430
Сергей А. Шоба / Sergey A. Shoba https://orcid.org/0000-0001-9889-5831
Наталья В. Мищенко / Natalia V. Mishchenko https://orcid.org/0000-0002-3643-3129
Елена П. Быкова / Elena P. Bykova https://orcid.org/0000-0001-6047-4652
Павел С. Шутов / Pavel S. Shutov https://orcid.org/0000-0003-1835-2939
Олег В. Савельев / Oleg V. Saveliev https://orcid.org/0000-0002-3425-8021
Роман В. Репкин / Roman V. Repkin https://orcid.org/0000-0002-5800-8895

Оригинальная статья / Original article
УДК 582.923.5:58.032
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-50-60

Моделирование особенностей водного режима *Juniperus excelsa* M. Bieb при помощи экофизиологических параметров в условиях Южного берега Крыма

Андрей В. Паштецкий, Олег А. Ильницкий
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия

Контактное лицо
Андрей В. Паштецкий, кандидат экономических наук, лаборатория фитомониторинга, ФГБУН «НБС-ННЦ»; 298648 Россия, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, 52.
Тел. +79892704070
Email pashteckiy@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-4428-4944

Формат цитирования
Паштецкий А.В., Ильницкий О.А. Моделирование особенностей водного режима *Juniperus excelsa* M. Bieb при помощи экофизиологических параметров в условиях Южного берега Крыма // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 50-60. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-50-60

Получена 10 августа 2022 г.
Прошла рецензирование 27 сентября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. В связи с глобальным изменением климата и увеличением интенсивности аридизации региона Южного берега Крыма (ЮБК) необходимо изучить экофизиологическую реакцию *Juniperus excelsa* M. Bieb во время его интенсивной вегетации на воздействие внешних факторов среды, оказывающих большое влияние на особенности водного режима, позволяющих установить возможные оптимальные и неблагоприятные условия произрастания вида.

Материал и методы. Измерения параметров внешней среды проводили с помощью беспроводной системы фитомониторинга. При статистической обработке данных использовались прикладные компьютерные программы. Моделирование и сглаживание двумерных данных проводилось по методам наименьших квадратов, робастной локально-взвешенной регрессии и математической модели пошагового регрессионного анализа.

Результаты. Для оценки экофизиологической реакции в период вегетации *Juniperus excelsa* M. Bieb на воздействие внешних факторов среды, мы применили математическую модель пошагового регрессионного анализа. В качестве зависимых переменных мы использовали относительную скорость водного потока в побеге (Sf, от. ед.) и диаметр побега (d, мм.), данные были получены с датчиков водного потока SF-5P и датчиков SD-10z. Независимыми переменными являлись основные факторы внешней среды. Доля дисперсии зависимой переменной, объясняемой применяемыми моделями составляет 98–99%.

Выводы. Разработка модели на основе базы данных функций растений с соответствующими количественными характеристиками позволит в перспективе прогнозировать экологическое состояние конкретного ареала или региона в целом.

Ключевые слова
Juniperus excelsa M. Bieb., экофизиологическая реакция, водный режим, прогноз, оптимальные, предельные условия окружающей среды, экологическое состояние.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Modeling of various life processes of *Juniperus excelsa* M. Bieb to determine optimal growing conditions in the southern coast of Crimea, Russia

Andrey V. Pashtetsky and Oleg A. Ilnitsky
National Scientific Centre, Labour Red Banner Order Nikita Botanical Gardens, Russian Academy of Sciences, Nikita, Yalta, Russia

Principal contact
Andrey V. Pashtetsky, Candidate of Economic Sciences, Phytomonitoring Laboratory, National Scientific Centre, Nikita Botanical Gardens, Russian Academy of Sciences; 52 Nikitsky Spusk., Nikita, Yalta, Republic of Crimea, Russia 298648.
Tel. +79892704070
Email pashteckiy@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-4428-4944

How to cite this article
Pashtetsky A.V., Ilnitsky O.A. Modeling of various life processes of *Juniperus excelsa* M. Bieb to determine optimal growing conditions in the southern coast of Crimea, Russia. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 50-60. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-50-60

Received 10 August 2022
Revised 27 September 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. In connection with global climate change and an increase in the intensity of aridisation of the region of the southern coast of Crimea (SCC), the aim is to study the ecophysiological response of *Juniperus excelsa* M. Bieb is, during its intensive vegetative phase, and the impact of external environmental factors that greatly influence the characteristics of the water regime, which would allow the possible establishment of optimal and unfavorable conditions for the growth of the species.
Material and Methods. Measurements of environmental parameters were carried out using a wireless phytomonitoring system. Applied computer programs were used for statistical data processing. Modeling and smoothing of two-dimensional data was carried out using the least squares method, robust locally weighted regression and a mathematical model of stepwise regression analysis.
Results. To assess the ecophysiological response to the impact of external environmental factors during the growing season of *Juniperus excelsa* M. Bieb, we applied a mathematical model of stepwise regression analysis. As dependent variables, we used the relative water flow velocity in the shoot (Sf, r.u.) and shoot diameter (d, mm), data were obtained from SF-5P water flow sensors and SD-10z sensors. The independent variables were the main environmental factors. The share of dispersion of the dependent variable, explained by the applied models, was determined as 98–99%.
Conclusions. The development of a model based on a database of plant functions with appropriate quantitative characteristics will make it possible in the future to predict the ecological state of a particular area or region as a whole.

Key Words
Juniperus excelsa M. Bieb., ecophysiological response, water regime, forecast, optimal, limiting environmental conditions, ecological state.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности климата Средиземноморского региона и, в частности, Южного берега Крыма (ЮБК), являющегося регионом сухих субтропиков, позволяют сохранять естественную растительность, закладывать новые и реконструировать существующие зеленые насаждения, которые находятся в условиях микроклимата, формируемого окружающей средой [1–3]. Будущие климатические сценарии предсказывают, что Средиземноморский регион будет среди наиболее пострадавших частей мира с точки зрения увеличения частоты и интенсивности засух [4].

Адаптироваться к новым условиям смогут только те растения, которые обладают достаточной экологической пластичностью, что подтверждает важность исследований состояния и функций растений, находящихся под воздействием антропогенных или природных факторов среды [5; 6]. Одним из таких видов является Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa* M. Bieb.). Особенности произрастания данного вида в условиях ЮБК показаны в работах [2; 5; 7]. В работе Ларина Т.Г. [2] рассмотрены особенности структуры фитоценозов формации *Jnipereta excelsae* в Горном Крыму. Экстраполяция результатов формирования насаждений этого вида в заповеднике «Мыс Мартьян» представлены в работе Григорова А.Н. [5] и им дан прогноз их дальнейшего развития. Kint V. и другие провели исследования по определению экологических признаков *Juniperus excelsa* для моделирования их динамики в горах Таурус (Средиземноморье – Турция) [6].

Зарубежными учеными, для определения требований к месту обитания Можжевельника высокого в Турции, были проведены исследования леса вдоль градиента между средиземноморским и континентальным климатом [8]. В работе Чернявской И.В. и других [4] представлены результаты интродукционных испытаний, проводимых в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета, на представителях рода *Juniperus excelsa* L, в том числе и *J. excelsa*, и исследования основных параметров их водного режима.

Особенности транспирационного характера *Juniperus macrocarpa* изучались с применением методов сокодвижения (типа Гранье) в Западном Крите [9]. Годовые тенденции сокодвижения в целом имели колоколообразную форму и значительно различались в зависимости от сезона и класса полога. Зимой сокодвижение было минимальным, но деревья были активны, когда температура была выше точки замерзания, а транспирация деревьев зависела от глубины залегания в почве. Полученные данные показали, что климат Крита не ограничивает распространение *J. macrocarpa* в данном регионе и позволяют определить степень адаптированности растений к тем или иным условиям среды [10–14].

Целью работы было исследование экофизиологической реакции *Juniperus excels* M. Bieb., во время его интенсивной вегетации, на воздействие внешних факторов среды, оказывающих большое влияние на особенности водного режима, позволяющих установить возможные оптимальные и неблагоприятные условия произрастания вида в природно-климатических условиях ЮБК.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) – гемиксерофильный реликтовый представитель рода Можжевельник (*Juniperus*), относящийся к семейству Кипарисовые (*Cupressaceae*). Произрастает на территории восточного Средиземноморье, а именно от северо-восточной части Греции до южной Болгарии, а также в Турции, Сирии, Ливане, встречается в горах Кавказа, на территории Крыма растет от мыса Айя до горно-вулканического массива Карадаг. Произрастает в нижних горных поясах до высоты 400 м над уровнем моря на солнечных сухих склонах, особенно на кальцитных почвах и представляет собой вечнозеленое хвойное дерево или кустарник высотой 10–15 м [15; 16]. Густая, конусообразная крона имеет пирамидальную или округлую форму. Хвоя на концах побегов – игольчатая, длинная и раскидистая. Корневая система поверхностная. Растение однодомное и размножается семенами. В Крыму репродуктивный цикл, а именно период от заложения шишек до созревания семян составляет 27 месяцев, при этом фаза пыления длится с середины января до апреля [7].

Проведение исследований осуществлялось в условиях вегетационного опыта на территории Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» [15]. Опытными образцами выступали саженцы, выращенные из черенков, в возрасте 3–4 лет. Период выполнения опытов длился с июня по сентябрь 2019–2020 гг.

Измерения параметров внешней среды проводили беспроводной системой фитомониторинга, а именно фитомонитором модели PM-11z фирмы “Bioinstruments S.R.L.” [17], набором беспроводных датчиков и метеостанцией модели DWS-11z, в которую входят пиранометр (Apogee Instruments, США), датчик температуры и влажности воздуха, дождемер (Decagon Devices, США) и анемометр (Davis Instruments (США). Измерения диаметра ствола осуществляли датчиком FI-Sz и SD-10z, относительную скорость водного потока в побеге (Sf, от. ед.) – датчиком водного потока SF-5P, диаметр стебля (d, мм.) – датчик SD-10z, которые были подключены в вышеуказанную систему фитомониторинга.

При статистической обработке данных использовали прикладные компьютерные программы Statistica 10 (“Statsoft Inc.”, США) и Microsoft Excel 2010. Моделирование и сглаживание двумерных данных проводилось по методам наименьших квадратов, робастной локально-взвешенной регрессии и математической модели пошагового регрессионного анализа. Все расчеты осуществляли с учетом уровня значимости $P \leq 0,05$ [15; 18].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фитомониторинг с поддержкой прогрессивных информационно-измерительных систем позволяет выполнить комплексную оценку состояния и функций растения, находящиеся под воздействием антропогенных или природных факторов. Функции приборной базы фитомониторинга представлены непрерывным мониторингом характеристик исследуемых видов и параметров среды, и системным анализом данных с изменениями их во времени [19].

Эколого-физиологическая характеристика растений, выраженная в форме математической модели, позволяет определять потенциальный уровень процесса, условия его проявления, границы оптимума, возможности компенсации лимитирующих факторов и другие показатели, характеризующие потребности и пластичность организма [13]. Применение специальных алгоритмов обработки информации позволяет диагностировать физиологическое состояние и свойства генотипа. Результаты этих исследований дают возможность получать данные об интенсивности водного обмена, засухоустойчивости, теневыносливости, особенностях роста и развития растений. Интенсивность транспирации и устьичная проводимость наиболее полно характеризуют особенности водного режима растения.

Благодаря серии опытов, проведенных в тепличных условиях в течение всего периода вегетации, были получены данные об ответных реакциях Можжевельника высокого на воздействие абиотических факторов. В наших исследованиях синхронно с регистрацией параметров внешней среды (независимые переменные), регистрировалась ряд зависимых переменных, в том числе и скорость водного потока в побеге, и изменение диаметра этого побега. Установлено, что коэффициент корреляции между интенсивностью транспирации (E) и скоростью водного потока (Sf) равнялся 0,814566, а между устьичной проводимостью и интенсивностью транспирации (gs) – 0,688625.

Ирригационным индикатором отклика/реакции вида на водоснабжение могут выступать показатели измерения относительной скорости водного потока и диаметра побега, так как объединяют в себе показатели доступной для растения влаги в почве и параметры внешней среды [16; 18].

Эколого-физиологическая характеристика растений, выраженная в форме математической модели регрессионного анализа, была построена при помощи пошагового регрессионного анализа. В модель включались коэффициенты с уровнем значимости p–критерия Стьюдента не превышающего 0,05.

Зависимые переменные представлены скоростью водного потока в побеге растения (Sf, от. ед.), и показателем изменения диаметра этого побега (d, мм), а независимые переменные – ФАР (I) – фотосинтетической активной радиацией, мкмоль/м^{2}с; Тв – температурой воздуха, °C; Тр – температурой точки росы, °C; H – влажностью воздуха, %; VPD – дефицитом влажности воздуха, кПа. Число наблюдений (длина ряда) составляла 7546. Зависимая переменная рассчитывалась по формуле:

v12=b0+b1*v3-b2*v4-b3*v5+b4*v6-b5*v7

где **v** – номера зависимой и независимой переменной в таблице.

Ниже приведено уравнение множественной регрессии для скорости водного потока в побеге растения (Sf, от.ед.).

Уравнение имеет вид:

Sf=4,240832+1,044455*VPD-0,033110*H%--
0,317513*Тв+0,249637*Тр^{0}C-0,000033*I

Точность аппроксимации выбранной модели основана на трех показателях (табл. 1–3) эффективности – коэффициента детерминации (R^2), корня из среднеквадратичной ошибки (RMSE) и суммы квадратов ошибок (SSE). Как видно из таблиц, в уравнениях достаточно высокие коэффициенты детерминации и небольшие RMSE и SSE и уровень значимости критерия Стьюдента не превышает 0,05.

Точность модели – разность между экспериментальными данными и рассчитанными по модели (рис. 1).

Таблица 1. Итоговые статистики
Table 1. Summary statistics

Итоговые статистики; ЗП:Пер12 (Таблица данных) Summary statistics; ZP:Per12 (Data table)	
Показатели / Indicators	**Значение** / Value
Множест. R / Multiple R	0,991850682
Множест. R^2 / Multiple R^2	0,983767776
Скоррект. R^2 / Multiple R^2	0,983757021
F(5,7546)	91466,3531
p	0
Стд. Ош. Оценки / Standard Error of Estimation	**0,148611014**

Таблица 2. Итоги регрессии для зависимой переменной
Table 2. Dependent variable regression outcomes

Итоги регрессии для зависимой переменной: Пер12 (Таблица данных) R= ,99185068 R^2= ,98376778 Скоррект. R^2= ,98375702 F(5,7546)=91466, p=0000 Dependent Variable Regression Totals: Per12 (Data table) R= ,99185068 R^2= ,98376778 Adjusted R^2= ,98375702 F(5.7546)=91466, p=0000						
N=7546	**БЕТА** BETA	**Ст.Ош. – БЕТА** St. error – BETA	**B**	**Ст.Ош. – B** St. error – B	**t(7546)**	**p-знач.** r-meaning
Св. член Fr. member			4,240832	0,058278	72,770	0,000000
Пер3 / Var3	1,33700	0,002096	1,044455	0,001637	637,874	0,000000
Пер4 / Var4	-0,46113	0,009145	-0,033110	0,000657	-50,423	0,000000
Пер5 / Var5	-1,38587	0,010167	-0,317513	0,002329	-136,312	0,000000
Пер6 / Var6	0,81690	0,007937	0,249637	0,002426	102,917	0,000000
Пер7 / Var7	-0,01242	0,002299	-0,000033	0,000006	-5,402	0,000000

Таблица 3. Коэффициенты (bo – b5) при независимых переменных в уравнении
Table 3. Coefficients (bo – b5) for independent variables in the equation

Модель: v12=b0+b1*v3-b2*v4-b3*v5-b4*v6-b5*v7 (Таблица данных)
Зав. пер.: Пер9 Потери: (OBS-PRED)2 Итоговые потери: 166,665**
R=,9985 Объяснён. дисперс.: 98
Model: v12=b0+b1*v3-b2*v4-b3*v5-b4*v6-b5*v7 (Data table)
Dependent Variables: Per9 Losses: (OBS-PRED)**2 Total Losses: 166.665
R=.9985 Explained variance: 98

N=7546	b0	b1	b2	b3	b4	b5
Оценка / Grading	4,240832	1,044455	-0,03311	-0,31751	0,249637	-0,00003

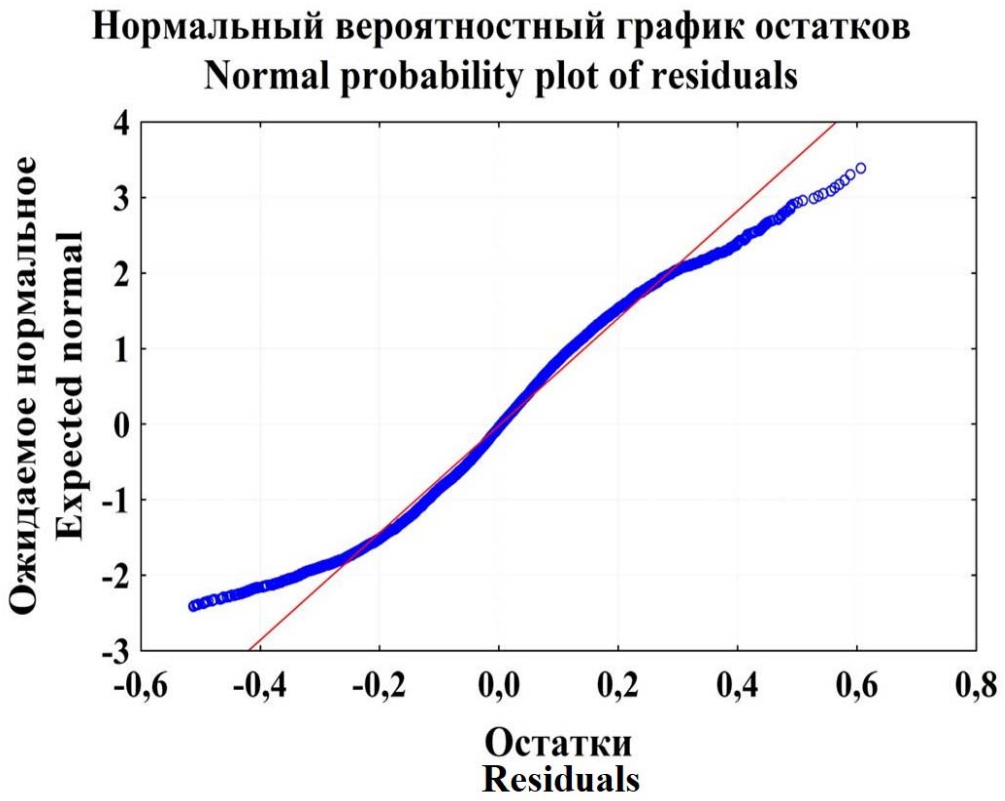


Рисунок 1. Зависимость между нормальным вероятностным графиком остатков и ожидаемым нормальным
По оси X – остатки
Figure 1. Relationship between the normal probability plot of the residuals and the expected normal
X-axis – residuals

На рисунке 2 показана зависимость между числом наблюдений и ожидаемым нормальным распределением.

На рисунке 3 представлена диаграмма размаха независимых переменных в уравнении. Наибольший размах наблюдается у ФАР (I).

Доля дисперсии зависимой переменной разработанной модели составляет 98 % и модель вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Ниже приведено уравнение множественной регрессии где в качестве зависимой переменной было изменение диаметра этого побега (d, мм), а независимыми переменными являлись – ФАР (I): фотосинтетически активная радиация, мкмоль/м^{2}с; Тв – температура воздуха, °С; Тр – температура точки росы, °С; Н – влажность воздуха, %; VPD – дефицит влажности воздуха, кПа. Уравнение множественной регрессии имеет вид:

v9=b0+b1*v3-b2*v4-b3*v5-b4*v6-b5*v7

Модель:

d=5,237866+1,051950*VPD-0,029296*H%-0,317839*Тв+0,236860*Тр^{0}С -0,000080*I

Число наблюдений (длина ряда) также составляло 7546.

В табл. 4–6 показана точность аппроксимации выбранной модели на основе трех показателей эффективности – коэффициента детерминации (R^2), корня из среднеквадратичной ошибки (RMSE) и суммы квадратов ошибок (SSE). В уравнениях достаточно высокие коэффициенты детерминации и небольшие RMSE и SSE и уровень значимости критерия Стьюдента не превышает 0,05.

На рис. 4 представлена зависимость между нормальным вероятностным графиком остатков и ожидаемым нормальным.

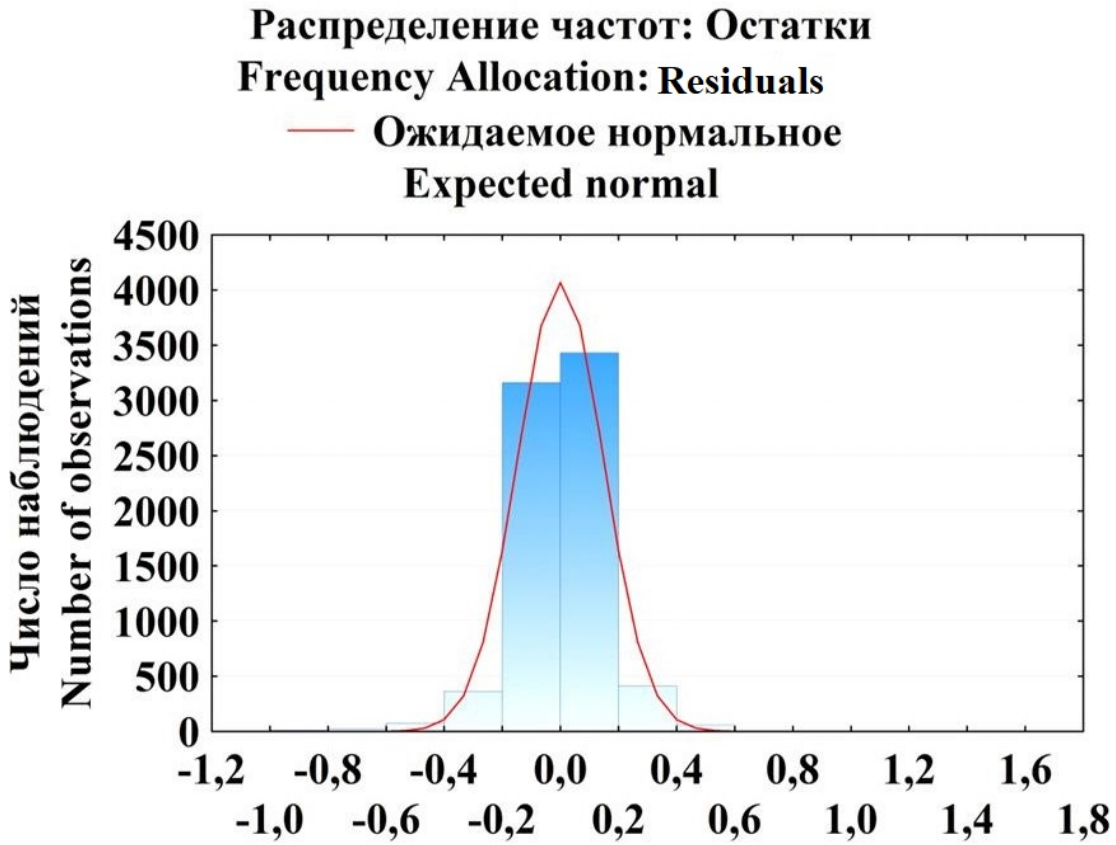


Рисунок 2. Зависимость между числом наблюдений и ожидаемым нормальным распределением
Figure 2. Relationship between the number of observations and the expected normal distribution

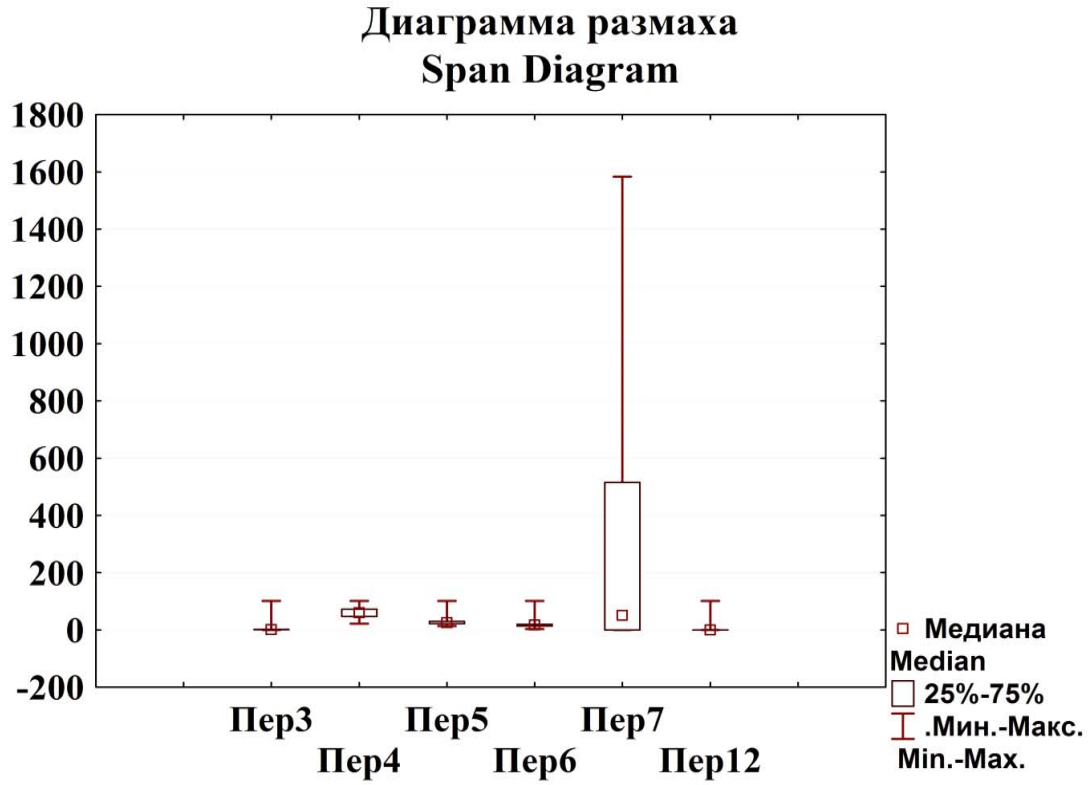


Рисунок 3 Диаграмма размаха независимых переменных в уравнении
Figure 3 Range diagram of independent variables in the equation

Таблица 4. Итоговые статистики
Table 4. Summary statistics

Итоговые статистики; ЗП:Пер9 (Таблица данных) / Final statistics; ZP:Per9 (data table)	
Показатели / Indicators	**Значение** / Meaning
Множест. R / Multiple R	0,995553791
Множест. R^2 / Multiple R^2	0,99112735
Скоррект. R^2 / Multiple R^2	0,991121472
F(5,7546)	168608,881
p	0
Стд. Ош. Оценки / Standard Error of Estimation	**0,154572259**

Таблица 5. Итоги регрессии для зависимой переменной
Table 5. Dependent variable regression outcomes

Итоги регрессии для зависимой переменной: Пер9 (Таблица данных)
R= ,99555379 R^2= ,99112735 Скоррект. R^2= ,99112147
F(5,7546)=1686E2 p=0000
Regression Totals for Dependent Variable: Per9 (Data Table)
R= .99555379 R^2= .99112735 Adjusted R^2= .99112147
F(5,7546)=1686E2 p=0000

N=7546	**БЕТА** BETA	**Ст.Ош. – БЕТА** St. error – BETA	**B**	**Ст.Ош. – B** St. error – B	**t(7547)**	**p-знач.** r-meaning
Св. член Fr. member			5,237866	0,060443	86,658	0,000000
Пер3 / Var3	1,21086	0,001454	1,051950	0,001263	832,594	0,000000
Пер4 / Var4	-0,29013	0,006757	-0,029296	0,000682	-42,940	0,000000
Пер5 / Var5	-1,00067	0,007554	-0,317839	0,002399	-132,461	0,000000
Пер6 / Var6	0,56889	0,006029	0,236860	0,002510	94,367	0,000000
Пер7 / Var7	-0,02104	0,001699	-0,000080	0,000006	-12,382	0,000000

Таблица 6. Коэффициенты (b0 – b4) при независимых переменных в уравнении
Table 6. Coefficients (b0 – b4) for independent variables in the equation

Модель:v9=b0+b1*v3-b2*v4-b3*v5-b4*v6-b5*v7 (Таблица данных)
Зав. пер.: Пер9 Потери: (OBS-PRED)2 Итоговые потери: 180,31732672**
R= ,99555 Объяснён. дисперс.: 99
Model:v9=b0+b1*v3-b2*v4-b3*v5-b4*v6-b5*v7 (Data Table)
Dependent variable: Per9 Loss: (OBS-PRED)**2 Total loss: 180.31732672
R=.99555 Explained variance: 99

N=7546	**b0**	**b1**	**b2**	**b3**	**b4**	**b5**
Оценка / Grading	5,237866	1,051950	-0,02929	-0,31783	-0,236860	-0,00008

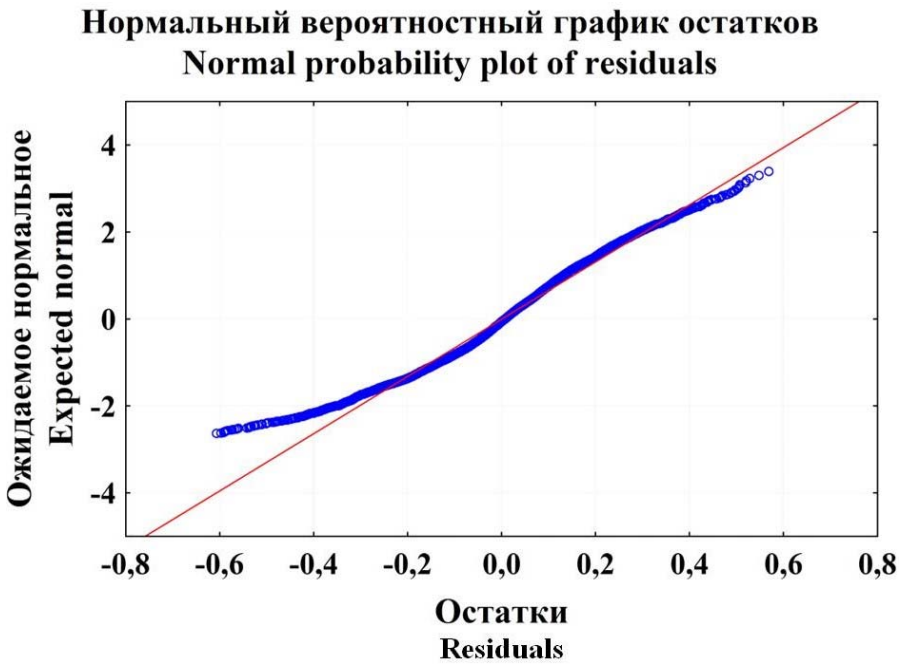


Рисунок 4. Зависимость между нормальным вероятностным графиком остатков и ожидаемым нормальным
Figure 4. Relationship between the normal probability plot of the residuals and the expected normal

Зависимость между числом наблюдений и ожидаемым нормальным распределением показана на рис. 5.

Диаграмма размаха независимых переменных в уравнении (рис. 6).

Доля дисперсии зависимых переменных разработанных моделей составляет 98–99% и модель вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Для моделей множественной регрессии были рассчитаны коэффициенты корреляции между независимыми переменными (32–46) и зависимыми (Sf, dn).

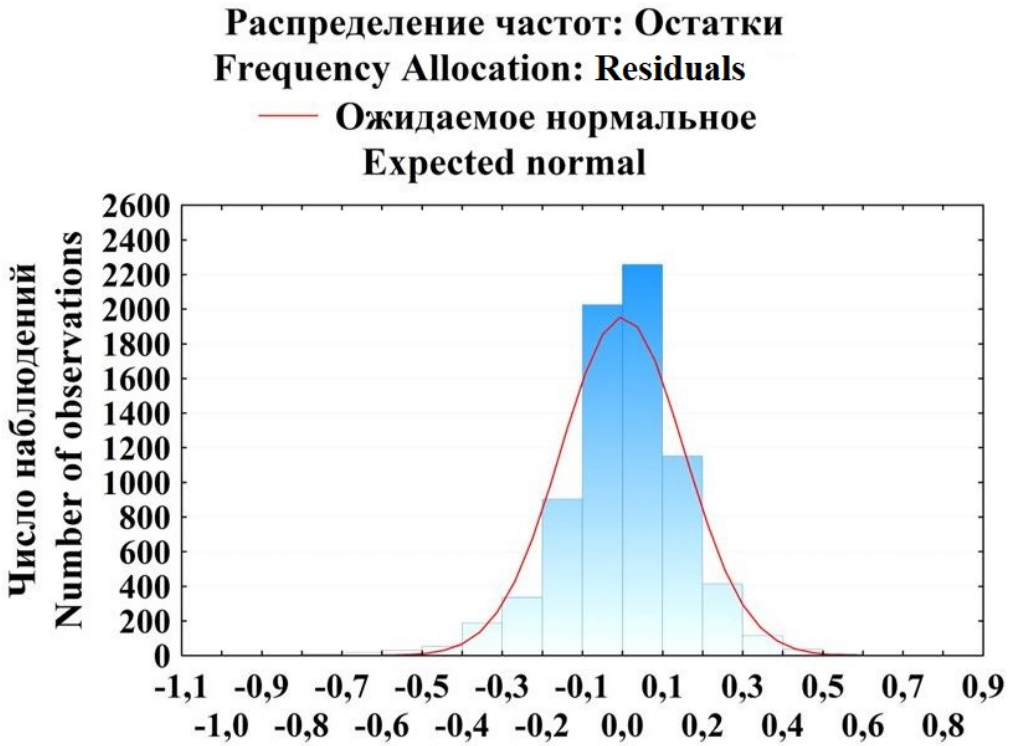


Рисунок 5. Зависимость между числом наблюдений и ожидаемым нормальным распределением
Figure 5. Relationship between the number of observations and the expected normal distribution

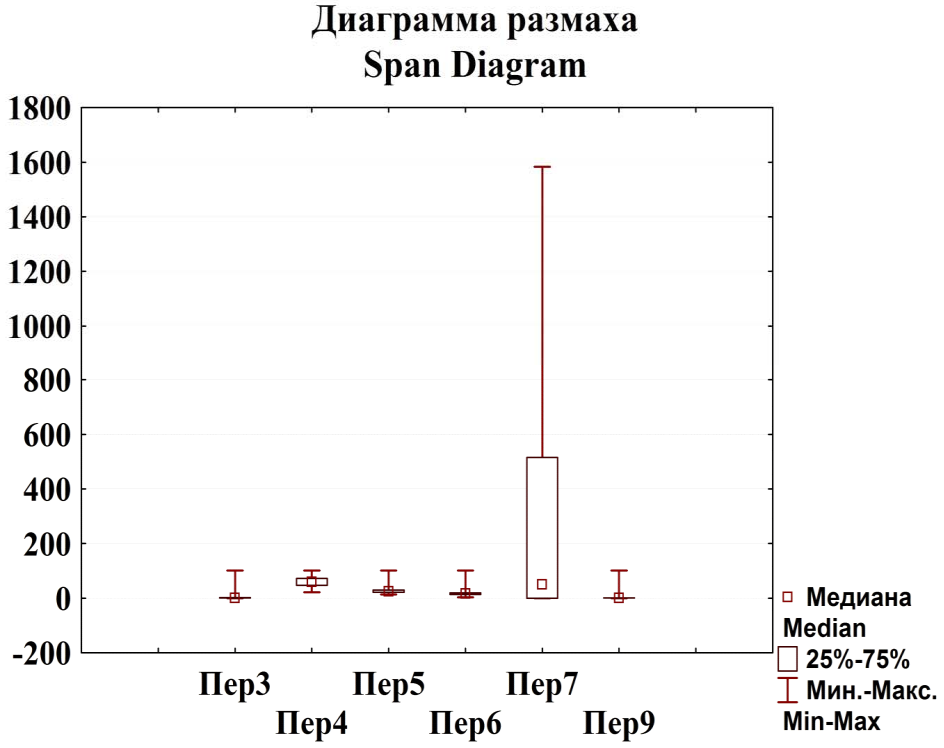


Рисунок 6. Диаграмма размаха независимых переменных в уравнении
Figure 6. Range plot of independent variables in the equation

Из таблицы 7 видно, что скорость водного потока в побеге растения (Sf, от. ед.) имеет более тесные корреляционные связи с факторами внешней среды – освещенностью (ФАР), температурой воздуха (Тв), и дефицитом влажности воздуха (ДДВП) чем изменение диаметра побега.

Доля дисперсии зависимой переменной, объясняемой применяемыми моделями составляет 98–99 %.

На данный момент нет разработанной теоретической и материальной базы для сбора, анализа и представления информации о физиологичном состоянии растительности. Ведется повторяющаяся диагностика растений на определенных территориях, для дальнейшей оценки изменений состояния растений и прогнозирования их развития, учитывая динамику состояния окружающей среды в исследуемом регионе [20–22].

Таблица 7. Коэффициенты корреляции между независимыми переменными (32–46) и зависимыми (Sf, d)
Table 7. Correlation coefficients between independent variables (32–46) and dependent variables (Sf, d)

Независимые переменные Independent variables	**Пер32** / Per32	**Пер33** / Per33	**Пер39** / Per39	**Пер42** / Per42	**Пер46** / Per46
Зависимые переменные Dependent variables	**ФАР (мкмоль/м²с)** Photosynthetically active radiation	**Температура воздуха (°С)** Air temperature	**Относительная влажность воздуха (Н, %)** Relative humidity	**Точка росы (°С)** Dew point	**ДДВП (кПа)** Air humidity deficiency
Sf, отн. ед. Sf, relative unit	0.756325	0.713578	-0.49175	0.307127	0.621301
d, мкм / d, µm	-0.218752	-0.36281	0.258446	-0.14604	-0.32067

Эколого-физиологические характеристики растений, выраженные в форме математической модели зависимости биологических процессов от условий среды, позволяет определять потенциальный уровень процесса, условия его проявления, границы оптимума, возможности компенсации лимитирующих факторов и другие показатели, характеризующие потребности и пластичность организма [23; 24]. Информация позволяет диагностировать физиологическое состояние и свойства генотипа. Результаты этих исследований дают возможность получать данные о состоянии фотосинтеза, водного режима, засухоустойчивости, теневыносливости, особенностях роста и развития растений [25].

Формирование вышеуказанной базы данных функций растений с соответствующими количественными характеристиками и разработка [22] на их основе модели обеспечит в перспективе возможность прогнозирования экологического состояния конкретного ареала или региона в целом.

ВЫВОДЫ

Исследование экофизиологической реакции *Juniperus excelsa* M. Bieb (в период вегетации) на влияние факторов окружающей среды, воздействующих на состояние водного режима, позволило определить ряд параметров, позволяющих построить математические модели этих зависимостей.

Эколого-физиологическая характеристика растений, выраженная в форме математической модели регрессионного анализа, была построена при помощи пошагового регрессионного анализа где качестве зависимых переменных мы использовали скорость водного потока (Sf) в побеге растения и изменение диаметра этого побега (dn), а независимыми переменными являлись основные факторы внешней среды.

Выбранная модель на основана на трех показателей эффективности – коэффициента детерминации (R^2), корня из среднеквадратичной ошибки (RMSE) и суммы квадратов ошибок (SSE). В уравнениях достаточно высокие коэффициенты детерминации и небольшие RMSE и SSE и уровень значимости критерия Стьюдента не превышает 0,05. Доля дисперсии зависимой переменной, объясняемой применяемыми моделями составляет 98–99 %.

Установлено, что коэффициент корреляции между интенсивностью транспирации (E) и скоростью водного потока (Sf) равнялась 0,814566, а между интенсивностью транспирации и устьичной проводимостью gs – 0,688625.

Разработанная математическая модель зависимости биологических процессов от условий среды позволяет определять потенциальный уровень процесса, условия его проявления, границы оптимума, возможности компенсации лимитирующих факторов и другие показатели, характеризующие потребности и пластичность организма.

Рассчитанные коэффициенты корреляции между переменными показывают, что скорость водного потока в побеге растения (Sf, от.ед.) имеет более тесные корреляционные связи с факторами внешней среды – освещенностью (ФАР), температурой воздуха (Тв), и дефицитом влажности воздуха (ДДВП), чем изменение диаметра побега.

Практический выход разработанной модели с соответствующими количественными характеристиками заключается в том, что можно будет прогнозировать экологическое состояние определенного региона [22].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анненков А.А., Иванов В.Ф., Хохрин А.В. Акимов Ю.А. Методические рекомендации по изыскательским работам для проектирования объектов озеленения в Крыму. Ялта, 1984. 26 с.
2. Ларина Т.Г. О структуке фитоценозов формации *Jnipereta excelsae* в Горном Крыму // Экология. 1980. N 4. С. 38–44.
3. Ильницкий О. А. Плугатарь Ю. В. Взаимосвязь динамикии интенсивности транспирации *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* с фотосинтезом, температурой хвои и некоторыми факторами внешней среды в ходе вегетации в условиях ЮБК // Биология растений и

садоводство: теория, инновации. 2019. N 1(150). С. 5–12. DOI: 10.36305/2019-1-150-5-12.
4. Чернявская И.В., Толстикова Т.Н., Еднич Е.М. Представители рода *Juniperus excelsa* L в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета // Вестник АГУ. 2015. N 4 (171). С. 79–86.
5. Григоров А.Н. Естественное возобновление и возрастная структура насаждений можжевельника высокого в заповеднике «Мыс Мартьян» // Труды Никитского ботанического сада. 1980. Т. 81. С. 35–44.
6. Kint V., Aertsen W., Fyllas N.M., Trabucco A., Janssen E., Özkan K., Muys B. Ecological traits of Mediterranean tree species as a basis for modelling forest dynamics in the Taurus mountains, Turkey. Ecological Modelling. 2014. V. 286. P. 53–65.
7. Ена А.В., Фатерыга А.В. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли, грибы. Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. 480 с.
8. Özkan K., Gulsoy S., Aerts R., Muys B. Site properties for Crimean juniper (Juniperus excelsa) in semi-natural forests of south western Anatolia // Turkey. J. Environ. Biol. 2010. V. 31. P. 97–100.
9. Elhag M., Bahrawi J. Evaluation of the transpiration character of Juniperus macrocarpa as an invasive species in western Crete. Applied ecology and environmental research. 2018. V. 16(2). P. 1659–1672. DOI: 10.15666/aeer/1602_16591672
10. Кайбеяйнен Э.Л., Пелконен П. Оптимизация фотосинтеза и транспирации у неотделенных листьев ивы на плантациях быстрого возобновления // Физиология растений. 2007. Т. 54. С. 350–355.
11. Кайбеяйнен Э.Л. Параметры световой кривой фотосинтеза у *Salix dasyclados* и их изменение в ходе вегетации// Физиология растений. 2009. Т. 56(4). С. 490–499.
12. Larcher W. Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Heidelberg: Springer-Verlag, 2003, 506 p.
13. Дроздов С.Н., Попов Е.Г., Курец В.К. Влияние света и температуры на нетто-фотосинтез и дыхание Betula pendula var. pendula и Betula pendula var. carelica (Betulaceae) // Ботанический журнал. 1995. Т. 80. N3. С. 60–64.
14. Дроздов, С.Н., Курец В.К. Некоторые аспекты экологической физиологии растений. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 172 с.
15. Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Паштецкий А.В. Динамика интенсивности фотосинтеза *Jupinerus excelsa* M. Bieb и факторов внешней среды в ходе вегетации вида в условиях Южного берега Крыма //Российская сельскохозяйственная наука. 2020. N 2. С. 17–20. DOI: 10.31857/S2500-2627-2020-2-17-20
16. Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Паштецкий А.В. Особенности водного обмена *Juniperus excelsa* M. Bieb в условиях прогресирующей почвенной засухи Южного берега Крыма // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2019. N 3(152). С. 5–14. DOI: 10.36305/2019-3-152-5-14
17. Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П. Методология, приборная база и практика проведения фитомониторинга. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 233 с.
18. Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Паштецкий А.В., Гиль А.Т. Влияние летней засухи в условиях Южного берега Крыма на фотосинтез и водный режим *Quercus pubescens* Willd // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. N 3(160). С. 7–16. DOI: 10.36305/2712-7788-2021-3-160-7-16
19. Ильницкий О.А., Корсакова С.П., Плугатарь Ю.В. Взаимосвязь между некоторыми экофизиологическими характеристиками хурмы Восточной (*Diospyros kaki* L.) и условиями внешней среды // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2016. Т. 142. С. 84–101.
20. Nevzat Gürlevik, Ayşe Deligöz, Dilek Yıldız Effects of irrigation and fertilization on the growth of juniper seedlings Der Einfluss von Bewässerung und Düngung auf das Wachstum von Wacholdersämlingen // Austrian Journal of Forest Science Centralblatt fur das gesamte Forstwesen. 2014. V. 3. P. 171–190.
21. Meletiou-Christou M.S., Rhizopoulou S. Leaf functional traits of four evergreen species growing in Mediterranean environmental conditions // Acta Physiol. Plant. 2017. V. 39. N 1, pp. 34–46. DOI: 10.1007/s11738-016-2330-4.
22. Плугатарь Ю. В., Ильницкий О. А., Корсакова С. П., Паштецкий А. В. Экологический фитомониторинг: исторический экскурс, состояние и перспективы // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2015. N 114. С. 7–13.
23. Aylin Güney, Roman Zweifel, Semra Türkan, Reiner Zimmermann. Drought responses and their effects on radial stem growth of two co-occurring conifer species in the Mediterranean mountain range [Annals of Forest Science]. 2020, vol. 77, pp. 105. Available at: https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-020-01007-2 (accessed 24.09.2020)
24. Abdallah M.A.B., Durfee N., Mata-Gonzalez R., Ochoa C.G., Noller J.S. Water Use and Soil Moisture Relationships on Western Juniper Trees at Different Growth Stages. [Water]. 2020, vol. 12, article id: 1596 Available at: https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1596 (accepted 31.05.2020)
25. Ильницкий О.А., Паштецкий А.В., Гиль А.Т. Особенности роста *Jupinerus excelsa* M. Bieb в условиях полевого вегетационного опыта Южного берега Крыма // Биология растений и садоводство: теория, иннвации. 2020. V. 2 (155). С. 94–101. DOI: 10.36305/2712-7788-2020-2-155-94-101

REFERENCES

1. Annenkov A.A., Ivanov V.F., Khokhrin A.V. Akimov Yu.A. *Metodicheskie rekomendatsii po izyskatel'skim rabotam dlya proektirovaniya ob`ektov ozeleneniya v Krymu* [Guidelines for survey work for the design of landscaping objects in the Crimea]. Yalta, 1984, 26 p. (In Russian)
2. Larina T.G. On the structure of phytocenoses of the Jnipereta excelsae formation in the Crimean Mountains. *Ekologiya* [Ecology]. 1980, no. 4, pp. 38–44. (In Russian)
3. Ilnitsky O.A. Plugatar Yu.V. Relationship between dynamics and transpiration intensity of *Pinus nigra* subsp. pallasiana with photosynthesis, needle temperature and some environmental factors during vegetation in the conditions of the South Coast. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovations*, 2019, no. 1 (150), pp. 5–12. (In Russian) DOI 10.36305/2019-1-150-5-12
4. Chernyavskaya I.V., Tolstikova T.N., Ednich E.M. Representatives of the genus Juniperus excelsa L in the Botanical Garden of the Adyghe State University. *Vestnik AGU* [Bulletin of ASU]. 2015, iss. 4(171), pp. 79–86. (In Russian)
5. Grigorov A.N. [Natural renewal and age structure of high juniper plantations in the reserve "Cape Martyan"]. In: *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada* [Proceedings of the Nikitsky Botanical Garden]. 1980, vol. 81, pp. 35–44. (In Russian)
6. Kint V., Aertsen W., Fyllas N.M., Trabucco A., Janssen E., Özkan K., Muys B. Ecological traits of Mediterranean tree species as a basis for modelling forest dynamics in the Taurus mountains, Turkey. Ecological Modelling. 2014, vol. 286, pp. 53–65.
7. Ena A.V., Fateryga A.V. *Krasnaya kniga Respubliki Krym. Rasteniya, vodorosli, griby* [Red Book of the Republic of

Crimea. Plants, algae, fungi]. Simferopol, "ARIAL" Publ., 2015, 480 p. (In Russian)
8. Özkan K., Gulsoy S., Aerts R., Muys B. Site properties for Crimean juniper (*Juniperus excelsa*) in semi-natural forests of south western Anatolia, Turkey. *J. Environ. Biol*. 2010, vol. 31, pp. 97–100.
9. Elhag M., Bahrawi J. Evaluation of the transpiration character of *Juniperus macrocarpa* as an invasive species in western Crete, Greece. *Applied ecology and environmental research*, 2018, vol. 16(2), pp. 1659–1672. DOI: 10.15666/aeer/1602_16591672
10. Kaibeyaynen E.L. Optimization of photosynthesis and transpiration in non-separated willow leaves on plantations of rapid renewal. *Fiziologiya rastenii* [Plant Physiology]. 2007, vol. 54, pp. 350–355. (In Russian)
11. Kaibeyaynen E.L. Parameters of the light curve of photosynthesis in Salix dasyclados and their changes during the growing season. *Fiziologiya rastenii* [Plant Physiology]. 2009, vol. 56(4), pp. 490–499. (In Russian)
12. Larcher W. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Heidelberg, Springer-Verlag, 2003, 506 p.
13. Drozdov S.N., Popov E.G., Kurets V.K. Influence of light and temperature on net photosynthesis and respiration of Betula pendula var. pendula and Betula pendula var. carelica (Betulaceae). *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal]. 1995, vol. 80, no. 3, pp. 60–64. (In Russian)
14. Drozdov S.N., Kurets V.K. *Nekotorye aspekty ekologicheskoi fiziologii rastenii* [Some aspects of ecological plant physiology]. Petrozavodsk, PetrGU, 2003, 172 p. (In Russian)
15. Ilnitsky O.A., Plugatar Yu.V., Pashtetsky A.V. Dynamics of the intensity of photosynthesis of *Jupinerus excelsa* M. Bieb and environmental factors during the vegetation of the species in the conditions of the Southern Coast of Crimea. *Russian Agricultural Science*. 2020, no. 2, pp. 17–20. DOI: 10.31857/S2500-2627-2020-2-17-20
16. Ilnitsky O.A., Plugatar Yu.V., Pashtetsky A.V., Features of water exchange of *Juniperus excelsa* M. Bieb under conditions of progressive soil drought on the southern coast of Crimea. *Biology of Plants and Horticulture: Theory, innovation,* 2019, no. 3 (152), pp. 5–14. (In Russian) DOI: 10.36305/2019-3-152-5-14
17. Ilnitsky O.A., Plugatar Yu.V., Korsakova S.P. *Metodologiya, pribornaya baza i praktika provedeniya fitomonitoringa* [Methodology, instrument base and practice of phytomonitoring]. Simferopol, "ARIAL" Publ., 2018, 233 p. (In Russian)
18. Ilnitsky O.A., Plugatar Yu.V., Pashtetsky, A.V., Gil A.T. Effect of summer drought in the conditions of the Southern coast of Crimea on photosynthesis and water regime of Quercus pubescens Willd. *Biology of plants and gardening: theory, innovation.* 2021, no. 3 (160), pp. 7–16. (In Russian) DOI: 10.36305/2712-7788-2021-3-160-7-16
19. Ilnitsky O.A., Korsakova S.P., Plugatar Yu.V. The relationship between some ecophysiological characteristics of Eastern persimmon (*Diospyros kaki* L.) and environmental conditions. In: *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Collection of scientific works of the State Nikitsky botanical garden]. 2016, vol. 142, pp. 84–101. (In Russian)
20. Nevzat Gürlevik, Ayşe Deligöz, Dilek Yıldız Effects of irrigation and fertilization on the growth of juniper seedlings Der Einfluss von Bewässerung und Düngung auf das Wachstum von Wacholdersämlingen. *Austrian Journal of Forest Science Centralblatt fur das gesamte Forstwesen*. 2014, heft 3, pp. 171–190.
21. Meletiou-Christou M.S., Rhizopoulou S. Leaf functional traits of four evergreen species growing in Mediterranean environmental conditions. *Acta Physiol. Plant*. 2017, vol. 39, no. 1, pp. 34–46. DOI: 10.1007/s11738-016-2330-4
22. Plugatar Yu.V., Ilnitsky O.A., Korsakova S.P., Pashtetsky A.V. Ecological phytomonitoring: historical digression, state and prospects. Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden]. 2015, no. 114, pp. 7–13. (In Russian)
23. Aylin Güney, Roman Zweifel, Semra Türkan, Reiner Zimmermann. Drought responses and their effects on radial stem growth of two co-occurring conifer species in the Mediterranean mountain range. [Annals of Forest Science]. 2020, vol. 77, 105 p. Available at: https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-020-01007-2 (accepted: 24.09.2020)
24. Abdallah M.A.B., Durfee N., Mata-Gonzalez R., Ochoa C.G., Noller J.S. Water Use and Soil Moisture Relationships on Western Juniper Trees at Different Growth Stages. [Water]. 2020, vol. 12, article id: 1596. Available at: https://mdpi-res.com/d_attachment/water/water-12-01596/article_deploy/water-12-01596.pdf?version=1591263763 (accepted: 31.05.2020)
25. Ilnitsky O.A., Pashtetsky A.V., Gil A.T. Features of the growth of *Juniperus excelsa* M. Bieb in the conditions of field vegetation experience of the Southern coast of Crimea. *Biology of plants and gardening: theory, innovations*, 2020, no. 2 (155), pp. 94–101. (In Russian) DOI: 10.36305/2712-7788-2020-2-155-94-101

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Олег А. Ильницкий осуществил сбор данных для исследования. Андрей В. Паштецкий проанализировал полученные первичные данные, провел их статистическую обработку. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Oleg A. Ilnitsky collected data for the study. Andrey V. Pashtetsky analysed the obtained primary data and carried out their statistical processing. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Андрей В. Паштецкий / Andrey V. Pashtetsky https://orcid.org/0000-0002-4428-4944
Олег А. Ильницкий / Oleg A. Ilnitsky https://orcid.org/0000-0002-4111-152X

Оригинальная статья / Original article
УДК 597.2.5; 664.2.03; 663.1
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-61-78

Использование экологически безопасного микромицета рода *Rhodotorula* для получения кормового каротинсодержащего концентрата

Валентина В. Колпакова[1], Рузалия В. Уланова[1,2], Денис С. Куликов[1], Валентина А. Гулакова[1], Лина В. Васильева[2], Юлия Ю. Берестовская[2], Елена Г. Черемных[3], Александр А. Ашихмин[4]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», Красково, Россия
[2]Институт микробиологии имени С.Н. Виноградского Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, Москва, Россия
[3]Научный центр психического здоровья, Москва, Россия
[4]Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Федеральный исследовательский центр «Пущинский научный центр биологических исследований РАН», Пущино, Россия

Контактное лицо
Валентина В. Колпакова, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»; 140051 Россия, Московская область, г. Красково, ул. Некрасова 11.
Тел. +79152858450
Email val-kolpakova@rambler.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-7288-8569

Формат цитирования
Колпакова В.В., Уланова Р.В., Куликов Д.С., Гулакова В.А., Васильева Л.В., Берестовская Ю.Ю., Черемных Е.Г., Ашихмин А.А. Использование экологически безопасного микромицета рода *Rhodotorula* для получения кормового каротинсодержащего концентрата // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 61-78. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-61-78

Получена 20 апреля 2022 г.
Прошла рецензирование 11 июля 2022 г.
Принята 20 сентября 2022 г.

Резюме

Цель работы. Изучение возможности использования экологически безопасного штамма дрожжей рода *Rhodotorula* для биоконверсии вторичного продукта переработки гороховой муки на белковый концентрат (сыворотки) в кормовую каротиноидсодержащую биомассу.

Материал и методы. Использовали новый штамм *Rhodotorula mucilaginosa* 111 и вторичные продукты переработки гороховой и нутовой муки на белковые концентраты и картофеля на крахмал (сыворотку). Применяли стандартные и специальные методы анализа сыворотки и микробно-растительного концентрата (КМРК): химические, биохимические, микробиологические, определение токсичности с инфузориями.

Результаты. Определены оптимальные режимы выращивания *R. mucilaginosa* 111 на гороховой сыворотке (температура 16,9°С; pH 7,8; количество посевного материала 1,85%). Биомассы на гороховой сыворотке синтезировалось больше, чем на нутовой и картофельной сыворотке – 81 г/дм^3. Массовая доля белка в биомассе – 58,90±3,03% на сухое вещество, скор незаменимых аминокислот – 119–243%. Липиды включали 20% насыщенных и 78% ненасыщенных жирных кислот, линолевой кислоты – 45,26±0,70%, олеиновой – 24,04±0,76%, пальмитолеиновой – 6,46±0,31%, пальмитиновой – 13,70±0,81%. Дрожжи продуцировали производные фитоина, торулен, β-каротин, торулародин, фитоин. КМРК из гороховой сыворотки стимулировал рост инфузории *Tetrahymena pyriformis* на 29,1%, из нутовой сыворотки – на 18,6% интенсивнее, чем дистиллированная вода, картофельная сыворотка понижала коэффициент ее роста.

Заключение. Сухая биомасса экологически безопасного нового штамма дрожжей *R. mucilaginosa* 111 содержала необходимые для кормления животных полноценные белки, липиды, минералы, каротиноиды; жидкую гороховую сыворотку возможно использовать для ее биоконверсии и в целях исключения загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова
Дрожжи *Rhodotorula mucilaginosa*, гороховая сыворотка, микробно-растительный концентрат, белки, жирные кислоты, каротиноиды, безопасность, инфузория.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Use of environmentally safe micromycetes of the genus *Rhodotorula* to obtain fodder carotene-containing concentrate

Valentina V. Kolpakova[1], Ruzaliya V. Ulanova[1,2], Denis S. Kulikov[1], Valentina A. Gulakova[1], Lina V. Vasilyeva[2], Yulia Yu. Berestovskaya[2], Elena G. Cheremnykh[3] and Alexander A. Ashikhmin[4]

[1]All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of A.G. Lorkha Federal Potato Research Centre

[2]S.N. Vinogradsky Institute of Microbiology, Fundamental Foundations of Biotechnology Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[3]Mental Health Research Center, Moscow, Russia

[4]Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Pushchino Scientific Centre for Biological Research, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

Principal contact

Valentina V. Kolpakova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of A.G. Lorkha Federal Potato Research Centre, 11 Nekrasova, St, Kraskovo, Moscow Region, Russia 140051.

Tel. +79152858450

Email val-kolpakova@rambler.ru

ORCID https://orcid.org/0000-0002-7288-8569

How to cite this article

Kolpakova V.V., Ulanova R.V., Kulikov D.S., Gulakova V.A., Vasilyeva L.V., Berestovskaya Yu.Yu., Cheremnykh E.G., Ashikhmin A.A. Use of environmentally safe micromycetes of the genus *Rhodotorula* to obtain fodder carotene-containing concentrate. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 61-78. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-61-78

Received 20 April 2022
Revised 11 July 2022
Accepted 20 September 2022

Abstract

Aim. The aim of the work was to study the possibility of using an environmentally friendly strain of yeast of the genus *Rhodotorula* for the bioconversion into fodder carotenoid-containing biomass of the secondary product of processing pea flour into a protein concentrate (whey).

Material and Methods. We used a new strain of *Rhodotorula mucilaginosa 111* and by-products of processing pea and chickpea flour into protein concentrates and potatoes into starch (whey). We used standard and special methods for the analysis of serum and microbial-vegetable concentrate (FMVC) namely: chemical; biochemical; microbiological; and the determination of toxicity with ciliates.

Results. Optimal conditions for growing *R. mucilaginosa 111* on pea whey were determined (temperature 16.9°C, pH 7.8, amount of inoculum 1.85%). More biomass was synthesized on pea whey than on chickpea and potato whey – 81 g/dm^3. The mass fraction of protein in the biomass is 58.90±3.03% on dry matter and the rate of essential amino acids is 119–243%. Lipids included 20% saturated and 78% unsaturated fatty acids, linoleic acid – 45.26±0.70%, oleic – 24.04±0.76%, palmitoleic – 6.46±0.31%, palmitic – 13.70±0.81%. The yeast produced phytoin derivatives, torulene, β-carotene, torularodin and phytoin. FMVC from pea whey stimulated the growth of ciliates *Tetrahymena pyriformis* by 29.1%, from chickpea whey (by 18.6% more intensively than distilled water), while potato whey reduced its growth rate.

Conclusion. The dry biomass of the ecologically safe new yeast strain *R. mucilaginosa* 111 contained complete proteins, lipids, minerals, and carotenoids necessary for feeding animals. Thus liquid pea whey can be used for its biokonversions, while avoiding environmental pollution.

Key Words

Yeast *Rhodotorula mucilaginosa*, pea whey, microbial-vegetable concentrate, proteins, fatty acids, carotenoids, safety, ciliates.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспеченность кормами животноводческой и птицеводческой отраслей АПК является основой успешного их развития, однако изменяющиеся климатические и экономические условия ограничивают возможность производства продукции традиционными способами. К альтернативным технологиям, не зависящим от погодных условий и интенсификаций сельхозугодий, относится микробиологический синтез кормовой биомассы [1]. Биомасса одноклеточных организмов с питательными и биологически активными компонентами (белки, липиды, витамины, антиоксиданты, минеральные вещества) вводится в состав кормовых рационов в качестве полноценных и относительно дешевых ингредиентов. Ведущее положение в производстве микробного белка занимают дрожжи родов *Candida*, *Saccharomyces*, *Trichosporon*, *Schwanniomyces*, *Saccharomycopsis*, *Kluyveromyces* и др. [2–6]. Особый интерес представляют те микроорганизмы, которые обеспечивают получение, кроме основных компонентов, и биологически активных веществ, придающих кормам ростовые, профилактические, антиоксидантные и другие свойства. В организме каротиноиды играют не только энергетическую роль, но и обладают антиоксидантными, иммуномодулирующими и онкопротекторными свойствами для нормализации репродуктивной функции, роста и развития животных и птицы [7–9]. Они являются изопреноидными пигментами и провитаминами А, принимают участие в пигментации организма, защите от хронических, дегенеративных и других заболеваний (старение, рак, катаракта, сердечно-сосудистые и т.д.) [10–13]. В составе пищевых добавок каротиноиды обладают и антимикробной активностью [14].

Сегодня 80–90% каротиноидов производят химическим синтезом, но все больше спрос возрастает на каротиноиды из природного растительного сырья, так как синтетические аналоги могут быть опасными для здоровья [15]. Природный кормовой каротин получают из тыквы, моркови, люцерны, экстракта фруктовых отходов и т. д.) [16; 17]. Из-за высокой потребности в каротиноидах для пищевой, кормовой промышленности и здравоохранения в 2022 году суммарная рыночная цена их препаратов, по прогнозам экспертов, может превысить 2,0 миллиарда долларов [18]. С учетом преимуществ микроорганизмов, по сравнению с растениями (темп роста, способность произрастать на отходах, часто загрязняющих окружающую среду, отсутствие сезонности роста и т.д.), исследования по получению кормовой биомассы, обогащенной каротиноидами, расширяются. Активными продуцентами каротиноидов выступают дрожжи родов *Rhodotorula*, *Rhodosporidium*, *Sporobolomyces*, *Sporidiobolus*, *Yarrowia*, *Phaffia* и др. [19–22], они привлекают внимание и как продуценты липидов и эссенциальных жирных кислот [23–25]. Так, каротинсодержащая кормовая биомасса получена для теплокровных животных, птиц и аквакультуры с дрожжами *Rhodotorula rubra, Rhodosporidium SC-111*, *Saccharomyces diastaticus Y-1218*, *Rhodotorula glutinis* [7; 26; 27]. При этом использовались отходы и вторичные продукты переработки сельскохозяйственного и пищевого сырья [28–32]. Так, при культивировании каротиноидных дрожжей *R. rubra* на экстракте фруктовых отходов при pH 7,0, температуре 28,2°C и перемешивании при 150 об/мин выход биомассы составлял 7,83 мг/дм^3, каротиноидов – 2,98±0,28 мг/дм^3 [17]. Урожайность биомассы на средах с картофельными сточными водами и глицериновыми фракциями с дрожжами *R. glutinis, Rothia mucilaginosa* и *Rhodotorula gracilis* также была высокой. Синтез в ней липидов, например, с культурой *R. gracilis* обеспечивал их количество 21,1 г/100 г, каротиноидов – 360,4 мкг/г биомассы, полиненасыщенных жирных кислот – 30,4% от общего количества [33; 34]. При трансформации отходов корицы дрожжами *Rhodosporidium toruloides*, остающихся после удаления полифенолов, количество каротиноидов составляло 2,00±0,23 мг/дм^3 [35]. Продуктивность ассоциации дрожжей *R. rubra* и *Kluyveromyces lactis* на ультрафильтрате молочной сыворотки составляла 24,3 г/дм^3, каротиноидов – 10,2 мг/дм^3 [36]. У дрожжей *R. glutinis* и *R. mucilaginosa* при ферментации на сывороточной и картофельной среде урожайность достигала 30–45 г/дм^3, массовая доля каротиноидов – 46–56 мг/дм^3 [36]. Положительные результаты получены и при использовании чайных отходов для синтеза каротиноидов и липидов дрожжами *R. toruloides.* Содержание пальмитиновой, стеариновой, олеиновой, линолевой кислот составляло более 90% от общего количества жирных кислот [37]. Доказана также возможность использования сточных вод пивоварни с *R. glutinis* для производства липидов и каротиноидов [38]. Известно, что максимальная продуктивность дрожжей *Rhodotorula* и *Cryptococcus* с каротиноидов достигалась при росте на тростниковой патоке, кукурузном сиропе и солодовом экстракте (300 мкг/л) [39]. Таким образом, сведения по получению кормовой микробной биомассы, обогащенной наряду с белком, липидами и каротиноидами, и подбору ее продуцентов для различных сырьевых источников растительного происхождения весьма важны и актуальны.

Целью данной работы явилось изучение возможности использования жидкого вторичного продукта переработки гороховой муки на белковый концентрат (сыворотки) для получения кормового каротинсодержащего концентрата биоконверсией с новым экологически безопасным штаммом дрожжей рода *Rhodotorula*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили питательные среды, полученные на основе гороховой сыворотки – продукта, образующегося при получении белковых концентратов (БК) из гороховой муки. Химический состав гороховой муки, в % на сухое вещество (СВ): массовая доля белка (N×6,25) – 24,30±1,40, золы – 2,87±0,20, жира – 1,58±0,12, углеводов – 73,02±3,66. Для сравнения роста штамма *Rhodotorula* на гороховой сыворотке использовали нутовую и картофельную сыворотку. Нутовую сыворотку получали из муки с массовой долей, в % на СВ: белка (N×6,25) – 24,54±0,23; золы – 2,91±0,02; жира – 4,89±0,31; углеводов – 67,66±0,56. Химический состав сока, из которого получена картофельная сыворотка: СВ – 5,55±0,95%; азотистые вещества – 1,94±0,08 г/100 см^3; аминный азот 1,03±0,07 г/100 см^3; восстанавливающие сахара – 1,07±0,65 г/100 см^3; зола – 0,85±0,05 г/100 см^3.

Гороховую и нутовую сыворотку получали после удаления белков из экстракта, полученного из муки с ферментными препаратами (ФП): Shearzym 500 L, Viscoferm L, Fungamyl 800 L, AMG 300 L 2500, Alcalase 2.4 L от компании "Novozymes", (Данния) по схеме, приведенной в работе [40]. Картофельный сок, остающийся после удаления крахмала из клубней картофеля [41], нагревали до температуры 95°С, после чего центрифугировали, получали супернатант обозначенный как сыворотка. Микробным объектом служил штамм дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* 111 из коллекции Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН (Москва).

Выведение и идентификация штамма. Чистая культура штамма *R. mucilaginosa* 111 была выделена из водного образца озера Унтерсее Антарктида, отобранного с глубины 63 м при температуре 4,9°С, и идентифицирована после проведения генетического анализа 18SрРНК. Для обогащения образца клетками бактерий в олиготрофных условиях к образцу воды в соотношении 4:1 добавляли низко-минерализованную среду (НМС) с дрожжевым экстрактом, триптоном, казаминовыми кислотами и пептоном, каждый при концентрации 0,001%. Обогащенный клетками образец получали через 1 месяц при температуре 4°С. Культуру высевали на агаризованную НМС среду, в которой концентрация дрожжевого экстракта, триптона, казаминовых кислот и пептона была выше 0,005%, что позволило получить отдельные колонии, выросшие при 4°С. Чистую культуру штамма получали из одной колонии при многократном ее пересеве, поддерживали ее на НМС с 0,01% дрожжевого экстракта и 0,2% сахарозы при температуре 10°С. Микроскопические фазово-контрастные исследования проводили на микроскопе Olimpus CX41 (Япония) с фотографической приставкой. На агаризованных средах образовывались круглые выпуклые маслянистые колонии дрожжей с гладкой поверхностью ярко-розового цвета.

Идентификацию штамма проводили на основе анализа последовательности рибосомальных генов по стадиям: рассев культуры до отдельных колоний; получение биомассы для анализа 18SРНК; выделение ДНК (GenomicDNAPurificationKit) и идентификация штамма по последовательности 18SрДНК. Секвенирование генов 18S рРНК и 5,8S рРНК проводили на автоматическом секвенаторе AE 3000 с компьютерной программой BLAST. Электрофорез ПЦР образцов проводили на 1,0%-ном агарозном геле при напряжении 5 Вт/см. Анализ сходства нуклеотидной последовательности гена, кодирующего 18S рДНК штамма, проведен с помощью сервера BLAST.

Приготовление питательной среды. Для биоконверсии сыворотки штаммом *R. mucilaginosa* 111 корректировали ее pH и стерилизовали при 0,5 атм. в течение 15 мин. Музейные культуры с сусла-агара пересевали в пробирку с сывороткой, культивировали в течение 24 ч, после чего посевную культуру пересевали в колбы емкостью 300 см^3 с 50 см^3 питательной среды. Культуру выращивали на качалке в течение 48 ч при скорости вращения 150 мин$^{-1}$ и температуре 17±1°С. Суспензию инактивировали при температуре 95±5°С в течение 10–15 мин и охлаждали до температуры 22±2°С. Биомассу отделяли от культуральной жидкости центрифугированием при 4 000 мин$^{-1}$ в течение 10 мин, высушивали на лиофильной установке Hochvacuum HVDTG-50 (Германия) в вакууме при -80°С [42] и получали препарат кормового микробно-растительного концентрата (КМРК). Количество биомассы определяли гравиметрическим методом: 10 см^3 биомассы центрифугировали в течение 10 мин при 5000 мин$^{-1}$, осадок дважды промывали стерильной дистиллированной водой, после чего его взвешивали. Результаты рассчитывали в г/дм^3 питательной среды.

Анализ продуктов. Количество белка в муке, сыворотке и концентратах определяли по методу Кьельдаля ГОСТ 10846-91 [43], массовую долю влаги – ГОСТ 13586.5-93 [44], золы – ГОСТ 10847-2019 [45], жира – ГОСТ 29033-91 [46], общих углеводов – по разнице между 100% и суммой остальных компонентов. Количество растворимых и нерастворимых волокон в КМРК определяли по методу, основанному на предварительном ферментативном гидролизе крахмала и белков [47]. Для гидролиза белков использовали протеолитический ФП Alcalase 2.4 L, для гидролиза углеводов – α-амилазу Фунгамил 800 L и амилоглюкозидазу AMG ("Novozymes", Дания). Растворимые волокна осаждали четырьмя объемами 95% (v/v) этанола в течение 2 часов при 4°С, после чего промывали 2 раза 95%-ным этанолом. Количество высушенной массы определяли гравиметрическим методом, массовую долю волокон выражали в процентах на СВ. При расчете аминокислотного скора концентратов использовали шкалу эталонного белка ФАО/ВОЗ (2011) [48].

Углеводный состав сыворотки и культуральной жидкости исследовали на газовом хроматографе модели GCMS-QP 2010 (Япония, Shimadzu Corporation) с колонкой ReproGel Na HPLC (9 µm, 8x300 mm).

Аминокислотный состав (АС) определяли на хроматографе модели L-8800 фирмы “Hitachi” (Япония) в стандартном режиме анализа белковых гидролизатов с сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом и ступенчатым градиентом натрий-цитратного буферного раствора с возрастающим значением pH и молярности [49].

Жирнокислотный состав. Липиды из КМРК выделяли по методу Фолча. После упаривания в ротационном испарителе, к ним добавляли хлороформ, солянокислый метанол (SupelcoMethanolic-HCl 0.5 N), смесь нагревали 1 ч при 90°С. Жирнокислотный состав липидов исследовали на хроматографе с масс-детектором Simadzu GCMS-QP2010 Ultra при температуре 120°С, инжектора – 200°С; интерфейса – 205°С, детектора – 200°С на колонке SLB-IL82 (30 m, 0,20 mkm, d = 0,25 mm) с гелевым носителем при скорости потока 35,6 см/сек и его делении 1:10. Градиентный режим изменяли от 120°С до 260°С со скоростью 5°С/мин в течение 2 минут.

Состав каротиноидов. Для определения состава каротиноидов клетки биомассы разрушали, после чего из них экстрагировали пигменты, которые разделяли ВЭЖХ-анализом. Для этого 150 мкл биомассы и стеклянные бусы размером 425–650 мкм (Sigma-Aldrich, США) в соотношении 1:1 (V/V) помещали в пробирку Эппендорфа и интенсивно перемешивали в шейкере 5 раз по 15 сек. После каждого перемешивания клетки в течение 2 минут охлаждали во льду. К разрушенным клеткам добавляли 1 см^3 ацетон-метанольной смеси (7:2, v/v), перемешивали в шейкере и помещали на 10 мин в термостат при 45°С для экстракции пигментов. Образец центрифугировали в

течение 1 мин на центрифуге Minispin (Eppendorf, США) при 2000 мин-1. Процедуру экстракции повторяли до появления серого цвета у продукта. Экстракты пигментов из нескольких порций объединяли, добавляли петролейный эфир и высушивали в стеклянном пузырьке под струей аргона. Анализ состава каротиноидов проводили с помощью ВЭЖХ на установке Shimadzu (Shimadzu, Япония) [50]. Установка состояла из насоса LC-10ADVP с модулем FCV-10ALVP, детектора с диодной матрицей SPD-M20A, термостата CTO-20AC и колонки с обращенной фазой Agilent Zorbax SB-C18 5 мкм 4,6 x 250 мм («Agilent», США). Концентрацию каротиноидов в моль% рассчитывали по коэффициентам экстинкции [51] и площадям полос поглощения в области 270–800 нм с помощью программы LC-solution (Shimadzu, Япония). Все реактивы были химически чистые.

Для определения коэффициента роста инфузорий и экологической безопасности концентратов использовали инфузорию *Tetrahymena pyriformis* WH14 из коллекции Всероссийского НИИ ветеринарной санитарии и экологии (Москва). К 10±0,001 мг образца добавляли 10 см^3 дистиллированной воды и встряхивали на шейкере в течение 20 мин. Раствор разводили в 10 раз, отбирали 10 см^3 и определяли коэффициент роста числа клеток инфузорий на образцах через 24 часа. Контролем служила дистиллированная вода, подсчет живых тест-организмов проводили на приборе БиоЛаТ (ООО «Европолитест», Россия) [52] по специальной программе с использованием изображения лунок планшета с инфузориями. Программная обработка изображения основана на вычитании двух последовательных кадров лунки с тест-организмами и сканировании результирующего изображения для выявления объектов, отличающихся по яркости от фона. Коэффициент роста $К_{роста}$ (%) вычисляли по формуле: $K_{роста} = \frac{A_{оп}}{A_к} \times 100$, где $А_{оп}$ – прирост клеток инфузории в опыте, $А_к$ – прирост клеток в контроле. При уменьшении прироста клеток инфузории на 50% и более, по сравнению с контролем, проба считалась токсичной.

Обработка результатов. Экспериментальные данные обрабатывали в программах TableCurve 2D 5.1, TableCurve 3D 4.0, Mathematica 10.3 и Statistica 10. Доверительный интервал среднего арифметического рассчитан по уровню значимости p = 0,05.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В статье представлены результаты по разработке микробиологического процесса получения каротиноидсодержащего КМРК с использованием вторичного продукта переработки зерна гороха на белковый концентрат – жидкой сыворотки. Сыворотка оставалась после осаждения белков из экстракта в изоэлектрической точке [40]. Для получения КМРК использовали новый штамм *Rhodotorula mucilaginosa* 111, активно усваивающий компоненты сред и синтезирующий белки, липиды, углеводы, каротиноды.

При анализе последовательности рибосомальных генов по базе данных GenBank первичный скрининг показал, что штамм принадлежал к систематическому роду и видам: *Rhodotorula mucilaginosa*, *Rhodotorula alborubescens*, *Rhodotorula evergladensis*. Критерием отнесения микроорганизма к конкретному виду считали гомологию не менее 98%. Для установления филогенетического родства использовали метод сравнения нуклеотидных последовательностей, кодирующих домен D1/D2 гена 18S рРНК. Анализ филогенетического родства, построенный с использованием штаммов близкородственных микроорганизмов, энтеробластическое почкование, слизистая консистенция культуры и наличие пигментов показали, что наиболее близким к образцу был род *Rhodotorula*, вид – *mucilaginosa*. Штамм образца депонировали под номером 111.

С целью предварительного определения значений температуры и pH для развития культуры использовали НМС Американской коллекции типовых культур – ATCC, в состав которой входила сахароза в концентрации 0,2%. В пробирки со стерильной средой засевали культуру в 3-х кратной повторности, колбы выдерживали в течение недели при температуре 4, 10, 15, 20, 25 и 30°C и pH от 6,5 до 8,5. Наибольший рост культуры наблюдался при pH 8,0 и температуре 25°C. Штамм *R. mucilaginosa* 111 образовывал пигмент, окрашивающий колонии в розовато-оранжевый цвет (рис. 1), что характерно для каротиноидных пигментов базидиомицетовых дрожжей данного рода. Размер клеток яйцевидной формы, расположенных одиночно и попарно, составлял 3,75±1,25 мкм × 5,5±2,5 мкм. Размножались клетки чаще полярным почкованием, реже – многосторонним почкованием (рис. 1).

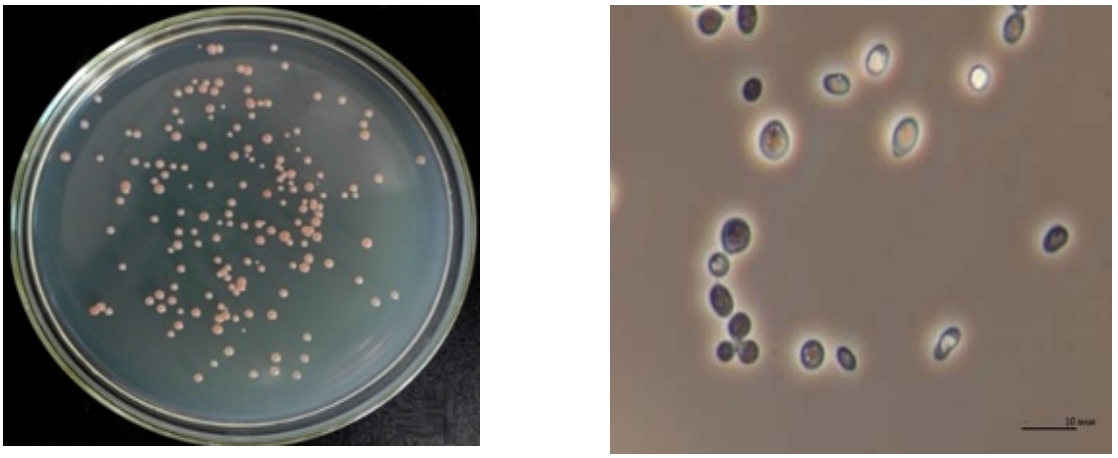


Рисунок 1. Внешний вид клеток *R. mucilaginosa* 111 на твердой питательной среде
Figure 1. Appearance of *R. mucilaginosa* 111 cells on a solid nutrient medium

Продуктивность (урожайность) культуры *R. mucilaginosa* 111 изучали на питательной среде из сыворотки, без внесения дополнительных ингредиентов, и сравнивали ее для сред из нутовой и картофельной сыворотки. Зерно нута по химическому составу и физико-химическим свойствам белков имеет сходство с зерном гороха, тогда, как картофель по данным показателям от зернобобовых отличается. Поэтому представлялось интересным исследовать продуктивность дрожжей на сыворотке различной природы, химический состав которой приведен в таблице 1. Параметры выращивания использовали те же, что и для гороховой сыворотки, но с консорциумом дрожжей *Saccharomyces cerevisia* и *микромицета Geotrichum candidum* (температура роста 27±1ºС, pH 6,0–6,5) [40]. Показано, что продуктивность дрожжей *R. mucilaginosa* 111 на гороховой и нутовой сыворотке в 1,6 раза выше, чем на картофельной сыворотке (рис. 2). Возможно, что в состав сыворотки из зернобобовых культур в 1,5–1,8 раза больше входило легко усвояемых моно- и олигосахаридов. Для дальнейших исследований использовали гороховую сыворотку, нутовую и картофельную – для сравнения процессов роста и продуктивности дрожжей.

Технологические режимы культивирования дрожжей *R. mucilaginosa* 111 на гороховой сыворотке оптимизировали с методами математической обработки данных. Составили матрицу планирования эксперимента выращивания дрожжей в течение 3-х суток для выявления зависимости выхода биомассы от кислотности среды, температуры и количества посевного материала. Поиск искомой зависимости осуществляли в следующем виде:

$$md = a0 \cdot fpH \cdot ft \cdot fcm$$

где: fpH, ft и fcm – функции эффектов влияния pH, температуры t и количества посевного материала cm.

На рисунке 3 представлены частные эмпирические зависимости *fpH*, *ft* и *fcm* эффектов влияния pH, температуры, количества посевного материала на выход биомассы дрожжей.

Таблица 1. Химический состав сыворотки различной природы
Table 1. Chemical composition of serum of various nature

Показатели / Indicators								
		Углеводы, % от общего количества Carbohydrates, % of the total						
СВ, % DS, %	**АВ, % СВ (Nx6,25)** NS, % (Nx6,25)	Фруктоза Fructose	Глюкоза Glucose	Мальтоза, сахароза Maltose, sucrose	Галактоза Galactose	Раффиноза Raffinose	Стахиоза Stachiose	ВМС HMC
Гороховая сыворотка / Pea whey								
3,00	13,94± 5,32	10,99± 0,61	41,45± 1,12	1,32± 0,04	-	2,91± 0,10	3,14± 0,09	35,12± 2,01
Нутовая сыворотка / Chickpea whey								
3,80	14,95± 7,53	14,06± 0,84	4,28± 0,45	4,40± 0,36	4,35± 0,55	9,52± 1,42	3,68± 0,47	47,21± 1,93
Картофельная сыворотка / Potato whey								
3,80	29,75± 2,25	12,11± 0,56	18,30± 0,93	3,74± 0,41	-	-	-	64,22± 1,02

Примечание: СВ – сухие вещества; ВМС – высокомолекулярные соединения; АВ – азотистые вещества
Note: DS – dry substances; HMC – high molecular compounds; NS – nitrogenous substances

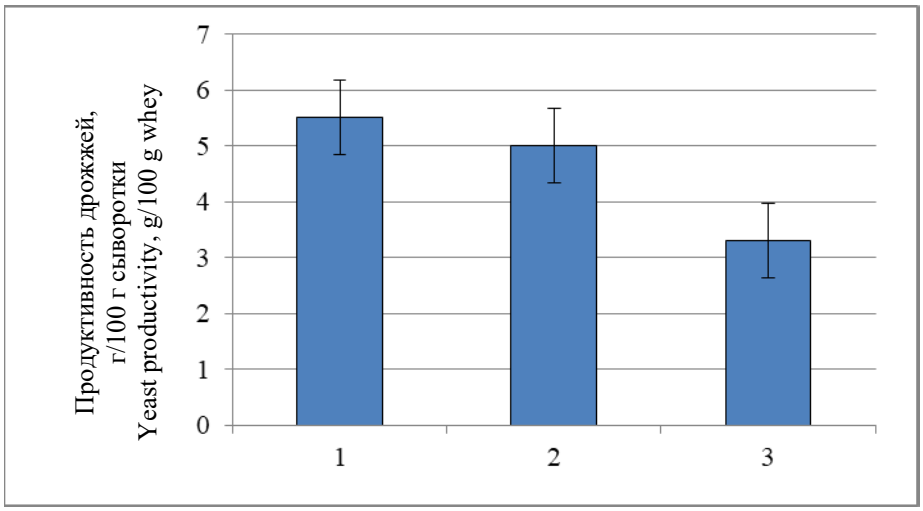


Рисунок 2. Продуктивность дрожжей *R. mucilaginosa* 111 на сыворотке: 1 –гороховой; 2 – нутовой; 3 – картофельной
Figure 2. Yeast productivity *R. mucilaginosa* 111 on serum: 1 – pea; 2 – chickpea; 3 – potato

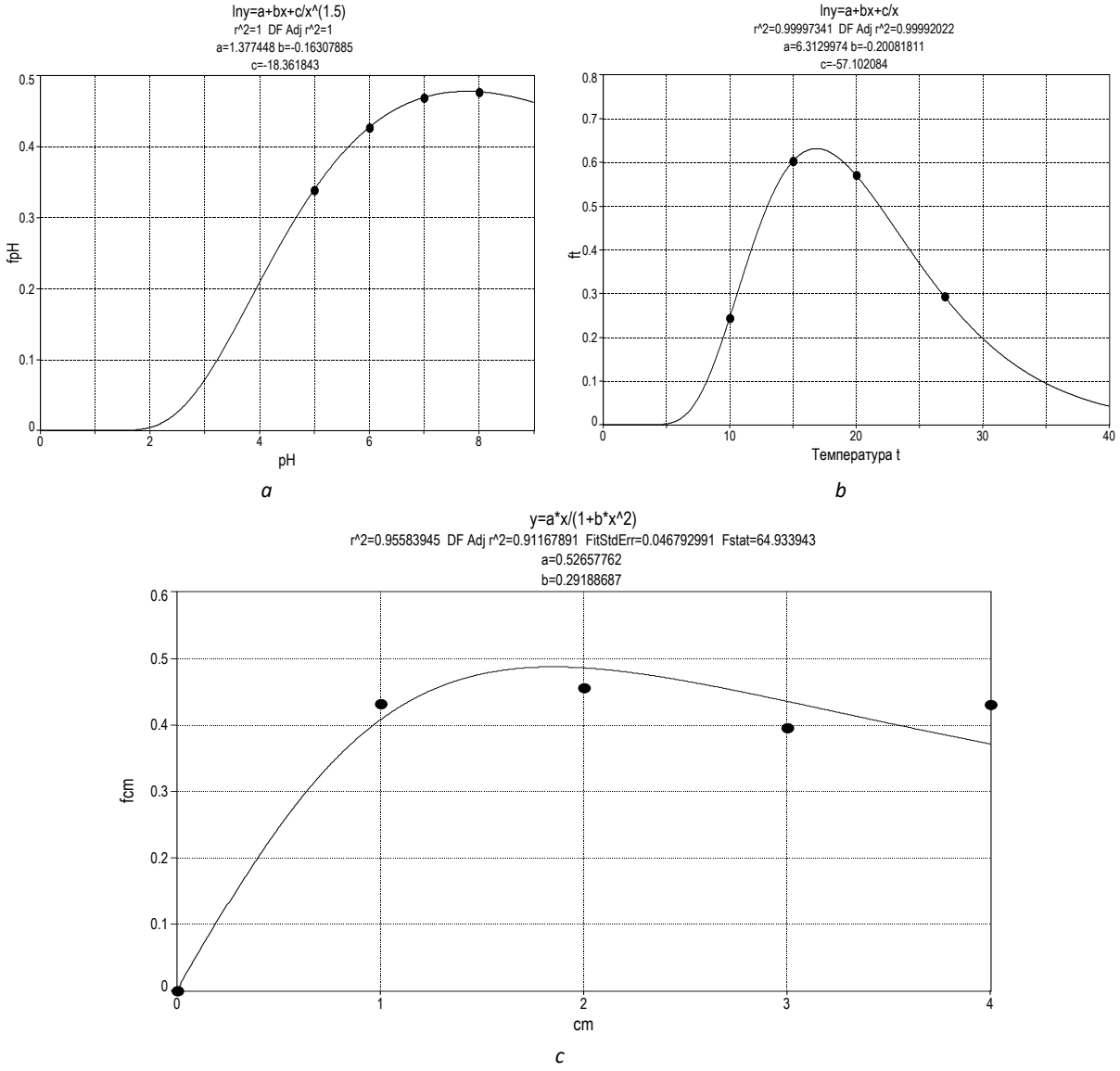


Рисунок 3. Частные эмпирические зависимости эффекта влияния: *a* – fpH от pH; *b* – ft от температуры t; *c* – fcm от количества посевного материала cm

Figure 3. Partial empirical dependences of the influence effect: a – fpH on pH; b – ft on temperature t; c – fcm from seed quantity cm

С повышением pH от 5 до 7–8, температуры от 10 до 15–17°C и количества посевного материала от 1 до 2% выход биомассы повышался, после чего он плавно или резко понижался. Коэффициенты корреляции (*R*) уравнений, описывающих данные зависимости, равнялись, соответственно, для *pH* (рис. 3А) – 1,0000; температуры (рис. 3В) – 0,98600 и количества посевного материала *cm* (рис. 3С) – 0,99997, что указывало на адекватное описание уравнением полученных экспериментальных данных. Искомое уравнение зависимости выхода массовой доли биомассы (*md*) от влияющих факторов имело вид:

$$md = \frac{21698.726 \cdot cm \cdot e^{-\frac{18.362}{pH^{1.5}} - 0.1631\,pH - \frac{57.1}{t} - 0.2008\,t}}{3.4341 + cm^2}$$

где: *pH* – pH среды, *t* – температура, *cm* – количество посевного материала.

Коэффициент корреляции уравнения *R* равнялся 0,8715, что также указывало на адекватное описание им экспериментальных данных (рис. 4). На рисунке 5 отображена зависимость выхода биомассы *md* (г/10 см^3) от *pH* и температуры $t, {}^0C$ при количестве посевного материала *cm* = 2%. Зависимость количества биомассы от исследуемых факторов имела четко выраженные максимумы. Из листинга решения уравнений вытекали оптимальные значения факторов, обеспечивающие максимальный выход биомассы (*md*), (0,81 г/дм^3). В процессе накопления биомассы усваивались глюкоза и фруктоза.

Для гороховой и картофельной сыворотки в культуральной жидкости количество глюкозы закономерно уменьшалось: у гороховой сыворотки – до

нуля, у картофельной – в 6 раз, по сравнению с началом процесса. У нутовой сыворотки количество глюкозы практически не изменялось (табл. 2). У всех видов сыворотки количество фруктозы в культуральной жидкости к концу выращивания биомассы уменьшилось в 2,2–3,9 раза. Следовательно, дрожжи из гороховой и картофельной сыворотки усваивали глюкозу, фруктозу, из нутовой сыворотки – фруктозу.

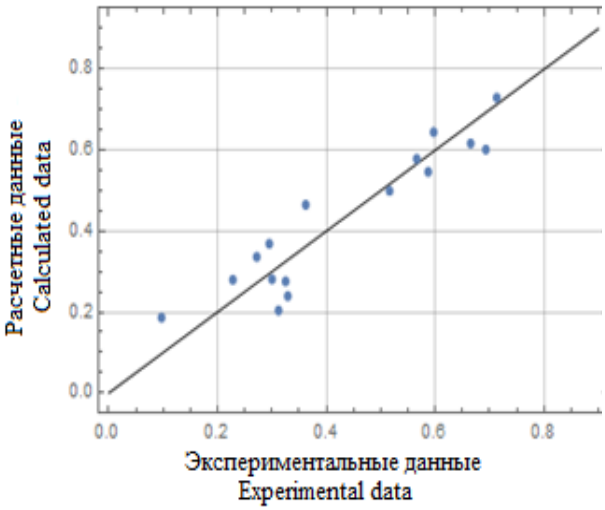


Рисунок 4. Корреляционный график
Figure 4. Correlation chart

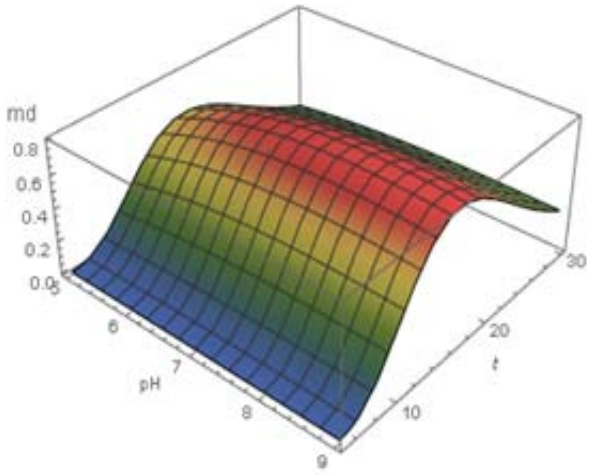


Рисунок 5. Зависимость выхода биомассы (*md*) от pH и температуры (*t*)
Figure 5. Dependence of biomass yield on pH and temperature

Таблица 2. Углеводный состав сыворотки и культуральной жидкости в процессе роста дрожжей *R. mucilaginosa* 111
Table 2. Carbohydrate composition of serum and culture liquid during the growth of the yeast *R. mucilaginosa* 111

Состав Composition	**Сыворотка** / Whey											
	Гороховая Pea				**Нутовая** Chickpea				**Картофельная** Potato			
	С W	**Сутки роста** Days of growth			**С** W	**Сутки роста** Days of growth			**С** W	**Сутки роста** Days of growth		
		1	2	3		1	2	3		1	2	3
СВ, % DS, %	3,00± 0,65	3,00± 0,02	2,80± 0,43	1,60± 0,49	3,80± 0,37	3,80± 0,12	3,00± 0,89	2,50± 0,85	3,80± 0,38	4,00± 0,44	2,20± 0,75	2,00± 0,60
Глюкоза Glucose	41,45± 2,54	32,17± 1,96	11,93± 0,66	0	6,61± 0,73	4,28± 0,28	5,86± 1,61	7,73± 0,15	18,30± 1,85	10,56± 2,01	2,67± 0,88	3,10± 0,81
Фруктоза Fructose	11,99± 1,95	13,85± 1,38	12,46± 1,72	5,29± 2,97	12,68± 0,95	14,06± 1,99	8,63± 1,75	3,34± 1,39	12,11± 1,25	9,40± 2,40	8,41± 2,34	4,03± 1,22
Галактоза Galactose	1,32± 0,08	1,04± 0,05	0	0	4,35± 0,17	4,19± 0,13	4,40± 0,16	5,28± 0,09	2,80± 0,20	3,17± 0,92	3,45± 0,80	3,11± 0,06
Мальтоза, сахароза Maltose, sucrose	1,32± 0,69	1,75± 0,99	4,35± 0,57	12,85± 0,82	4,40± 0,43	3,88± 0,38	4,80± 0,21	7,40± 0,55	– 3,74± 0,04	– 3,04± 0.36	– 3,68± 0,12	– 3,42± 0,15
Раффиноза Raffinose	2,91± 0,07	1,14± 0,05	1,93± 0,07	2,28± 0,02	9,52± 0,09	10,44± 0,13	15,82± 0,40	19,59± 0,24	–	–	–	1,15± 0,03
Стахиоза Stachiose	3,14± 0,47	2,85± 0,78	3,23± 0,12	4,20± 0,34	3,68± 0,94	4,25± 0,54	4,17± 0,19	3,48± 0,38	–	–	–	–
ВМС HMC	32,80± 0,98	38,57± 1,05	58,96± 2,92	75,38± 2,07	47,21± 1,71	46,97± 1,94	52,07± 1,99	50,71± 1,48	61,42± 1,72	69,45± 2,77	74,15±2 ,54	80,4± 3,38

Примечание: СВ – сухие вещества; ВМС – высокомолекулярные соединения; С – сыворотка
Note: DS – dry substances; HMC – high molecular compounds; W – whey

Данные отличия незначительно повлияли на выход биомассы из нутовой сыворотки по сравнению с гороховой. Достоверных данных по уменьшению в культуральной жидкости количества мальтозы и сахарозы не выявлено. Увеличение количества дисахаридов к концу роста биомассы, как и количества ВМС, в культуральной жидкости можно объяснить количественным перераспределением фракционного состава углеводов за счет усвоения моносахаридов дрожжами в процессе роста

С оптимальными режимами выращивания культуры получены лабораторные образцы КМРК (рис. 6), изучен их химический состав и токсичность. Концентрат имел розово-оранжевый цвет, посторонние

запахи отсутствовали. Спектрофотометрическим анализом экстрактов из биомассы дрожжей получили спектр поглощения каротиноидов в петролейном эфире (рис. 7) и хроматограмму ВЭЖХ-анализа пигментов (рис. 8) с различными максимумами поглощения (табл. 3). В биомассе обнаружены фитоин и его производные, торулен, β-каротин, торулародин и фитоин. При этом известно, что первым продуктом биосинтеза каротиноидов в растениях является фитоин [53], который через ряд реакций превращается в окрашенный β-каротин, γ-каротин [54], торулин и торулародин [55]. Провитаминная активность каротиноидов в нашем случае убывала в следующем порядке: производные фитоина>торулен> β-каротин>торулародин>фитоин.

a *b*

Рисунок 6. Внешний вид КМРК, полученного на гороховой сыворотке: *a* – сырая биомасса; *b* – сухой концентрат
Figure 6. Appearance of the FMVC obtained on pea serum: *a* – wet biomass; *b* – dry concentrate

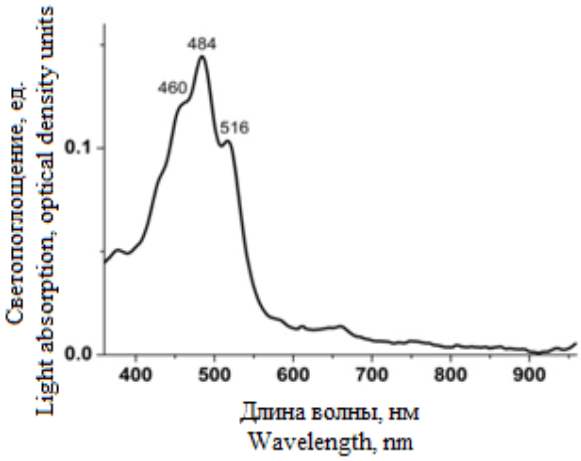


Рисунок 7. Спектр поглощения экстракта пигментов в петролейном эфире
Figure 7. Absorption spectrum of pigment extract in petroleum ether

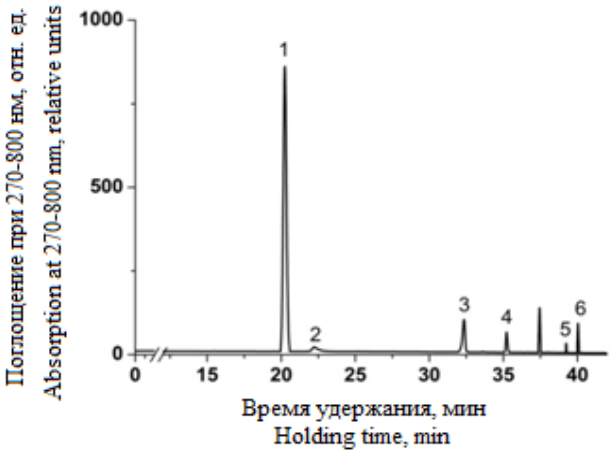


Рисунок 8. Хроматограмма ВЭЖХ-анализа пигментов:
1, 6 – производные фитоина; 2 – торулародин; 3 – торулен; 4 – β-каротин; 5 – фитоин
Figure 8. Chromatogram of HPLC analysis of pigment:
1, 6 – phytoin derivatives; 2 – torularodin; 3 – torulene; 4 – β-carotene; 5 – phytoin

Наряду с каротиноидами, КМРК содержал белки, жиры, минеральные элементы (показатель зольности), растворимые и нерастворимые волокна (табл. 3). В состав его белков входили 18 аминокислот (АК) (рис. 9), среди которых преобладали иммунноактивные аспарагиновая, глютаминовая кислоты, аланин. Скор для всех незаменимых АК у КМРК был выше 100%, что указывало на высокую биологическую ценность белков. Общая сумма незаменимых АК у горохового КМРК равнялась 21,86%, у нутового КМРК – 27,03%, от общего их количества. Скор этих АК на 12–25% выше, чем у КМРК, полученного на той же гороховой сыворотке, но с консорциумом дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121 и гриба *Geotrichum candidum* 977 (табл. 4), для нутовой сыворотки – на 6–17%, при том, что белки у обоих КМРК были биологически полноценные.

Жирнокислотный состав липидов КМРК включал 20% насыщенных и 78% ненасыщенных жирных кислот (табл. 5), соотношение жирных кислот (насыщенные: моноеновые: полиеновые) равнялось 20:33:45, что

приравнивало их к липидам арахиса, томатов, кунжута и оливкового рафинированного масла. Среди ненасыщенных жирных кислот присутствовали линолевая кислота (ω=6), олеиновая (ω=9) и пальмитолеиновая кислота (ω=7). Среди насыщенных жирных кислот большая доля приходилась на пальмитиновую кислоту (13,70%), меньшая – на лауриновую кислоту с антибиотической активностью и стеариновую кислоту: 1,56±0,45% и 1,41±0,21%, соответственно. На долю душистых веществ (альдегид, эфир, кетон) приходилось в сумме 1,27%. Таким образом, липиды и каротиноиды КМРК в организме животных могут принимать активное участие в обмене веществ не только как энергетический материал, но и как компоненты, включающиеся в синтез гормонов, витаминов и других биологически активных соединений.

Токсикологическая оценка КМРК, выполненная биотестированием с биологическими моделями из одноклеточной инфузории *Tetrahymena pyriformis* [52], показала, что в течение 24 часов концентрат стимулировал ее рост. На это указывало большее на 29,1% значение коэффициента роста микроорганизма, по сравнению с коэффициентом роста на дистиллированной воде (рис. 10). Нутовая сыворотка также являлась стимулирующей средой для дрожжей, коэффициент роста инфузорий выше на 18,6%, по сравнению с контролем. Картофельная сыворотка, наоборот, угнетала рост клеток инфузорий, возможно из-за гликоалколоидов.

Таблица 3. Каротиноидный состав горохового КМРК
Table 3. Carotenoid composition of pea FMPC

№	**Каротиноиды** Carotinoids	**Время удержания с колонки, мин** Column retention time, min	**Absorption maxima, nm**	**Площадь пика** Peak area	**Mol %**
1	Производное фитоина Phytoin derivative	20,241	272/281/293	261842	90,6
2	Торулародин Torularodine	22,224	470/491/527	2746	1,0
3	Торулен Thorulen	32,340	458/487/519	9821	3,4
4	β-Каротин β-carotene	35,213	429/452/479	3664	1,3
5	Фитоин Phytoin	39,240	270/282/293	1912	0,7
6	Производное фитоина Phytoin derivative	40,038	271/282/293	8998	3,1

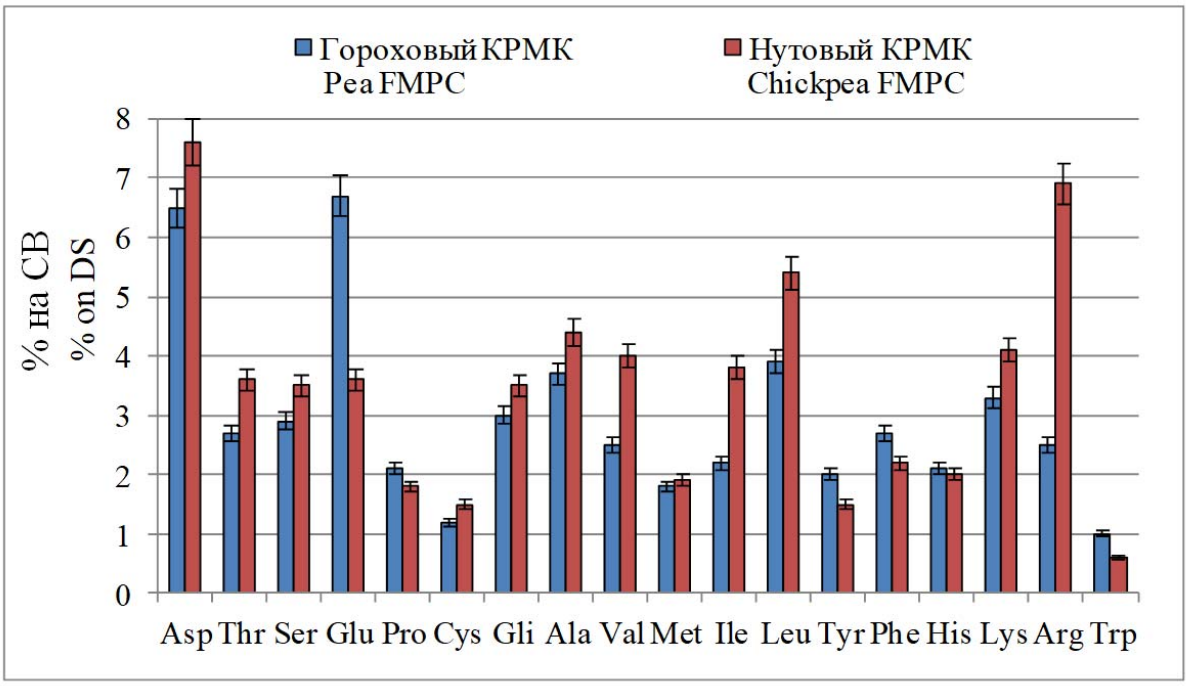


Рисунок 9. Аминокислотный состав горохового и нутового КМРК
Figure 9. Amino acid composition of pea and chickpea FMPCs

Таблица 4. Химический состав горохового и нутового КМРК
Table 4. Chemical composition of pea and chickpea FMPCs

Массовая доля влаги, % Moisture, %	**Массовая доля, % на СВ** / Mass fraction, % on DS							
	Белок (Nx6,25) Protein	**Жир** Lipids	**Зола** Ash	**Волокна** / Fiber				
				Растворимые Soluble	Нерастворимые Insoluble			
6,76±0,11	58,90±3,03	1,20±0,06	4,53±0,23	9,33±0,46	26,04±0,26			
Аминокислотный скор КМРК, % / Amino acid score of the FMPC, %								
Val	His	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Thr	Trp	Phe+Tyr
Гороховый / Pea								
R. mucilaginosa								
120	243	136	119	129	240	201	272	221
S. cerevisiae + *G. candidum*								
107	219	124	107	116	226	179	247	197
Нутовый / Chickpea								
R. mucilaginosa								
162	200	203	145	135	242	236	147	143
S. cerevisiae + *G. candidum*								
151	188	197	136	127	225	221	137	135

Таблица 5. Состав жирных кислот КМРК, полученного с дрожжами *R. mucilaginosa* 111
Table 5. Fatty acid composition of FMPCs obtained with the yeast *R. mucilaginosa* 111

№	**Жирные кислоты** Fatty acids	**% к сумме кислот** % to the amount of acids	**№**	**Жирные кислоты** Fatty acids	**% к сумме кислот** % to the amount of acids
1	1,1-dimethoxy-; n-Nonanal dimethyl acetal $C_{11}H_{24}O_2$	0,10±0,03	**10**	9-Hexadecenoic acid Palmitoleic acid $C_{16:1(9)}$	6,46±0,31
2	Decanoic acid Capric acid $C_{10:0}$	0,25±0,10	**11**	Hexadecanic acid Palmitic acid $C_{16:0}$	13,70±0,81
3	Octanedioic acid Suberic acid $C_8H_{14}O_4$	0,06±0,02	**12**	10-Heptadecenoic acid $C_{17}H_{32}O_2$	1,50±0,12
4	Dodecanoic acid Lauric acid $C_{12:0}$	1,56±0,45	**13**	Heptadecanoic acid Margaric acid $C_{17}H_{34}O_2$	0,39±0,09
5	Benzophenone Diphenylketone $(C_6H_5)_2CO$	0,07±0,03	**14**	2-Hydroxyhexadecanoic acid | α-Hydroxypalmitic acid $C_{16}H_{32}O_3$	0,63±0,07
6	Nonanal dimethyl acetal Cinnamic acid butyl ester $C_{13}H_{16}O_2$	0,07±0,03	**15**	9,12-Octadecadienoic acid Linoleic acid $C_{18:2(9,12)}$	45,26±0,10
7	Tetradecanoic acid Myristic acid $C_{14}H_{28}O_2$	0,98±0,26	**16**	9-Octadecenoic acid Oleic acid $C_{18}H_{34}O_2$	24,04±0,76
8	Pentadecanoic acid Pentadecylic acid $C_{15:0}$	1,62±0,30	**17**	6-Octadecenoic acid Petroselic acid $C_{18}H_{34}O_2$	0,88±0,22
9	Heptyl benzoate C_{13} H_{18} O_2 Benzoic acid, heptyl ester	1,03±0,18	**18**	Octadecanoic acid Stearic acid $C_{18}H_{36}O_2$	1,41±0,21

Известно, что сухая сыворотка гороха может быть использована с грибами для производства веган-микопротеина [56]. Нами же показано, что с для штамма *R. mucilaginosa* 111, как и с консорциума *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977 [40], жидкая гороховая сыворотка, остающаяся после получения БК, также являлась эффективной питательной средой для синтеза биомассы, что может удешевлять производство. Несмотря на одинаковую массовую долю белка в биомассе в нашем случае с разными модификаторами (58,90±3,0% и 61,68±0,40% на СВ), преимуществом исследуемой биомассы являлось наличие каротиноидов. Биосинтез каротиноидов, как белков и липидов, в биомассе *R. mucilaginosa* 111 протекал при относительно низкой температуре, что соответствовало данным, показывающим, что некоторые штаммы *Rhodotorula* растут не только при 28–32°C [55; 56], но и при температуре – 20–24°C (*R. gracilis*, *R. glutinis*, *R. mucilaginosa*) [31; 56; 57]. Исследуемый штамм *R. mucilaginosa* 111 наиболее эффективно развивался при температуре еще более низкой (16,9°C), что подтвердило тот факт, что вид питательной среды влияет не только на количественные показатели биомассы [26], но и на температуру ее накопления. Пониженная температура выращивания гриба защитит желудочно-кишечный тракт животных от нежелательных микробиологических процессов, которые, по каким-то причинам, могут возникнуть с данным видом биомассы.

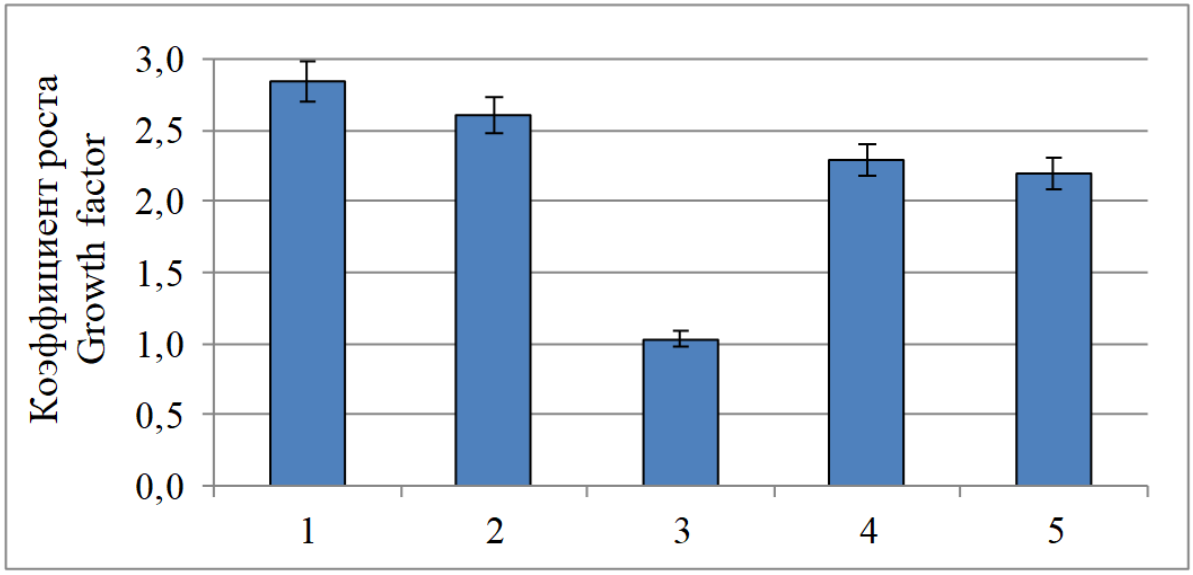


Рисунок 10. Коэффициент роста культуры *Tetrahymena pyriformis* на биомассе различной природы:
1 – гороховая сыворотка, 2 – нутовая сыворотка, 3 – картофельная сыворотка;
4 – консорциум *S. cerevisia* 121 и *G. candidum* 977; 5 – дистиллированная вода
Figure 10. Growth coefficient of *Tetrahymena pyriformis* culture on biomasses of different natures:
1 – pea serum, 2 – chickpea serum, 3 – potato serum; 4 – consortium of *S. cerevisia* 121
and *G. candidum* 977; 5 – distilled water

Гороховая сыворотка – более эффективная питательная среда для роста биомассы, чем нутовая, и особенно – картофельная сыворотка. Продуктивность биомассы *R. mucilaginosa* 111 на гороховой сыворотке выше, чем, например, у дрожжей *R. rubra*, выращенных на фруктовых отходах (7,8 мг/см^3) [19], или дрожжей *R. mucilaginosa* CCY 20-7-31 и *P. glutinis* CCY 20-2-26 (35–40 г/дм^3), произраставших на картофельных отходах [28]. Активное усвоение глюкозы штаммом *R. mucilaginosa* 111 из гороховой сыворотки согласовывалось с данными для других дрожжей. Так, каротиногенные дрожжи *R. toruloides* и *R. glutinis* использовали глюкозу, ксилозу, арабинозу [58–60], глюкоза больше повышала содержание липидов [59]. На важность присутствия глюкозы для увеличения биомассы *R. toruloides Y4* и количества липидов указано и в работе [60]. Усвоение нашим штаммом дрожжей фруктозы и глюкозы совпадало с данными для культуры *R. glutinis* [51; 61]. Однако, из гороховой сыворотки исследуемый штамм усваивал и галактозу, что также не противоречило данным для базидиомицетных дрожжей *R. toruloides*, выделенных из хвойных пород деревьев [62]. Источником энергии для синтеза биомассы и ее компонентов могла быть и сахароза [63], но ее усвоение не наблюдали.

Профиль жирных кислот биомассы *R. mucilaginosa* 111 соотносился с профилем состава других питательных сред и дрожжей. Полиненасыщенные жирные кислоты биомассы дрожжей *Rhodotorula*, *Cystofilobasidiu* и *Sporobolomyces* sp., выращенных на отходах животного жира, также большей частью были представлены линолевой кислотой ($C_{18:2}$) [64], из насыщенных жирных кислот обнаружили пальмитиновую ($C_{16:0}$), стеариновую кислоты ($C_{18:0}$). При ферментации дрожжей на лигноцеллюлозной среде при температуре 25°C в течение 48–72 часов доминирующими жирными кислотами являлись олеиновая ($C_{18:1}$), пальмитиновая ($C_{16:0}$) и линолевая ($C_{18:2}$) кислоты. Жирные кислоты биомассы нашего штамма по количеству располагалось аналогичным образом: больше всего линолевой кислоты (45,26%) и олеиновой кислоты (24,04%); обнаружены пальмитиновая и стеариновые кислоты, как и у *R. toruloides* Y4 [65]. В данной биомассе не было линоленовой кислоты, однако присутствовали также ненасыщенные пальмитолеиновая и 10-гептадеценовая кислоты. Общее количество ненасыщенных жирных кислот для штамма было несколько выше (78,14%), чем, например, у штамма *R. toruloides* Y4 (63,5%), выращенном ферментацией на питательной среде с глюкозой [66].

Основное количество каротиноидов в КМРК приходилось на фитоин и его производные (94,4%), остальное количество – на торулародин, торулен и β-каротин, тогда как, например, дрожжи штаммов *R. glutinis* и *R. rubra* способны синтезировать больше торулародина, торулена и β-каротина. Другим был состав и при использовании, свекловичной мелассы [67]. Это подтвердило то, что состав каротиноидов в значительной степени зависит от вида питательной среды. До настоящего времени нет единого мнения относительно путей синтеза каротиноидов в дрожжах. По мнению Simpson с соавторами [68], вначале из фитоина образуется его производное нейроспорин, который под влиянием ингибиторов или стрессовых факторов трансформируется в ликопен или β-зеакаротин; при циклизации ликопена или дегидрировании β-зеакаротина образуется γ-каротин, а при циклизации γ-каротина, катализируемого β ликопинциклазой, синтезируется окрашенный β-каротин [54]. В присутствии фитоендезатуразы из молекулы γ-каротина образуется торулин, который превращается в торулародин по реакциям гидроксилирования и оксигенации [55]. Фитоин и его производные обнаружены в печени, легких, толстой кишке человека, они защищают кожу от ультрафиолета, действуют как антиоксиданты и противовоспалительные агенты.

Полученная биомасса содержала все описанные здесь компоненты.

Коэффициент роста, определенный для КМРК из гороховой и нутовой сыворотки с инфузорией *Tetrahymena pyriformis* методом, по которому биотестировали корма [69], пищевые добавки [47] и лекарства [70], показал, что концентрат, полученный с *R. mucilaginosa* 111, для одноклеточной инфузории нетоксичный, что позволило сделать вывод об экологической чистоте нового штамма дрожжей и целесообразности дальнейшего тестирования продукта в целях получения его в виде кормовой добавки на животных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные указывали на возможность использования жидкой гороховой сыворотки в качестве субстрата для производства КМРК с новым экологически безопасным штаммом *R. mucilaginosa* 111. Сыворотку получали как вторичный продукт переработки гороховой муки на пищевой концентрат, белки которого из ферментативного экстракта осаждали в изоэлектрической точке. Для синтеза нетоксичной биомассы, содержащей полноценный белок со скором незаменимых АК выше 100%, биологически эффективные липиды и каротиноиды, может использоваться штамм *R. mucilaginosa* 111, выделенный из вод Антарктиды. Провитаминная активность каротиноидов убывала следующим образом: производные фитоина>торулен>β-каротин>торулародин>фитоин. Относительно низкие концентрации каротиноидов в растительном сырье, дефицит полноценного белка для кормления животных и положительные результаты биоконверсии вторичного продукта переработки гороховой муки на белковый концентрат с новым безопасным штаммом *R. mucilaginosa* 111 позволили заключить, что данный процесс может стать перспективным путем для производства микробно-растительного концентрата, а новый штамм из рода *Rhodotorula* – эффективным модификатором для трансформации жидкой сыворотки в биологически активные кормовые добавки и фактором, способствующим снижению нежелательной нагрузки на биосферу в виде производственных стоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Matilde C., Lippolis A., Fava F., Rodolfi L. Microbes: Food for the Future // Foods. 2021. V. 10. N 5. P. 971 DOI: 10.3390/foods10050971
2. Shurson G.C. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients animal feed science and technology // Animal Feed Science and Technology. 2018. V. 235. P. 60–76. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010
3. Martiniano S., Philippini R., Franco-Marcelino P.R. Effect of selenium uptake on growth metabolism in yeasts for the production of enriched single-cell protein using agro-industrial by-products // Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. V. 12. P. 3975–3983. DOI:10.1007/s13399-020-00885-w
4. Kieliszek M., Kot A., Bzducha-Wróbel A., Stanisław Błażejak S. Biotechnological use of Candida yeasts in the food industry: A review // Fungal Biology Reviews. 2017. V. 31. N 4. P. 185–198. DOI: 10.1016/j.fbr.2017.06.001
5. Колодина Е.Н., Артемьева О.А., Котковская Е.Н., Павлюченкова О.В., Переселкова Д.А. Изучение биологической безопасности дрожжей рода *Candida* как потенциального источника кормового белка // Вестник ОрелГАУ. 2016. Т. 5. N 62. С. 72–78. DOI:10.15217/48484
6. Серба Е.М., Соколова Е.Н., Фурсова Н.А., Волкова Г.С., Борщева Ю.А., Курбатова Е.И., Куксова Е.В. Получение биологически активных добавок на основе обогащенной дрожжевой биомассы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. Т. 2. С. 74–79.
7. Frengova G.I., Beshkova D.M., Carotenoids from *Rhodotorula* and *Phaffia*: Yeasts of Biotechnological Importance // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2009. V. 36. N 2. P. 163–180. DOI: 10.1007/s10295-008-0492-9
8. Young A.J., Lowe G.M., Young A.J. and Lowe G.M. Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2001. V. 385. N 1. P. 20–27. DOI: 10.1006/abbi.2000.2149
9. Шашкина М.Я., Шашкин П.Н., Сергеев А.В. Роль каротиноидов в профилактике наиболее распространенных заболеваний. Лекарственная терапия // Российский биотерапевтический журнал. 2010. Т. 9. N 1. С. 77–86.
10. Кузьминова Е.В., Семененко М.П., Кощаев А.Г., Трошин А.Н. Биологические функции каротиноидов при воспроизводстве крупного рогатого скота // Научный журнал КубГАУ. 2017. Т. 129. С. 1124–1136. DOI: 10.21515/1990-4665-129-080
11. Lowe G.M., Booth L.A., Young A.J., Bilton R.F. Lycopene and beta-carotene protect against oxidative damage in HT29 cells at low concentrations but rapidly lose this capacity at higher doses // Free Radical Research. 1999. V. 30. N 2. P. 141–151. DOI: 10.1080/10715769900300151
12. Saini R.K., Keum Y.-S., Daglia M., Rengasamy K.R. Dietary carotenoids in cancer chemoprevention and chemotherapy: A review of emerging evidence // Pharmacological Research. 2020. V. 155. Article Number: 104730. DOI: 10.1016/j.phrs.2020.104730
13. Zhao B., Ren B., Guo R., Zhang W., Ma S., Yao Y., Yuan T., Liu Z., Liu X., Zhao B., et al. Supplementation of lycopene attenuates oxidative stress induced neuroinflammation and cognitive impairment via Nrf2/NF-κB transcriptional pathway // Food and Chemical Toxicology. 2017. V. 109. Pt 1. P. 505–516. DOI: 10.1016/j.fct.2017.09.050
14. Kaulmann A., Bohn T., Kaulmann A., et al. Carotenoids, inflammation, and oxidative stress-implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention // Nutrition Research. 2014. V. 34. N 11. P. 907–929. DOI: 10.1016/j.nutres.2014.07.010
15. Juhyun Shin, Min-Ho Song, Jae-Wook Oh, Young-Soo Keum, Ramesh Kumar Saini, Pro-oxidant Actions of Carotenoids in Triggering Apoptosis of Cancer Cells: A Review of Emerging Evidence // Antioxidants. 2020. V. 9. N 6. p. 532. DOI: 10.3390/antiox9060532
16. Оразова С.Б., Карпенюк Т.А., Шарипов К.О., Азимханова Б.Б., Гончарова А.В. Изучение жирнокислотного состава и антимикробной активности суммарных экстрактов липидов зеленых микроводорослей // Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2017. Т. 3. С. 240–242.
17. Saini R.K., Keum Y-S. Microbial platforms to produce commercially vital carotenoids at industrial scale: An updated review of critical issues // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2019. V. 46. N 5. P. 657–674. DOI: 10.1007/s10295-018-2104-7
18. Кощаев А.Г., Калюжный С.А., Кощаева О.В., Гавриленко Д.В., Елисеев М.А. Функциональные кормовые добавки из каротинсодержащего растительного сырья для птицеводства // Научный журнал КубГАУ. 2013. Т. 93. С. 334–343.
19. Korumilli T., Susmita M. Carotenoid production by *Rhodotorula sp.* on fruit waste extract as a sole carbon source and optimization of key parameters // Iranian Journal of

Chemistry & Chemical Engineering-International. 2014. V. 33. P. 89–99.
20. Tang W., Wang Y., Zhang J., Cai Y., He Z. Biosynthetic Pathway of Carotenoids in *Rhodotorula* and Strategies for Enhanced Their Production // Applied microbiology and biotechnology. 2019. V. 29. N 4. P. 507–517. DOI: 10.4014/jmb.1801.01022
21. Moliné M., Flores M.R., Libkind D., del Carmen D.M., Farías M.E., van Broock M. Photoprotection by carotenoid pigments in the yeast *Rhodotorula mucilaginosa*: the role of torularhodin // Photochemical & Photobiological Sciences. 2010. V. 9. P. 1145–1151. DOI: 10.1039/c0pp00009d
22. Buzzini P., Innocenti M., Turchetti B., Libkind D., van Broock M., Mulinacci N. Carotenoid profiles of yeasts belonging to the genera *Rhodotorula*, *Rhodosporidium*, *Sporobolomyces* and *Sporidiobolus* // Canadian Journal of Microbiology. 2007. V. 53. P. 1024–1031. DOI: 10.1139/W07-068
23. Matselyukh B.P., Matselyukh D.Ya., Golembiovska S.L., Gural S.V. Isolation of *Phaffia rhodozyma* yeasts mutants under increased carotenoid content // Biotechnologia Acta. 2014. V. 7. N 4. P. 49–53. DOI: 10.15407/biotech7.04.049
24. Alakra F., Saygün A., Yeşilçubuk N.S. Biotechnological production of lipids and carotenoids from *Rhodosporidium toruloides* Y27012 // European Journal of Science and Technology. 2020. V. 19. P. 156–164. DOI: 10.31590/ejosat.708556.
25. Wu C.C., Ohashi T., Kajiura H., Sato Y., Misaki R., Honda K., Limtong S., Fujiyama K. Functional characterization and overexpression of Delta 12-desaturase in the oleaginous yeast *Rhodotorula toruloides* for production of linoleic acid-rich lipids // Journal of Bioscience and Bioengineering. 2021. V. 131. N 6. P. 631–639. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2021.02.002
26. Caporusso A., Capece A., De Bari I. Oleaginous Yeasts as Cell Factories for the Sustainable Production of Microbial Lipids by the Valorization of Agri-Food Wastes // Fermentation-Basel. 2021. V. 7. N 2. p. 50. DOI: 10.3390/fermentation7020050
27. Papaniklaou S., Aggelis G. Lipids of oleaginous yeasts. Part I: Biochemistry of single cell oil production // European Journal of Lipid Science and Technology. 2011. V. 113. N 8. P. 1031–1051. DOI: 10.1002/ejlt.201100014
28. Marova I., Carnecka M., Halienova A., Certik M., Dvorakova T., Haronikova A. Use of several waste substrates for carotenoid-rich yeast biomass production // Journal of Environmental Management. 2012. V. 95. P. 338–342. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.06.018
29. Гавриленко Д.В., Кощаев А.Г. Биотехнология получения комплексной кормовой добавки для птицы // Сборник научных трудов КНЦЗВ. 2019. Т. 8. N 3. С. 165–168. DOI: 10.34617/tdf5-y729
30. Abramova I.M., Soloviev A.O., Turshatov M.V., Krivchenko V.A., Kononenko V.V. Protein feedstuff production based on microbial biomass // IOP Conference Series-Earth and Environmental Science. 2020. V. 548. Article number: 082080. DOI: 10.1088/1755-1315/548/8/082080
31. Ng H.S., Kee P.E., Yim H.S., Chen P.-T., Wei Yu-H., Lan J.C.-W. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts // Bioresource Technology. 2020. V. 302. Article number: 122889. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.122889
32. Usmani Z., Sharma M., Sudheer S., Gupta V.K., Rajeev Bhat. R. Engineered Microbes for Pigment Production Using Waste Biomass // Current Genomics. 2020. V. 21. N 2. P. 80–95. DOI: 10.2174/13892029219 99200330152007
33. Kot A.M., Błażejak S., Kieliszek M., Gientka I., Bryś J., Reczek L., Pobiega K. Effect of exogenous stress factors on the biosynthesis of carotenoids and lipids by *Rhodotorula* yeast strains in media containing agro-industrial waste // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2019. V. 35. N 10. 157 p. DOI: 10.1007/s11274-019-2732-8
34. Kot A., Błażejak S. Production of lipids and carotenoids by Rhodotorula gracilis ATCC 10788 yeast in a bioreactor using low-cost wastes // Biocatalysis and agricultural biotechnology. 2020. V. 26. N 4. Article id: 101634. DOI: 10.1016/j.bcab.2020.101634
35. Bertacchi S., Pagliari S., Cantù C., Bruni I., Labra M., Branduardi P. Enzymatic Hydrolysate of Cinnamon Waste Material as Feedstock for the Microbial Production of Carotenoids // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. V. 18. N 3. Article id: 1146. DOI: 10.3390/ijerph18031146
36. Frengova G., Simova E., Beshkova D. Use of whey ultrafiltrate as a substrate for production of carotenoids by the yeast *Rhodotorula rubra* // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2004. V. 112. N 3. P. 133–141. DOI: 10.1385/abab:112:3:133
37. Qi F., Shen P., Hu R., Xue T., Jiang X., Qin L., Chen Y., Huang J. Carotenoids and lipid production from *Rhodosporidium toruloides* cultured in tea waste hydrolysate // Biotechnology for Biofuels. 2020. V. 13. N 74. DOI: 10.1186/s13068-020-01712-0
38. Schneider T., Graeff-Hönninger P.S. Lipid and carotenoid production by oleaginous red yeast Rhodotorula glutinis cultivated on brewery effluents // Energy. 2013. V. 61. N 1. P. 34–43. DOI: 10.1016/j.energy.2012.12.026
39. Libkind D., van Broock M. Biomass and carotenoid pigment production by Patagonian native yeasts // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2006. V. 22. N 7. P. 687–692. DOI: 10.33448/rsd-v9i4.3057
40. Куликов Д.С., Колпакова В.В., Уланова Р.В., Чумикина Л.В., Бессонов В.В. Биологическая переработка зерна гороха с получением пищевых и кормовых белковых концентратов // Биотехнология. 2020. Т. 36. N 4. С. 49–58. DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-4-49-58
41. Гольдштейн В.Г., Коваленок В.А., Кривцун Л.В. и др. Изучение параметров, влияющих на коагуляцию белка картофельного сока // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. N 5. С. 78–80. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10520
42. Семенов Г.В. Вакуумная сублимационная сушка. Москва: ДеЛи плюс, 2013. 264 с.
43. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М.: Стандартинформ, 2009, 8 с.
44. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. М.: Стандартинформ, 2009. 6 с.
45. ГОСТ Зерно. Метод определения зольности. Стандартинформ, 2019. 20 с.
46. ГОСТ 29033-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира. Стандартинформ, 2004. 5 с.
47. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. Пищевая химия: Лабораторный практикум. Пособие для вузов / под ред. А.П. Нечаева. СПб: ГИОРД, 2006, 304 с.
48. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation, Rome: FAO, 2013. 66 p.
49. ISO 13903:2005. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. Стандарт информ, 2020. 20 с.
50. Ashikhmin A., Makhneva Z., Bolshakov M., Moskalenko A. Incorporation of spheroidene and spheroidenone into light-harvesting complexes from purple sulfur bacteria // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2017. V. 170. P. 99–107. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2017.03.020
51. Gall A., Henry S., Takaichi S., Robert B., Cogdell R.J. Preferential incorporation of coloured-carotenoids occurs in the LH2 complexes from non-sulphur purple bacteria under carotenoid-limiting conditions // Photosynthesis Research. 2005. V. 86. P. 25–35. DOI: 10.1007/s11120-005-3481-0
52. Черемных Е.Г., Кулешин А.В., Кулешина О.Н. Биотестирование пищевых добавок на инфузориях // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2011. Т. 3. С. 5–12.

53. Latha B.V., Jeevaratnam K., Murali H.S., Manja K.S. Influence of growth factors on carotenoid pigmentation of *Rhodotorula glutinis* DFR-PDY from natural source // Indian Journal of Biotechnology. 2005. V. 4. P. 353–357.
54. Kot A.M., Błażejak S., Kurcz A., Gientka I., Kieliszek M. *Rhodotorula glutinis* –potential source of lipids, carotenoids, and enzymes for use in industries // Applied Microbiology and Biotechnology. 2016. V. 100. N 14. P. 6103–6117. DOI: 10.1007/S00253-016-7611-8
55. Goodwin T.W. Biosynthesis of carotenoids. The biochemistry of the carotenoids, vol. 1. Chapman and Hall / In: Goodwin TW (ed), 1980. P. 33–76. DOI: 10.1007/978-94-009-5860-9_2
56. Souza Filho P.F., Nair R.B., Andersson D., Lennartsson P.R., Taherzadeh M.J. Vegan-mycoprotein concentrate from pea-processing industry byproduct using edible filamentous fungi // Fungal Biology and Biotechnology. 2018. V. 2. N 5. pp. 5. DOI: 10.1186/s40694-018-0050-9
57. Zhang Z., Zhang X., Tan T. Lipid and carotenoid production by *Rhodotorula glutinis* under irradiation/high-temperature and dark/low-temperature cultivation // Bioresource Technology. 2014. V. 157. P. 149–153. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.039
58. Vijayalakshmi G., Shobha B., Vanajakshi V., Divakar S., Manohar B. Response surface methodology for optimization of growth parameters for the production of carotenoids by a mutant strain of *Rhodotorula gracilis* // European Food Research and Technology. 2001. V. 213. N 3. P. 234–239. DOI: 10.1007/s002170100356
59. Bhosale P., Gadre R.V. Manipulation of temperature and illumination conditions for enhanced beta-carotene production by mutant 32 of *Rhodotorula glutinis* // Letters in Applied Microbiology. 2002. V. 34. N 5. P. 349–353. DOI: 10.1046/j.1472-765x.2002.01095.x
60. Cescut J., Fillaudeau L., Molina-Jouve C., Uribelarrea J.-L. Carbon accumulation in *Rhodotorula glutinis* induced by nitrogen limitation // Biotechnology for Biofuels. 2014. V. 7. pp. 164. DOI: 10.1186/s13068-014-0164-0
61. Wiebe M.G., Koivuranta K., Penttila M., Ruohonen L. Lipid production in batch and fed-batch cultures of *Rhodosporidium toruloides* from 5 and 6 carbon carbohydrates // BMC Biotechnology. 2012. V. 12. N 1. pp. 26. DOI: 10.1186/1472-6750-12-26
62. Yaegashi J., Kirby J., Ito M., Sun J., Dutta T., Mirsiaghi M., Sundstrom E.R., Rodriguez A., Baidoo E., Tanjore D., Pray T. *Rhodosporidium toruloides*: a new platform organism for conversion of lignocellulose into terpene biofuels and bioproducts // Biotechnology for Biofuels. 2017. V. 10. N 1. pp. 241. DOI: 10.1186/s13068-017-0927-5
63. Tkachenko A., Tigunova E., Schulga S. Microbial lipids are an alternative raw material for biofuel // Microbiology and Biotechnology. 2012. V. 3. P. 17–33. DOI: 10.18524/2307-4663.2012.3(19).92616
64. Szotkowski M., Byrtusova D., Haronikova A., Vysoka M., Rape M., Shapaval V., Marova I. Study of Metabolic Adaptation of Red Yeasts to Waste Animal Fat Substrate // Microorganisms. 2019. V. 7. N 11. pp. 578. DOI: 10.3390/microorganisms7110578
65. Zhao X., Hu C., Wu S., Shen H., Zhao Z. Lipid production by *Rhodosporidium toruloides* Y4 using different substrate feeding strategies // Journal of industrial microbiology and biotechnology. 2011. V. 38. P. 627–632. DOI: 10.1007/s10295-010-0808-4
66. Li Y., Zhao Z. (Kent), Bai F., High-density cultivation of oleaginous yeast *Rhodosporidium toruloides* Y4 in fed-batch culture // Enzyme and Microbial Technology. 2007. V. 41. P. 312–317. DOI: 10.1016/j.enzmictec.2007.02.008
67. Червякова О.П. Получение микробной биомассы, обогащенной каротиноидами // Успехи в химии и химической технологии. 2010. Т. 24. N 11(116). С. 51–53.
68. Simpson K.O., Nakayama T.S., Chichester S.O. Biosynthesis of yeast carotenoids // Journal of Bacteriology. 1964. V. 88. N 6. P. 1688–1694.
69. Демиденко Г.А., Шуранов В.В. Оценка токсичности кормов с использованием инфузорий *Paramecium caudatum* // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. С. 5–11.
70. Серегина О.Б., Леонидов Н.Б. Простейшие как альтернативный биологический тест-объект в фармации // Фармация. 2003. Т. 4. С. 43–45.

REFERENCES

1. Matilde C., Lippolis A., Fava F., Rodolfi L. Microbes: Food for the Future. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 5, p. 971. DOI: 10.3390/foods10050971
2. Shurson G.C. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients animal feed science and technology. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, vol. 235, pp. 60–76. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010
3. Martiniano S., Philippini R., Franco-Marcelino P.R. Effect of selenium uptake on growth metabolism in yeasts for the production of enriched single-cell protein using agro-industrial by-products. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020, 7 pp. DOI: 10.1007/s13399-020-00885-w
4. Kieliszek M., Kot A., Bzducha-Wróbel A., Stanisław Błażejak S. Biotechnological use of Candida yeasts in the food industry: A review. *Fungal Biology Reviews*, 2017, vol. 31, no. 4, pp. 185–198. DOI: 10.1016/j.fbr.2017.06.001
5. Kolodina E.N., Artem'eva O.A., Kotkovskaya E.N., Pavlyuchenkova O.V., Pereselkova D.A. The study of the biological safety of yeast of the genus Candida as a potential source of feed protein. *Vestnik OrelGAU*, 2016, vol. 5, no. 62, pp. 72–78. (In Russian) DOI: 10.15217/48484
6. Serba E.M., Sokolova E.N., Fursova N.A., Volkova G.S., Borshcheva Yu.A., Kurbatova E.I., Kuksova E.V. Obtaining biologically active additives based on enriched yeast biomass. Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2018, vol. 2, pp. 74–79. (In Russian)
7. Frengova G.I., Beshkova D.M., Carotenoids from *Rhodotorula* and *Phaffia*: Yeasts of Biotechnological Importance. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2009, vol. 36, no. 2, pp. 163–180. DOI: 10.1007/s10295-008-0492-9
8. Young A.J., Lowe G.M., Young A.J. and Lowe G.M. Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2001, vol. 385, no. 1, pp. 20–27. DOI: 10.1006/abbi.2000.2149
9. Shashkina M.Ya., Shashkin P.N., Sergeev A.V. The role of carotenoids in the prevention of the most common diseases. Drug therapy. Rossiiskii bioterapevticheskii zhurnal [Russian Journal of Biotherapy]. 2010, vol. 9, no. 1, pp. 77–86. (In Russian)
10. Kuzminova E.V., Semenenko M.P., Koshchaev A.G., Troshin A.N. Biological functions of carotenoids in the reproduction of cattle. *Scientific journal of KubGAU*, 2017, vol. 129, pp. 1124–1136. (In Russian) DOI: 10.21515/1990-4665-129-080
11. Lowe G.M., Booth L.A., Young A.J., Bilton R.F. Lycopene and beta-carotene protect against oxidative damage in HT29 cells at low concentrations but rapidly lose this capacity at higher doses. *Free Radical Research*, 1999, vol. 30, no. 2, pp. 141–151. DOI: 10.1080/10715769900300151
12. Saini R.K., Keum Y.-S., Daglia M., Rengasamy K.R. Dietary carotenoids in cancer chemoprevention and chemotherapy: A review of emerging evidence. *Pharmacological Research*, 2020, vol. 155, article number: 104730. DOI: 10.1016/j.phrs.2020.104730
13. Zhao B., Ren B., Guo R., Zhang W., Ma S., Yao Y., Yuan T., Liu Z., Liu X., Zhao B., et al. Supplementation of lycopene attenuates oxidative stress induced neuroinflammation and cognitive impairment via Nrf2/NF-κB transcriptional pathway. *Food and*

Chemical Toxicology, 2017, vol. 109, pt. 1, pp. 505–516. DOI: 10.1016/j.fct.2017.09.050
14. Kaulmann A., Bohn T. Carotenoids, inflammation, and oxidative stress-implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention. *Nutrition Research*, 2014, vol. 34, no. 11, pp. 907–929. DOI: 10.1016/j.nutres.2014.07.010
15. Juhyun Shin, Min-Ho Song, Jae-Wook Oh, Young-Soo Keum and Ramesh Kumar Saini, Pro-oxidant Actions of Carotenoids in Triggering Apoptosis of Cancer Cells: A Review of Emerging Evidence. *Antioxidants,* 2020, vol. 9, p. 532. DOI: 10.3390/antiox9060532
16. Orazova S.B., Karpenyuk T.A., Sharipov K.O., Azimkhanova B.B., Goncharova A.V. Study of the fatty acid composition and antimicrobial activity of total lipid extracts of green microalgae. Vestnik Kazakhskogo Natsional'nogo meditsinskogo universiteta [Bulletin of the Kazakh National Medical University]. 2017, vol. 3, pp. 240–242. (In Russian)
17. Saini R.K., Keum Y-S. Microbial platforms to produce commercially vital carotenoids at industrial scale: An updated review of critical issues. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2019, vol. 46, no. 5, pp. 657–674. DOI: 10.1007/s10295-018-2104-7
18. Koschaev A.G., Kalyuzhny S.A., Koschaeva O.V., Gavrilenko D.V., Eliseev M.A. Functional feed additives from carotene-containing vegetable raw materials for poultry farming. Nauchnyi zhurnal KubGAU [Scientific journal of KubGAU]. 2013, vol. 93, pp. 334–343. (In Russian)
19. Korumilli T., Susmita M. Carotenoid production by *Rhodotorula sp.* on fruit waste extract as a sole carbon source and optimization of key parameters. Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering-International*.* 2014, vol. 33, pp. 89–99.
20. Tang W., Wang Y., Zhang J., Cai Y., He Z. Biosynthetic Pathway of Carotenoids in *Rhodotorula* and Strategies for Enhanced Their Production. *Applied microbiology and biotechnology*, 2019, vol. 29, no. 4, pp. 507–517. DOI: 10.4014/jmb.1801.01022
21. Moliné M., Flores M.R., Libkind D., del Carmen D.M., Farías M.E., van Broock M. Photoprotection by carotenoid pigments in the yeast *Rhodotorula mucilaginosa*: the role of torularhodin. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2010, vol. 9, pp. 1145–1151. DOI: 10.1039/c0pp00009d
22. Buzzini P., Innocenti M., Turchetti B., Libkind D., van Broock M., Mulinacci N. Carotenoid profiles of yeasts belonging to the genera *Rhodotorula, Rhodosporidium, Sporobolomyces*, and *Sporidiobolus*. *Canadian Journal of Microbiology*, 2007, vol. 53, pp. 1024–1031. DOI: 10.1139/W07-068
23. Matselyukh B.P., Matselyukh D.Ya., Golembiovska S.L., Gural S.V. Isolation of *Phaffia rhodozyma* yeasts mutants under increased carotenoid content. *Biotechnologia Acta,* 2014, vol. 7, no. 4, pp. 49–53. DOI: 10.15407/biotech7.04.049
24. Alakra F., Saygün A., Yeşilçubuk N.S. Biotechnological production of lipids and carotenoids from *Rhodosporidium toruloides* Y27012. *European Journal of Science and Technology*, 2020, vol. 19, pp. 156–164. DOI: 10.31590/ejosat.708556
25. Wu C.C., Ohashi T., Kajiura H., Sato Y., Misaki R., Honda K., Limtong S., Fujiyama K. Functional characterization and overexpression of Delta 12-desaturase in the oleaginous yeast *Rhodotorula toruloides* for production of linoleic acid-rich lipids. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2021, vol. 131, no. 6, pp. 631–639. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2021.02.002
26. Caporusso A., Capece A., De Bari I. Oleaginous Yeasts as Cell Factories for the Sustainable Production of Microbial Lipids by the Valorization of Agri-Food Wastes. *Fermentation-Basel*, 2021, vol. 7, no. 2, p. 50. DOI: 10.3390/fermentation7020050
27. Papaniklaou S., Aggelis G. Lipids of oleaginous yeasts. Part I: Biochemistry of single cell oil production. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2011, vol. 113, no. 8, pp. 1031–1051. DOI: 10.1002/ejlt.201100014
28. Marova I., Carnecka M., Halienova A., Certik M., Dvorakova T., Haronikova A. Use of several waste substrates for carotenoid-rich yeast biomass production. *Journal of Environmental Management*, 2012, vol. 95, pp. 338–342. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.06.018
29. Gavrilenko D.V., Koshaev A.G. Biotechnology for obtaining a complex feed additive for poultry. *Collection of scientific papers KNTsZV*, 2019, vol. 8, no. 3, pp. 165–168. (In Russian) DOI: 10.34617/tdf5-y729
30. Abramova I.M., Soloviev A.O., Turshatov M.V., Krivchenko V.A., Kononenko V.V. Protein feedstuff production based on microbial biomass. *IOP Conference Series-Earth and Environmental Science,* 2020, vol. 548, article number: 082080. DOI: 10.1088/1755-1315/548/8/082080
31. Ng H.S., Kee P.E., Yim H.S., Chen P.-T., Wei Yu-H., Lan J.C.-W. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. *Bioresource Technology,* 2020, vol. 302, article number: 122889. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.122889
32. Usmani Z., Sharma M., Sudheer S., Gupta V.K., Rajeev Bhat. R. Engineered Microbes for Pigment Production Using Waste Biomass. *Current Genomics*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 80–95. DOI: 10.2174/13892029219 99200330152007
33. Kot A.M., Błażejak S., Kieliszek M., Gientka I., Bryś J., Reczek L., Pobiega K. Effect of exogenous stress factors on the biosynthesis of carotenoids and lipids by *Rhodotorula* yeast strains in media containing agro-industrial waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2019, vol. 35, no. 10, pp. 157. DOI: 10.1007/s11274-019-2732-8
34. Kot A., Błażejak S. Production of lipids and carotenoids by *Rhodotorula gracilis* ATCC 10788 yeast in a bioreactor using low-cost wastes. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 2020, vol. 26, no. 4, article number: 101634. DOI: 10.1016/j.bcab.2020.101634
35. Bertacchi S., Pagliari S., Cantù C., Bruni I., Labra M., Branduardi P. Enzymatic Hydrolysate of Cinnamon Waste Material as Feedstock for the Microbial Production of Carotenoids. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, vol. 18, no. 3, article number: 1146. DOI: 10.3390/ijerph18031146
36. Frengova G., Simova E., Beshkova D. Use of whey ultrafiltrate as a substrate for production of carotenoids by the yeast *Rhodotorula rubra*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2004, vol. 112, no. 3, pp. 133–141. DOI: 10.1385/abab:112:3:133
37. Qi F., Shen P., Hu R., Xue T., Jiang X., Qin L., Chen Y., Huang J. Carotenoids and lipid production from *Rhodosporidium toruloides* cultured in tea waste hydrolysate. *Biotechnology for Biofuels*, 2020, vol. 13, no. 74. DOI: 10.1186/s13068-020-01712-0
38. Schneider T., Graeff-Hönninger P.S. Lipid and carotenoid production by oleaginous red yeast *Rhodotorula glutinis* cultivated on brewery effluents. *Energy*, 2013, vol. 61, no. 1, pp. 34–43. DOI: 10.1016/j.energy.2012.12.026
39. Libkind D., van Broock M. Biomass and carotenoid pigment production by Patagonian native yeasts. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2006, vol. 22, no. 7, pp. 687–692. DOI: 10.33448/rsd-v9i4.3057
40. Kulikov D.S., Kolpakova V.V., Ulanova R.V., Chumikina L.V., Bessonov V.V. Biological processing of pea grain to obtain food and feed protein concentrates. *Biotechnology*, 2020, vol. 36, no. 4, pp. 49–58. (In Russian) DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-4-49-58
41. Goldstein V.G., Kovalenok V.A., Krivtsun L.V. et al. Investigation of parameters influencing coagulation of protein in potato juice. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, 2018, vol. 32, no. 5, pp. 78-80. (In Russian) DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10520
42. Semenov G.V. *Vakuumnaya sublimatsionnaya sushka* [Vacuum freeze drying]. Moscow. DeLi plus Publ., 2013, 264 p. (In Russian)

43. *GOST 10846-91. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya belka* [GOST 10846-91. Grain and products of its processing. Protein determination method]. Moscow, Standartinform Publ., 2009, 8 p. (In Russian)
44. *GOST 13586.5-93. Zerno. Metod opredeleniya vlazhnosti* [GOST 13586.5-93. Corn. Moisture determination method]. Moscow, Standartinform Publ., 2009, 6 p. (In Russian)
45. *GOST Zerno. Metod opredeleniya zol'nosti* [GOST 10847-2019. Corn. Ash content determination method]. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 20 p. (In Russian)
46. *GOST 29033-91. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya zhira* [GOST 29033-91. Grain and products of its processing. Fat determination method]. Standards Publ., 2004, 5 p. (In Russian)
47. Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A. et. al. *Pishchevaya khimiya: Laboratornyy praktikum. Posobiye dlya vuzov* [Food Chemistry: Laboratory Workshop. Allowance for universities]. St. Petersburg, GIORD Publ., 2006, 304 p. (In Russian)
48. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation, Rome: FAO. 2013, 66 p.
49. *ISO 13903:2005. Korma, kombikorma. Metod opredeleniya soderzhaniya aminokislot* [ISO 13903:2005. Feeds, compound feeds. Method for determination of amino acids]. Moscow, Standartinform Publ, 2020, 20 p. (In Russian)
50. Ashikhmin A., Makhneva Z., Bolshakov M., Moskalenko A. Incorporation of spheroidene and spheroidenone into light-harvesting complexes from purple sulfur bacteria. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2017, vol. 170, pp. 99–107. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2017.03.020
51. Gall A., Henry S., Takaichi S., Robert B., Cogdell R.J. Preferential incorporation of coloured-carotenoids occurs in the LH2 complexes from non-sulphur purple bacteria under carotenoid-limiting conditions. *Photosynthesis Research*, 2005, vol. 86, pp. 25–35. DOI:10.1007/s11120-005-3481-0
52. Cheremnykh E.G., Kuleshin A.V., Kuleshina O.N. Biotesting of food additives on ciliates. Vestnik RUDN, seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Bulletin of RUDN University, series Ecology and life safety]. 2011, vol. 3, pp. 5–12. (In Russian)
53. Latha B.V., Jeevaratnam K., Murali H.S., Manja K.S. Influence of growth factors on carotenoid pigmentation of *Rhodotorula glutinis* DFR-PDY from natural source. *Indian Journal of Biotechnology*. 2005, vol. 4, pp. 353–357.
54. Kot A.M., Błażejak S., Kurcz A., Gientka I., Kieliszek M. *Rhodotorula glutinis* –potential source of lipids, carotenoids, and enzymes for use in industries. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2016, vol. 100, no. 14, pp. 6103–6117. DOI: 10.1007/s00253-016-7611-8
55. Goodwin T.W. Biosynthesis of carotenoids. The biochemistry of the carotenoids, vol 1. Chapman and Hall. In: Goodwin T.W. (ed). 1980, pp. 33–76. DOI: 10.1007/978-94-009-5860-9_2
56. Souza Filho P.F., Nair R.B., Andersson D., Lennartsson P.R., Taherzadeh M.J. Vegan-mycoprotein concentrate from pea-processing industry byproduct using edible filamentous fungi. *Fungal Biology and Biotechnology*, 2018, vol. 2, no. 5, p. 5. DOI: 10.1186/s40694-018-0050-9
57. Zhang Z., Zhang X., Tan T. Lipid and carotenoid production by *Rhodotorula glutinis* under irradiation/high-temperature and dark/low-temperature cultivation. *Bioresource Technology*, 2014, vol. 157, pp. 149–153. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.039
58. Vijayalakshmi G., Shobha B., Vanajakshi V., Divakar S., Manohar B. Response surface methodology for optimization of growth parameters for the production of carotenoids by a mutant strain of *Rhodotorula gracilis*. *European Food Research and Technology*, 2001, vol. 213, no. 3, pp. 234–239. DOI: 10.1007/s002170100356
59. Bhosale P., Gadre R.V. Manipulation of temperature and illumination conditions for enhanced beta-carotene production by mutant 32 of *Rhodotorula glutinis*. *Letters in Applied Microbiology*, 2002, vol. 34, no. 5, pp. 349–353. DOI: 10.1046/j.1472-765x.2002.01095.x
60. Cescut J., Fillaudeau L., Molina-Jouve C., Uribelarrea J.-L. Carbon accumulation in *Rhodotorula glutinis* induced by nitrogen limitation. *Biotechnology for Biofuels*, 2014, vol. 7, no. 164. DOI: 10.1186/s13068-014-0164-0
61. Wiebe M.G., Koivuranta K., Penttila M., Ruohonen L. Lipid production in batch and fed-batch cultures of *Rhodosporidium toruloides* from 5 and 6 carbon carbohydrates. *BMC Biotechnology*, 2012, vol. 12, no. 1, pp. 26. DOI: 10.1186/1472-6750-12-26
62. Yaegashi J., Kirby J., Ito M., Sun J., Dutta T., Mirsiaghi M., Sundstrom E.R., Rodriguez A., Baidoo E., Tanjore D., Pray T. *Rhodosporidium toruloides*: a new platform organism for conversion of lignocellulose into terpene biofuels and bioproducts. *Biotechnology for Biofuels*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 241. DOI: 10.1186/s13068-017-0927-5
63. Tkachenko A., Tigunova E., Schulga S. Microbial lipids are an alternative raw material for biofuel. *Microbiology and Biotechnology*, 2012, vol. 3, pp. 17–33. DOI: 10.18524/2307-4663.2012.3(19).92616
64. Szotkowski M., Byrtusova D., Haronikova A., Vysoka M., Rape M., Shapaval V., Marova I. Study of Metabolic Adaptation of Red Yeasts to Waste Animal Fat Substrate. *Microorganisms*, 2019, vol. 7, no. 11, pp. 578. DOI: 10.3390/microorganisms7110578
65. Zhao X., Hu C., Wu S., Shen H., Zhao Z. Lipid production by *Rhodosporidium toruloides* Y4 using different substrate feeding strategies. *Journal of industrial microbiology and biotechnology*, 2011, vol. 38, no. 5. pp. 627–632. DOI: 10.1007/s10295-010-0808-4
66. Li Y., Zhao Z. Kent, Bai F., High-density cultivation of oleaginous yeast *Rhodosporidium toruloides* Y4 in fed-batch culture. *Enzyme and Microbial Technology*, 2007, vol. 41, pp. 312–317. DOI: 10.1016/j.enzmictec.2007.02.008
67. Chervyakova O.P. Obtaining microbial biomass enriched with carotenoids. Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]. 2010, vol. 24, no. 11(116), pp. 51–53. (In Russian)
68. Simpson K.O., Nakayama T.S., Chichester S.O. Biosynthesis of yeast carotenoids. Journal of Bacteriology. 1964, vol. 88, no. 6, pp. 1688–1694.
69. Demidenko G.A., Shuranov V.V. Evaluation of feed toxicity using Paramecium caudatum ciliates. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2015, vol. 10, pp. 5–11. (In Russian)
70. Seregina O.B., Leonidov N.B. Protozoa as an alternative biological test object in pharmacy. Farmatsiya [Pharmacy]. 2003, vol. 4, pp. 43–45. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Валентина В. Колпакова спланировала научную работу, обработала и проанализировала данные, написала рукопись. Рузалия В. Уланова получила экспериментальные данные, написала рукопись. Дмитрий С. Куликов получил экспериментальные

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Valentina V. Kolpakova planned, processed and analysed the material and participated in writing the manuscript. Ruzaliya V. Ulanova obtained experimental and participated in writing the manuscript. Denis S. Kulikov obtained experimental data, designed the tables, graphic material

данные, оформил таблицы, графический материал, литературу. Валентина А. Гулакова провела опыты и получила результаты. Лина В. Васильева описала методики выращивания штамма, оформила результаты. Юлия Ю. Берестовская, Елена Г. Черемных, Александр А. Ашихмин получили экспериментальные данные. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

and sourced literature. Valentina A. Gulakova conducted experiments and obtained results. Lina V. Vasilyeva described methods for growing the strain and undertook presentation of the results. Yulia Yu. Berestovskaya, Elena G. Cheremnykh and Alexander A. Ashikhmin obtained experimental data. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Валентина В. Колпакова / Valentina V. Kolpakova https://orcid.org/0000-0002-7288-8569
Рузалия В. Уланова / Ruzaliya V. Ulanova https://orcid.org/0000-0002-6315-721
Денис С. Куликов / Denis S. Kulikov https://orcid.org/0000-0003-2171-0522
Валентина А. Гулакова / Valentina A. Gulakova https://orcid.org/0000-0001-8393-9256
Лина В. Васильева / Lina V. Vasilyeva https://orcid.org/0000-0002-9811-9602
Юлия Ю. Берестовская / Yulia Yu. Berestovskaya https://orcid.org/0000-0002-6185-820X
Елена Г. Черемных / Elena G. Cheremnykh https://orcid.org/0000-0001-5166-4462
Александр А. Ашихмин / Alexander A. Ashikhmin https://orcid.org/0000-0001-6978-8017

Оригинальная статья / Original article
УДК 632.4 (632.9)
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-79-87

Изучение влияния комбинированного фунгицида Абакус Ультра на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы

Мария С. Гвоздева, Галина В. Волкова
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Краснодар, Россия

Контактное лицо
Мария С. Гвоздева, аспирант, н.с. лаб. иммунитета растений к болезням, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039 Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, п/о 39.
Тел. +79189791801
Email maria-v23@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-9141-6647

Формат цитирования
Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Изучение влияния комбинированного фунгицида Абакус Ультра на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 79-87. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-79-87

Получена 6 августа 2022 г.
Прошла рецензирование 20 сентября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. Изучить изменчивость внутрипопуляционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы (*Puccinia triticina* Erikss.) по признакам патогенности под воздействием комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ.

Материал и методы. Исследования проводили в тепличном комплексе ФГБНУ ФНЦБЗР на восприимчивом к бурой ржавчине сорте озимой пшеницы Краснодарская 99. Материалом исследования являлся комбинированный фунгицид Абакус Ультра, СЭ с нормами применения 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 л/га. Работа выполнена по общепринятым методикам.

Результаты. Установлено влияние разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на вирулентность популяции *P. triticina*. Показатель варьировал от 40,0% (контроль (без обработки)) до 19,5% (норма применения фунгицида 1,75 л/га). Изменился фенотипический состав популяции гриба. Выявлено 5 различных фенотипов. Установлено снижение жизнеспособности спор *P. triticina* с увеличением нормы применения фунгицида. Показатель изменялся от 69,1% (0,75 л/га) до 29,2% (1,75 л/га). Отмечено снижение агрессивности популяции возбудителя бурой ржавчины с увеличением нормы применения препарата. Биологическая эффективность фунгицида Абакус Ультра, СЭ против патогена составила 95,3–97,8% при рекомендованной норме применения 1,0–1,5 л/га.

Заключение. Исследование показало, что популяция возбудителя бурой ржавчины, подвергавшаяся обработке химическим фунгицидом Абакус Ультра, СЭ, характеризуется изменением структуры по агрессивности и вирулентности, при этом чувствительность остается высокой за счет комбинации в препарате действующих веществ пираклостробин и эпоксиконазол с различным механизмом действия.

Ключевые слова
Озимая пшеница, бурая ржавчина, патогенность, фунгицид, пираклостробин, эпоксиконазол, эффективность, чувствительность, резистентность.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Study of the effect of the combined fungicide Abacus Ultra on the population structure of the wheat leaf rust pathogen

Maria S. Gvozdeva and Galina V. Volkova
Federal Research Center of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact
Maria S. Gvozdeva, PhD student, Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Research Center of Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Krasnodar Territory, Russia 350039
Tel. +79189791801
Email maria-v23@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-9141-6647

How to cite this article
Gvozdeva M.S., Volkova G.V. Study of the effect of the combined fungicide Abacus Ultra on the population structure of the wheat leaf rust pathogen. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 79-87. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-79-87

Received 6 August 2022
Revised 20 September 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. To study the variability of the intrapopulation structure of the causative agent of wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Erikss.) on the basis of pathogenicity under the influence of the combined fungicide Abacus Ultra, SE.
Material and Methods. The studies were carried out in the greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection on the winter wheat variety Krasnodarskaya 99 which is susceptible to leaf rust. The material studied was the combined fungicide Abacus Ultra, SE with application rates of 0.75; 1.0; 1.25; 1.5; 1.75 l/ha. The work was carried out according to generally accepted methods.
Results. The influence of the impact of different rates of application of the fungicide Abacus Ultra, SE on the average virulence of the *P. triticina* population was established, this indicator varying from 40.0% (control [without treatment]) to 19.5% (fungicide application rate 1.75 l/ha). As a result of the analysis of the phenotypic composition of the population, 5 phenotypes were identified. A decrease in the viability of spores of the fungus *P. triticina* with an increase in the rate of application of the fungicide was established, this indicator varying from 69.1% (0.75 l/ha) to 29.2% (1.75 l/ha). A decrease in the aggressiveness of the population of the causative agent of leaf rust with an increase in the rate of application of the drug was established. The biological effectiveness of the fungicide Abacus Ultra, SE against the pathogen was 95.3–97.8% at the recommended application rate of 1.0–1.5 l/ha.
Conclusion. The study showed that the population of the leaf rust pathogen treated with the chemical fungicide Abacus Ultra, SE is characterised by a change in structure in terms of aggressiveness and virulence, while the sensitivity remains high due to the combination of the active substances pyraclostrobin and epoxiconazole with a different mechanism of action in the preparation.

Key Words
Winter wheat, leaf rust, pathogenicity, fungicide, pyraclostrobin, epoxiconazole, efficiency, sensitivity, resistance.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Возбудитель бурой ржавчины листьев (*Puccinia triticina* Erikss.) является одним из вредоносных заболеваний пшеницы, потери урожая при эпифитотийном развитии могут достигать 20% и более [1; 2]. Ежегодно на территории РФ патоген встречается на площади более 500 тыс. га, а в ЮФО в последние годы распространение варьирует от 13 тыс. га (2019 г.) до 144 тыс. га (2017 г.) [3].

Регламентированное применение химических средств защиты позволяет оперативно и качественно сдерживать развитие заболевания. В государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, зарегистрированы более 130 фунгицидов против возбудителя бурой ржавчины пшеницы [4].

Ежегодно обработки против болезней зерновых культур проводятся на площади более 15 млн. га [3]. В число наиболее расходуемых вошли Фалькон, КЭ (спироксамин 250 г/л + тебуконазол 167 г/л + триадименол 43 г/л) – 1,1 тыс. тонн, Абакус Ультра, СЭ (пираклостробин 62,5 г/л + эпоксиконазол 62,5 г/л) – 0,93 тыс. тонн, Колосаль Про, КМЭ (пропиконазол 300 г/л + тебуконазол 200 г/л) – 0,73 тыс. тонн, Альто Супер, КЭ (пропиконазол 250 г/л + ципроконазол 80 г/л) – 0,56 тыс. тонн, Солигор, КЭ (спироксамин 224 г/л + тебуконазол 148 г/л + протиоконазол 53 г/л) – 0,47 тыс. тонн, Амистар Экстра, СК (азоксистробин 200 г/л + ципроконазол 80 г/л) – 0,34 тыс. тонн. Из биологических фунгицидов наиболее востребованными были БФТИМ КС-2, Ж – 0,36 тыс. тонн, Псевдобактерин-2, Ж – 0,18 тыс. тонн, Ризоплан, Ж – 0,18 тыс. тонн, Алирин-Б, СП – 0,16 тыс. тонн, Фитоспорин-М, Ж – 0,14 тыс. тонн [5].

Применение фунгицидов способствует сохранению потенциального урожая зерна, но все чаще при выращивании сельскохозяйственных культур производители отмечают снижение биологической эффективности препаратов против фитопатогенов. Это обусловлено снижением чувствительности возбудителя заболевания за счет точковой мутации гена, на который направлено действие моносайтовых фунгицидов [6].

В мире зарегистрирована резистентность у более чем 250 видов фитопатогенов к 30 фунгицидам из химических классов органофосфатов, бензимидазолов, азанафталенов, триазолов, фенилпирролов, стробилуринов, ацилаланилов и др. [7]. За период с 1964 по 2019 годы случаи развития резистентности к фунгицидам были выявлены у 17 видов фитопатогенов [8].

В Европе подтверждены мутации у возбудителя сетчатой пятнистости ячменя (*Pyrenophora teres*) и септориоза листьев пшеницы (*Septoria tritici*) под действием седаксана, но эффективность в полевых условиях остается высокой. Мутации у возбудителя рамуляриоза ячменя (*Ramularia collo-cygni*) в отдельных районах сопровождаются снижением биологической эффективности [9]. Сообщалось об устойчивости возбудителя фузариоза колоса (*Fusarium graminearum*) к изопиразаму, карбендазиму, тебуконазолу и прохлоразу [10].

Уже известны случаи снижения биологической эффективности фунгицида триазолового класса против *P. triticina* [11]. Обусловлено это влиянием токсиканта на структуру популяции, что подтверждает важность перманентного изучения изменчивости структуры популяции под действием фунгицидов [12].

Целью нашего исследования являлось изучение изменчивости внутрипопуляционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы под воздействием комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ в контролируемых условиях теплицы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в тепличном комплексе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), где были организованы оптимальные условия для роста растений озимой пшеницы и развития фитопатогена: продолжительность светового дня 16 часов, интенсивность освещения 13–15 тыс. люкс, температура 20–22°С, относительная влажность воздуха 60–70% [13].

Изучение изменчивости внутрипопуляционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы проводили на высокопродуктивном сорте озимой пшеницы Краснодарская 99. Сорт устойчив к стеблевой и желтой ржавчине, среднеустойчив к септориозу и мучнистой росе, восприимчив к фузариозу колоса и бурой ржавчине. Включен в Государственный реестр для производства на территории РФ с 2003 года.

Материалом исследования являлся комбинированный фунгицид Абакус Ультра, СЭ. В составе два действующих вещества с различным механизмом действия: пираклостробин 62,5 г/л (стробилурины), эпоксиконазол 62,5 г/л (триазолы). Препарат защитного и лечащего действия, зарегистрирован на озимой пшенице для борьбы с бурой и стеблевой ржавчиной, пиренофорозом, мучнистой росой, септориозом листьев и колоса, темно-бурой пятнистостью [4].

Для проведения опыта в фазу всходов растения озимой пшеницы сорта Краснодарская 99 инфицировали северокавказской популяцией возбудителя бурой ржавчины. После инокуляции растения выдерживали во влажной камере 16 ч при температуре 20–22°С [13]. Обработку фунгицидом проводили по первым признакам заболевания с нормами применения 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 л/га. Рекомендуемая норма против патогена составляет 1,0–1,5 л/га [4]. Биологическую эффективность определяли через 7 дней после обработки по количеству пустул патогена на листе, расчет проводили по формуле Аббота [14]. Уровень чувствительности патогена определяли по количеству пустул на лист с типом реакции 3, 4 балла [15] по показателям $СК_{50}$ и $СК_{95}$ [16] путем построения пробит – регрессии с использованием программного обеспечения Statgraphics 19.

Собранные урединиоспоры *P. triticina* с обработанных растений размножали на восприимчивом сорте Краснодарская 99 по общепринятой методике [13]. Для определения агрессивности возбудителя бурой ржавчины пшеницы, обработанной разными нормами применения

фунгицида, были взяты показатели жизнеспособность, длительность латентного периода, спорулирующая способность и длительность споруляции. Жизнеспособность спор, заранее помещенных во влажную камеру, проверяли под микроскопом марки Микмед-5, увеличение 40х/0,65, путем подсчета общего количества спор и числа проросших спор. Длительность латентного периода считали с момента инокуляции до появления первых признаков заболевания [17]. Длительность споруляции определяли с начала раскрытия пустул до завершения споруляции [18]. Спорулирующую способность рассчитывали путем отношения количества пустул к массе собранного биоматериала [18].

Вирулентность образцов урединиоспор возбудителя бурой ржавчины пшеницы и фенотипический состав определяли по реакции 20 близкоизогенных линий сорта Thatcher с известными генами устойчивости [13]. Среднюю вирулентность определяли по Мартенсу [19]. Различия между изолятами популяции по фенотипическому составу и частоте аллелей вирулентности выявляли по индексу Нея [20].

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 биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (https://ckp-rf.ru/usu/585858/?sphrase_id=5369152).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несоблюдение регламента применения химических средств защиты пшеницы против заболеваний приводит к снижению чувствительности фитопатогенов к токсикантам. Происходит это за счет отбора и накопления устойчивых изолятов возбудителя в популяции гриба при снижении эффективности фунгицида [10].

В ходе исследования было установлено влияние воздействия разных норм применения комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ на изменчивость внутрипопуляционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы.

Средняя вирулентность популяции *P. triticina* в контроле (без обработки) составила 40,0% (рис. 1).

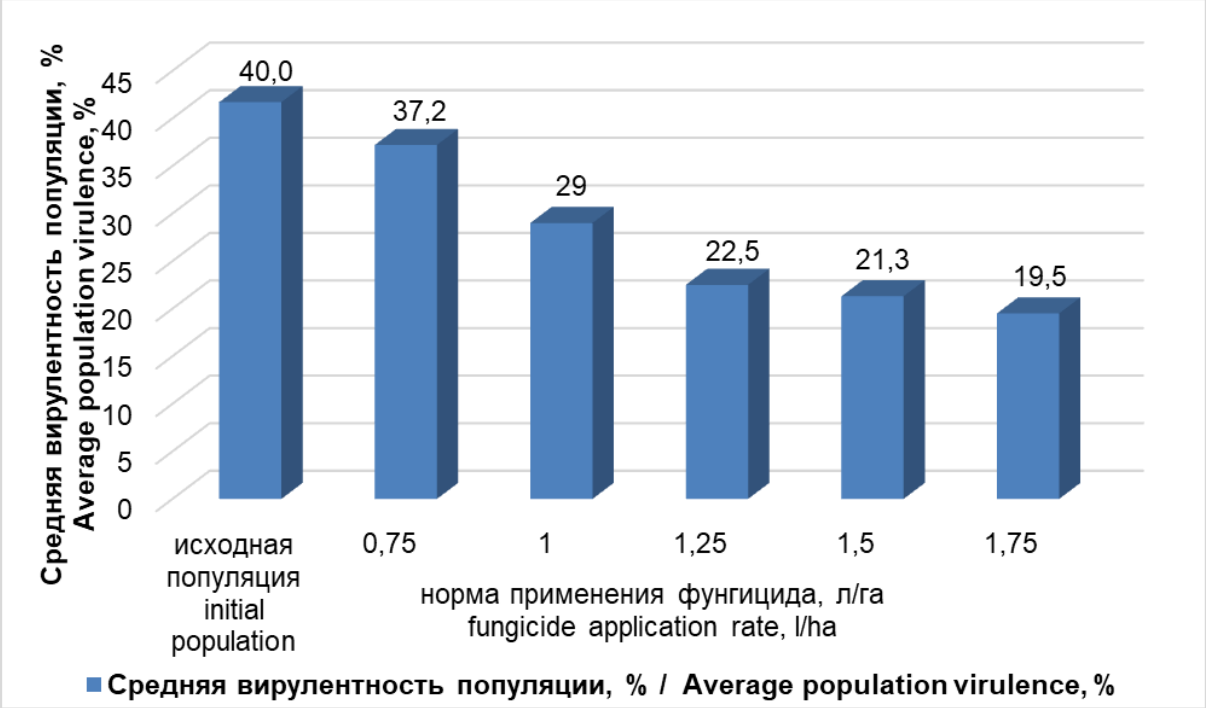


Рисунок 1. Средняя вирулентность популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы под воздействием разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР
Figure 1. Average virulence of the wheat leaf rust pathogen population under the influence of different norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE in the greenhouse complex of theFederal Research Center of Biological Plant Protection

С увеличением нормы применения фунгицида этот показатель резко снижался и в варианте с максимальной нормой (1,75 л/га) составил 19,5%.

При статистической обработке результатов, согласно индексу Нея (N=0,094 у.е.), максимальные различия по частоте изолятов, вирулентных к линиям с генами *Lr,* были получены между исходной популяцией (контроль (без обработки)) и вариантом с пониженной нормой применения фунгицида (0,75 л/га). С увеличением нормы применения значение индекса Нея составило 0,039 у.е. (1,0 л/га); 0,076 у.е. (1,25 л/га); 0,077 у.е. (1,5 л/га) и 0,057 у.е. (1,75 л/га).

Проведена оценка влияния разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на изменение фенотипического состава возбудителя бурой ржавчины пшеницы (табл. 1).

Под воздействием фунгицида тип поражения линии с геном устойчивости *Lr24* снижался с 2 баллов до 1 и 0. При норме применения Абакус Ультра, СЭ 1,5 л/га на линии, несущей ген *Lr3bg*, и норме 0,75 л/га на линии, несущей ген *Lr14a*, тип поражения изменялся с 3 баллов до 2. На линии, несущей ген устойчивости *Lr18*, при нормах применения от 0,75 л/га до 1,5 л/га тип реакции изменялся с 3 баллов до 2. В варианте с использованием норм применения фунгицида 1,25 л/га и 0,75 л/га тип реакции линии с геном устойчивости *Lr2c* увеличивался с 2 баллов до 3. Тип поражения линий пшеницы, несущих гены устойчивости *Lr1*, *Lr2a*, *Lr3*, *Lr9*, *Lr16*, *Lr26*, *Lr3ka*, *Lr11*, *Lr17*, *Lr30*, *LrB*, *Lr10*, *Lr14b*, оставался на уровне исходной популяции (не обработанной фунгицидом).

В результате анализа фенотипического состава популяции возбудителя бурой ржавчины выявлено 5 различных фенотипов: PHQQQ (норма применения 0,75 л/га), MHQSQ (1,0 л/га), PHQSQ (1,25 л/га), MHQSG (1,5 л/га), MHQTQ (1,75 л/га), MHQTQ (без обработки).

Установлено влияние разных норм применения фунгицида на жизнеспособность спор гриба *P. triticina*. В контроле (без обработки) этот показатель был принят за 100%. В варианте с рекомендуемой нормой фунгицида (1,0–1,5 л/га) жизнеспособность составила 61,7–40,3%, при снижении нормы применения до 0,75 л/га – 69,1%, при повышении до 1,75 л/га – 29,2% (рис. 2).

Была проведена оценка влияния разных норм применения фунгицида на показатели агрессивности гриба *P. triticina* (рис. 3). С увеличением нормы препарата длительность споруляции сокращалась от 14 суток (контроль (без обработки)) до 5 суток (1,75 л/га), а спорулирующая способность снижалась от 0,07 мг (контроль (без обработки)) до 0,01 мг (1,75 л/га). Длительность латентного периода, напротив, возрастала с увеличением нормы применения фунгицида, этот показатель варьировал от 6,5 суток в (контроле (без обработки)) до 10,5 суток (норма применения 1,75 л/га).

Подобные результаты получены в работе Кан Чжао с соавторами [21]. Учеными установлены случаи резистентности изолятов *Rhizoctonia* spp. к флутоланилу, характеризующихся более медленной скоростью роста мицелиальных клеток и снижением вирулентности в сравнении с чувствительной популяцией.

В работе, выполненной нами ранее [11], было установлено изменение в структуре популяции по показателям агрессивности под влиянием разных норм применения фунгицида Колосаль, КЭ (тебуконазол, 250 г/л), вследствие чего отмечалось снижение биологической эффективности фунгицида.

Таблица 1. Изменение фенотипического состава возбудителя бурой ржавчины пшеницы под влиянием различных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР
Table 1. Changes in the phenotypic composition of the causative agent of wheat leaf rust under the influence of various norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE, in greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

Ген *Lr* Gene *Lr*	**Норма применения фунгицида, л/га** Fungicide application rate, l/ha					
	Исходная популяция Initial population	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75
	Тип реакции сортов на заражение, балл Type of response of varieties to infection, score					
1	3	3	3	3	3	3
2a	2	2	2	2	2	2
2c	2	3	2	3	2	2
3	3	3	3	3	3	3
9	0	0	0	0	0	0
16	3	3	3	3	3	3
24	2	1	1	0	1	1
26	3	3	3	3	3	3
3ka	3	3	3	3	3	3
11	3	3	3	3	3	3
17	2	2	2	2	2	2
30	2	2	2	2	2	2
B	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3
14a	3	2	3	3	3	3
18	3	2	2	2	2	3
3bg	3	3	3	3	2	3
14b	3	3	3	3	3	3
20	1	0 ;	0 ;	0 ;	1	1
28	0 ;	0 ;	0 ;	1	0 ;	0 ;
Фенотип Phenotype	MHQTQ	PHQQQ	MHQSQ	PHQSQ	MHQSG	MHQTQ

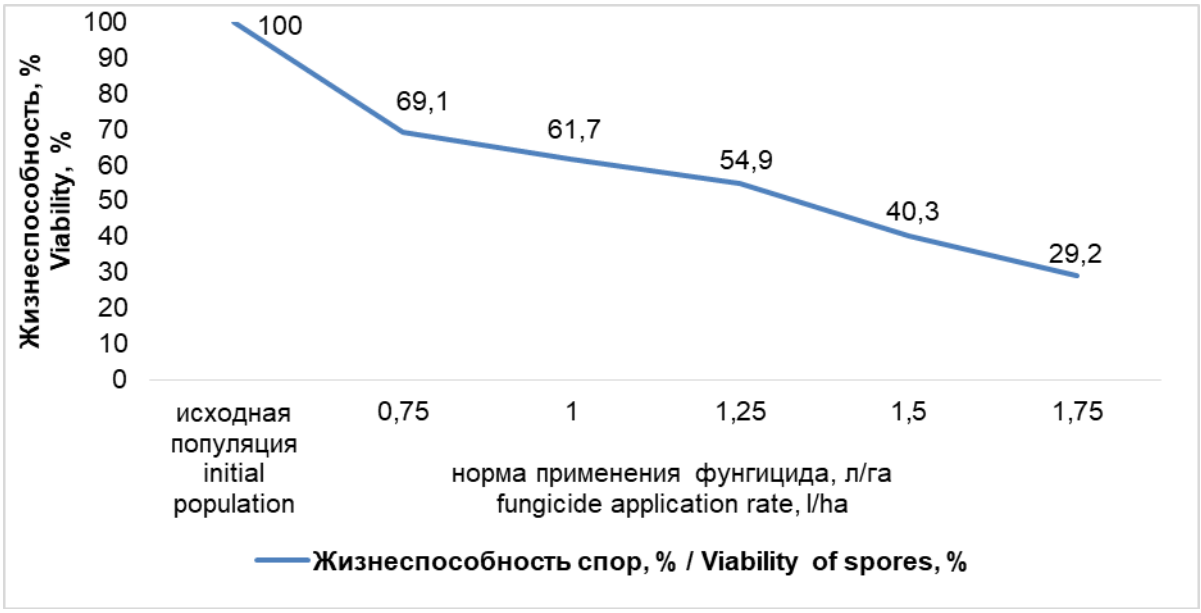


Рисунок 2. Влияние разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на жизнеспособность спор бурой ржавчины, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР
Figure 2. The influence of different norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE on the viability of leaf rust spores, in the greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

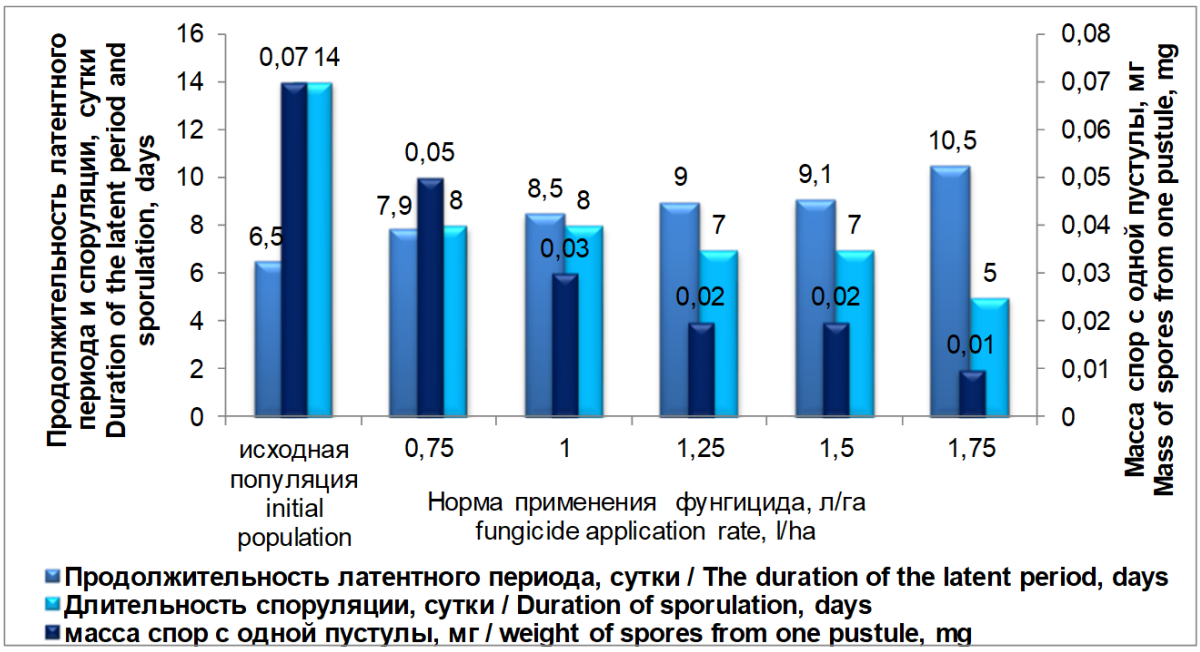


Рисунок 3. Влияние разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на показатели агрессивности возбудителя бурой ржавчины пшеницы, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР
Figure 3. The effect of different application rates of the fungicide Abacus Ultra, SE on the indicators of the aggressiveness of the wheat leaf rust pathogen, in the greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

В опыте с использованием фунгицида Абакус Ультра, СЭ биологическая эффективность варьировала от 93,8% (0,75 л/га) до 99,6% (1,75 л/га) (рис. 4). В варианте с применением рекомендованной нормы эффективность была высокой и составила 95,3–97,8%. Полученный результат обусловлен содержанием в фунгициде действующих веществ пираклостробин и эпоксиконазол из разных химических классов с различным механизмом действия. В работах других ученых доказана высокая эффективность фунгицидов, содержащих пираклостробин, против возбудителей ржавчинных заболеваний пшеницы [22; 23].

Оценку чувствительности возбудителя бурой ржавчины пшеницы к фунгициду проводили путем расчета $СК_{50}$ и $СК_{95}$. Так, в опыте эти показатели составили 61,7 мг/мл и 128,4 мг/мл соответственно, что близко к значениям рекомендованной концентрации в рабочем растворе (65,7 мг/мл и 125 мг/мл) и доказывает высокую чувствительность популяции возбудителя к токсиканту.

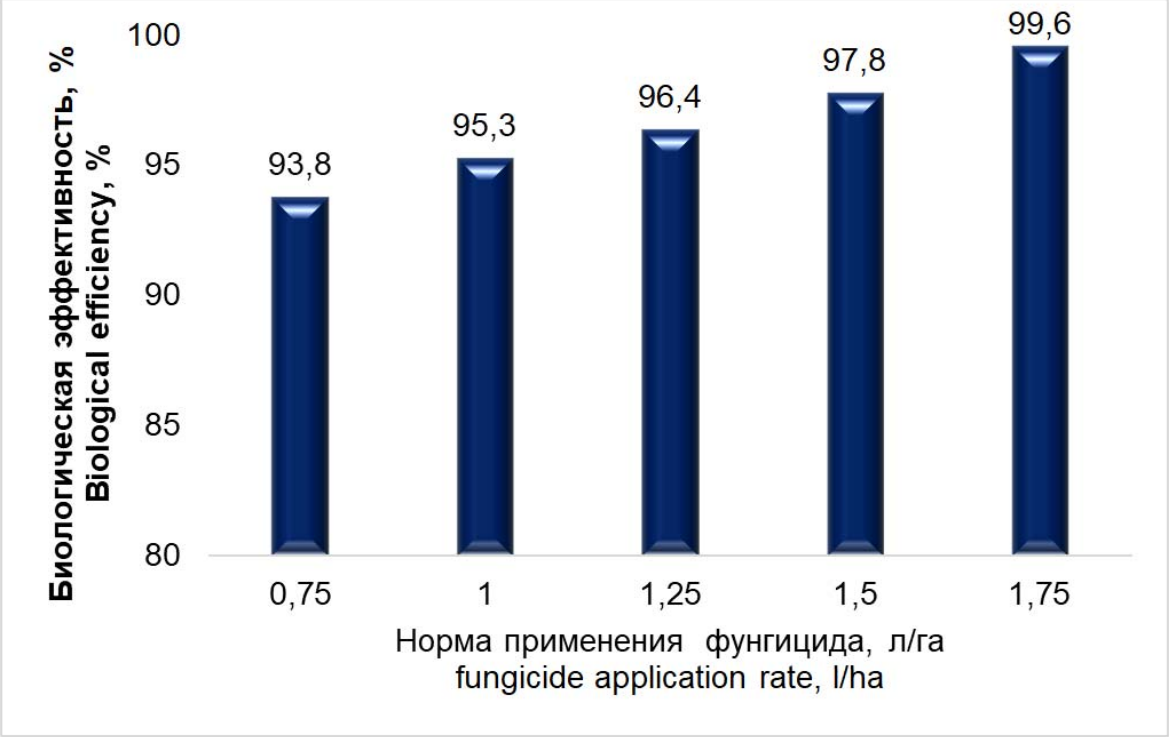


Рисунок 4. Биологическая эффективность разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ против *P. triticina*, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР
Figure 4. Biological efficiency of different norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE against *P. triticina*, in greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено влияние воздействия разных концентраций комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ на изменчивость внутрипопуляционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы. Средняя вирулентность популяции *P. triticina* с увеличением нормы применения фунгицида снижалась от 40,0% (контроль (без обработки)) до 19,5% (1,75 л/га). Максимальные различия (N=0,094 у.е.) по частоте изолятов, вирулентных к линиям с генами *Lr*, были получены между исходной популяцией (контроль (без обработки)) и вариантом с пониженной нормой применения фунгицида (0,75 л/га).

В результате анализа фенотипического состава популяции возбудителя бурой ржавчины под влиянием разных норм фунгицида выявлено 5 фенотипов: PHQQQ (норма применения 0,75 л/га), MHQSQ (1,0 л/га), PHQSQ (1,25 л/га), MHQSG (1,5 л/га), MHQTQ (1,75 л/га), MHQTQ (контроль (без обработки)).

Установлено снижение жизнеспособности спор гриба *P. triticina* с увеличением нормы применения фунгицида. Показатель изменялся от 69,1% (0,75 л/га) до 29,2% (1,75 л/га).

Выявлено снижение агрессивности популяции возбудителя бурой ржавчины с увеличением нормы применения фунгицида. Так, отмечено снижение спорулирующей способности от 0,07 мг (контроль (без обработки)) до 0,01 мг (1,75 л/га) и длительности споруляции от 14 суток (контроль (без обработки)) до 5 суток (1,75 л/га). Длительность латентного периода возрастала от 6,5 суток в (контроле (без обработки)) и до 10,5 суток (1,75 л/га).

Биологическая эффективность комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ против возбудителя бурой ржавчины остается на высоком уровне и составляет 95,3–97,8% при рекомендованной норме применения 1,0–1,5 л/га. Показатели $СК_{50}$ и $СК_{95}$ в опыте составили 61,7 мг/мл и 128,4 мг/мл соответственно, что близко к значениям рекомендованной концентрации в рабочем растворе (65,7 мг/мл и 125 мг/мл) и доказывает высокую чувствительность популяции возбудителя к токсиканту.

Таким образом, исследование показало, что популяция возбудителя бурой ржавчины, подвергавшаяся обработке химическим фунгицидом Абакус Ультра, СЭ, характеризуется изменением структуры по агрессивности и вирулентности. Несмотря на то, что чувствительность патогена к препарату остается высокой за счет комбинации действующих веществ с различным механизмом действия, необходимо строго соблюдать регламент применения фунгицида для снижения риска возникновения резистентности.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Изучение патогенности популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы выполнено согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0004. Изучение вирулентности и чувствительности популяции патогена выполнено при финансовой поддержке гранта КНФ № Н-21.1/48.

ACKNOWLEDGMENT

The study of the pathogenicity of the wheat leaf rust pathogen population was carried out in accordance with the State Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework

of research work on topic No. FGRN-2022-0004. The study of the virulence and sensitivity of the pathogen population was carried out with the financial support of KNF grant No. H-21.1/48.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ваганова О.Ф. Использование сортосмешанных посевов в защите озимой пшеницы от бурой ржавчины // Земледелие. 2020. N 5. С. 38–40.
2. Гультяева Е.И., Беспалова Л.А., Аблова И.Б., Шайдаюк Е.Л., Худокормова Ж.Н., Яковлева Д.Р., Титова Ю.А. Злаковые травы – резерваторы инфекции видов ржавчины для озимой мягкой пшеницы на Северном Кавказе России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. N 6. С. 638–646.
3. Говоров Д.Н., Живых А.В., Шабельникова Е.С., Никулин А.Н., Умников В.И., Долгов А.И., Волков И.А., Машенцев И.В., Ступаков А.И., Чернявский В.С. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2020 году и прогноз развития вредных объектов в 2021 году / Под ред. Говорова Д.Н., Живых А.В. М.: ФГБУ РСЦ, 2021. 912 с.
4. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (Минсельхоз России) Издание официальное МОСКВА 2022. URL: https://www.agroxxi.ru/goshandbook (дата обращения: 17.05.2022).
5. Страновой обзор производства и использования особо опасных пестицидов в России. Москва, Россия, 2020. URL: https:// ipen.org/ sites/ default /files /documents/ final_ russia_ hhp_ country_ situation_ report_ ru_ and_ en_ 14_ may_ 2020. pdf (дата обращения: 1.06.2022).
6. Мироненко Н. В. Пластичность генома фитопатогенных грибов // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. N 3. С. 133–139. DOI: 10.1134/S0026364819030085
7. Damicone J.P. Fungicide resistance management. Oklahoma cooperative extension. URL: https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319916/oksa_epp_7663_2014-02.pdf?sequence=1 (дата обращения: 17.05.2022)
8. Сухорученко Г.И. Резистентность вредных организмов к пестицидам в России // Защита и карантин растений. 2020. N 1. С. 14–18.
9. Fungicide resistance management in cereals FRAG-UK. Kenilworth. 2019. 28 p.
10. Соколова Г.Д., Глинушкин А.П. Механизмы устойчивости к фунгицидам фитопатогенного гриба *Fusarium graminearum* // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. N 6. С. 391–403. DOI: 10.31857/S0026364820060112
11. Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Влияние фунгицида колосаль на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы по признакам патогенности и чувствительности // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. N 1. С. 52–63. DOI: 10.31857/S0026364822010044
12. Жемчужина Н.С., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Аблова И.Б., Глинушкин А.П., Елизарова С.А. Выявление разнообразия микромицетов рода *Fusarium* в агроэкосистемах равнинной части Северного Кавказа для пополнения государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. N 8. С. 874–881.
13. 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). Рекомендации. Краснодар. 2000. 28 с.
14. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / под ред. В. И. Долженко Санкт-Петербург: ВИЗР, 2009. 377 с.
15. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss. // Phytopathology. 1926. V. 16. N 1. P. 89–120.
16. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. Киев: Морион, 2000. 320 с.
17. Пыжикова Г.В. Влияние температуры на инфекцию и развитие желтой ржавчины пшеницы // Микология и фитопатология. 1972. Т. 6. N 3. С. 51–53.
18. Санин С.С. Методы определения количества спор, образуемых ржавчинными и другими фитопатогенными грибами // Микология и фитопатология. 1975. Т. 9. N 3. С. 443–445.
19. Михайлова Л.А., Гультяева Е.И., Мироненко Н.В. Методы исследования структуры популяций возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f.sp. tritici. Иммуногенетические методы создания устойчивых к вредным организмам сортов. СПб: ВИЗР, 2003. 26 с.
20. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals // Genetics. 1978. V. 89. N 3. P. 583–590.
21. Zhao C., Zhang X., Hua H. et al. Sensitivity of *Rhizoctonia* spp. to flutolanil and characterization of the point mutation in succinate dehydrogenase conferring fungicide resistance // Eur J Plant Pathol. 2019. N 155. P. 13–23. DOI: 10.1007/s10658-019-01739-6
22. Kang Zh., Li X., Wan A., Wang M., Chen X. Differential sensitivity among *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* isolates to propiconazole and pyraclostrobin fungicides // Canadian Journal of Plant Pathology. 2019. V. 41. N 3. P. 415–434. DOI: 10.1080/07060661.2019.1577301
23. Sacon D., Netto A., Gallina A., Tonello E.S., Milanesi P.M. Association of fungicides on Puccinia triticina and wheat // Communications in Plant Sciences. 2019. N 9. P. 88–92. DOI: 10.26814/cps2019015

REFERENCES

1. Volkova G.V., Kudinova O.A., Vaganova O.F. The use of variety mixed crops in the protection of winter wheat from leaf rust. Zemledelie [Agriculture]. 2020, no. 5, pp. 38–40. (In Russian)
2. Gul'tyaeva E.I., Bespalova L.A., Ablova I.B., Shaidayuk E.L., Khudokormova Zh.N., Yakovleva D.R., Titova Yu.A. Cereal grasses – reserve infection of rust species for winter soft wheat in the North Caucasus of Russia. Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2021, vol. 25, no. 6, pp. 638–646. (In Russian)
3. Govorov D.N., Zhivykh A.V., Shabelnikova E.S., Nikulin A.N., Umnikov V.I., Dolgov A.I. Volkov I.A., Mashentsev I.V., Stupakov A.I., Chernyavsky V.S. *Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Rossiiskoi Federatsii v 2020 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2021 godu* [Review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Russian Federation in 2020 and the forecast for the development of harmful objects in 2021]. Moscow, FGBU RSC Publ., 2021, 912 p. (In Russian)
4. *Gosudarstvennyi katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiiskoi Federatsii* [State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation]. Moscow, 2022. Available at: https://www.agroxxi.ru/goshandbook (accessed: 05.17.2022)
5. *Stranovoi obzor proizvodstva i ispol'zovaniya osobo opasnykh pestitsidov v Rossii* [Country overview of production

and use of highly hazardous pesticides in Russia]. Moscow, 2020. Available at: https:// ipen.org/ sites/ default /files /documents/ final_ russia_ hhp_ country_ situation_ report_ ru_ and_ en_ 14_ may_ 2020. pdf (accessed: 1.06.2022)
6. Mironenko N.V. Plasticity of the genome of phytopathogenic fungi. *Mycology and Phytopathology*, 2019, vol. 53, no. 3, pp. 133–139. (In Russian) DOI 10.1134/S0026364819030085.
7. Damicone J.P. Fungicide resistance management. Oklahoma cooperative extension. Available at: https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319916/oksa_epp_7663_2014-02.pdf?sequence=1 (accessed 17.05.2022)
8. Sukhoruchenko G.I. Resistance of harmful organisms to pesticides in Russia. Zashchita i karantin rastenii [Protection and quarantine of plants]. 2020, no. 1, pp. 14–18. (In Russian)
9. Fungicide resistance management in cereals FRAG-UK. Kenilworth. 2019. 28 p.
10. Sokolova G.D., Glinushkin A.P. Mechanisms of resistance to fungicides of the phytopathogenic fungus *Fusarium graminearum*. *Mycology and Phytopathology*, 2020, vol. 54, no. 6, pp. 391–403. (In Russian) DOI: 10.31857/S0026364820060112
11. Gvozdeva M.S., Volkova G.V. Influence of the fungicide colosal on the structure of the population of the causative agent of wheat leaf rust on the basis of pathogenicity and sensitivity. *Mykology and Phytopathology*, 2022, vol. 56, no. 1, pp. 52–63. (In Russian) DOI: 10.31857/S0026364822010044
12. Zhemchuzhina N.S., Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Ablova I.B., Glinushkin A.P., Elizarova S.A. Identification of the diversity of micromycetes of the genus Fusarium in the agroecosystems of the plains of the North Caucasus to replenish the state collection of phytopathogenic microorganisms of the VNIIF. Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2021, vol. 25, no. 8, pp. 874–881. (In Russian)
13. 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)* [Methods for creating artificial infectious backgrounds and assessing wheat varieties for resistance to harmful diseases (head fusarium, rust, powdery mildew)]. Krasnodar, 2000, 28 p. (In Russian)
14. Dolzhenko V.I., ed. *Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam fungitsidov v sel'skom khozyaistve* [Guidelines for registration testing of fungicides in agriculture]. St. Petersburg, VIZR Publ., 2009, 377 p. (In Russian)
15. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss. Phytopathology. 1926, vol. 16, no. 1, pp. 89–120.
16. Lapach S.N., Chubenko A.V., Babich P.N. *Statisticheskie metody v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh s ispol'zovaniem Excel* [Statistical methods in biomedical research using Excel]. Kyiv, Morion Publ., 2000, 320 p. (In Russian)
17. Pyzhikova G.V. Influence of temperature on the infection and development of wheat yellow rust. Mikologiya i fitopatologiya [Mykology and Phytopathology]. 1972, vol. 6, no. 3, pp. 51–53. (In Russian)
18. Sanin S.S. Methods for determining the number of spores formed by rust and other phytopathogenic fungi. Mikologiya i fitopatologiya [Mykology and Phytopathology]. 1975, vol. 9, no. 3, pp. 443–445. (In Russian)
19. Mikhailova L.A., Gultyaeva E.I., Mironenko N.V. *Metody issledovaniya struktury populyatsii vozbuditelya buroi rzhavchiny pshenitsy Puccinia recondita Rob. ex Desm. f.sp. tritici. Immunogeneticheskie metody sozdaniya ustoichivykh k vrednym organizmam sortov* [Methods for studying the structure of wheat leaf rust pathogen *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f.sp. tritici. Immunogenetic methods for creating varieties resistant to pests. (Guidelines)]. St. Petersburg, VIZR Publ., 2003, 26 p. (In Russian)
20. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. Genetics. 1978, vol. 89, no. 3, pp. 583–590.
21. Zhao C., Zhang X., Hua H. et al. Sensitivity of Rhizoctonia spp. to flutolanil and characterization of the point mutation in succinate dehydrogenase conferring fungicide resistance. *Eur J Plant Pathol*. 2019, no. 155, pp. 13–23. DOI: 10.1007/s10658-019-01739-6
22. Kang Zh., Li X., Wan A., Wang M., Chen X. Differential sensitivity among Puccinia striiformis f. sp. tritici isolates to propiconazole and pyraclostrobin fungicides. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2019, vol. 41, no. 3, pp. 415–434. DOI: 10.1080/07060661.2019.1577301
23. Sacon D., Netto A., Gallina A., Tonello E.S., Milanesi P.M. Association of fungicides on Puccinia triticina and wheat. *Communications in Plant Sciences*, 2019, no. 9. pp. 88–92. DOI: 10.26814/cps2019015

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Мария С. Гвоздева, Галина В. Волкова в равной степени выполняли все работы в ходе исследования. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Maria S. Gvozdeva and Galina V. Volkova equally contributed to all the work during the study. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Мария С. Гвоздева / Maria S. Gvozdeva http://orcid.org/0000-0002-9141-6647
Галина В. Волкова / Galina V. Volkova http://orcid.org/0000-0002-3696-2610

Обзорная статья / Review article
УДК 578.85/578.346:57.063.7/8
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-88-100

Вирусные заболевания плодово-ягодных культур на юге российского Дальнего Востока

Юрий Г. Волков, Надежда Н. Какарека, Валентина Ф. Толкач, Михаил Ю. Щелканов
ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, 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, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, д. 159/1.
Тел. +79245297109
Email adorob@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8610-7623

Формат цитирования
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. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-88-100

Получена 9 сентября 2022 г.
Прошла рецензирование 14 октября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. Систематизировать данные о возбудителях вирусных заболеваний садовых и ягодных культур, распространённых на территории юга российского Дальнего Востока.

Обсуждение. Своеобразные климатические особенности Дальнего Востока ограничивают ассортимент садовых и ягодных культур. Вместе с тем, в регионе имеется значительное количество видов дикорастущих плодово-ягодных растений, которые обладают повышенной (часто – рекордной) морозостойкостью и потому активно используются для выведения новых культурных форм. При этом, последние полтора века идет активная интродукция на Дальний Восток новых сортов садовых культур, что приводит к увеличению риска проникновения целых фитовирусологических комплексов вместе с вегетативно размножаемыми (черенками, прививками) растениями. Наибольший ущерб садовым культурам на Дальнем Востоке наносят ряд представителей рода *Nepovirus* (Picornavirales: Secoviridae): кольцевой пятнистости томата, мозаики резухи, кольцевой пятнистости малины, короткоузлия винограда, линейного узора винограда, а также несколько до сих пор неидентифицированных вирусов. Среди других таксономических групп фитовирусов для плодово-ягодных культур актуальны Y-вирус картофеля (Patatavirales: Potyviridae, *Potyvirus*), вирусы кольцевой пятнистости гвоздики (Tolivirales: Tombusviridae, *Dianthovirus*), желтой мозаики клевера (Tymovirales: Alphaflexiviridae, *Potexvirus*), огуречной мозаики (Martellivirales: Bromoviridae, *Cucumovirus*) и мозаики люцерны (Martellivirales: Bromoviridae, *Alfamovirus*). В работе рассмотрен видовой состав тлей-переносчиков фитовирусов, поражающих садовые культуры региона.

Заключение. В связи с дальнейшими перспективами развития садоводства на Дальнем Востоке России необходимо интенсифицировать эколого-вирусологические исследования этого раздела фитовирусологии, а также повысить обеспеченность производителей сельскохозяйственной продукции доступными тест-системами.

Ключевые слова
Вирус, переносчик, тля, нематода, садовая культура, ягодник, дикоросы, Дальний Восток.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Viral diseases of fruit and berry crops in the South of the Russian Far East

Yury G. Volkov, Nadezhda N. Kakareka, Valentina F. Tolkach and Mikhail Yu. Shchelkanov
Federal Scientific Centre for East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Principal contact
Mikhail Yu. Shchelkanov, Doctor of Biological Sciences, Chief, Laboratory of Virology, Federal Scientific Centre for East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 159/1 Vladivostok Centennial Avenue, Vladivostok, Russia 690022.
Tel. +79245297109
Email adorob@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8610-7623

How to cite this article
Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Tolkach V.F., Shchelkanov 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) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-88-100

Received 9 September 2022
Revised 14 October 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. To systematise data on pathogens of viral diseases of garden and berry crops in the south of the Russian Far East.
Discussion. The peculiar climatic features of the Far East limit the range of garden and berry crops. However, there are a significant number of species of wild fruits and berry plants in the region, which have increased (often – record breaking) frost resistance and are therefore actively used for breeding new cultural forms. At the same time, for the last century and a half new varieties of garden crops have been actively introduced to the Far East, which has lead to an increase in the risk of penetration of entire phytovirus complexes together with vegetatively propagated (cuttings, vaccinations) plants. The greatest damage to garden crops in the Far East is caused by a number of representatives of the genus *Nepovirus* (Picornavirales: Secoviridae): Tomato ringspot virus, *Arabis* mosaic virus, Raspberry ringspot virus, Grapevine fanleaf virus, Grapevine linear pattern virus as well as several still unidentified viruses. Among other taxonomic groups of phytoviruses dangerous for fruit and berry crops one could point out Potato virus Y (Patatavirales: Potyviridae, *Potyvirus*), Carnation ringspot virus (Tolivirales: Tombusviridae, *Dianthovirus*), Clover yellow mosaic virus (Tymovirales: Alphaflexiviridae, *Potexvirus*), Cucumber mosaic virus (Martellivirales: Bromoviridae, *Cucumovirus*), Alfalfa mosaic virus (Martellivirales: Bromoviridae, *Alfamovirus*). The paper considers the species composition of aphids-carriers of phytoviruses affecting garden crops of the region.
Conclusions. In connection with the further prospects for the development of horticulture in the Russian Far East, it is necessary to intensify ecological and virological studies of this section of phytovirology as well as to increase access to agricultural producers with available test systems.

Key Words
Virus, vector, aphid, nematode, garden culture, berry, Russian Far East.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Среди обнаруженных за последнюю четверть века новых инфекционных болезней сельскохозяйственных растений более половины имеет вирусную природу. Число известных науке фитовирусов стремительно увеличивается [1; 2].

Глобализация сельского хозяйства, развитие международной торговли продукцией растениеводства и расширение международного обмена семенным и посадочным материалом способствуют интродукции вирусов в новые регионы. Особую опасность в этом отношении могут представлять вегетативно размножаемые культуры (в том числе и плодовые), часто зараженные сложным комплексом различных вирусов. При этом, возникают очаги новых для данного региона вирусных инфекций, имеющих экономическое значение для садоводческих и продовольственных культур [1]. Важно отметить, что в результате глобального потепления расширяются ареалы и увеличивается численность членистоногих переносчиков вирусов [3], в том числе – фитовирусов [2].

Садоводство на юге российском Дальнем Востоке традиционно характеризуется рядом особенностей. Во-первых, большинство возделываемых в регионе плодово-ягодных культур имеют в окружающей флоре своих дикорастущих сородичей [4]. Во-вторых, садоводство в регионе представлено мелкотоварными хозяйствами, приусадебными и дачными участками при отсутствии крупноплощадных садов. Своеобразные климатические особенности формируют и довольно ограниченный ассортимент садовых и ягодных культур [5].

В связи с дальнейшим опережающим развитием российского Дальнего Востока и программами совершенствования сельскохозяйственных технологий в регионе, включающих увеличение плодово-ягодной продукции, требуется интенсифицировать эколого-вирусологические исследования в области фитовирусологии, а также повысить обеспеченность производителей сельскохозяйственной продукции доступными тест-системами. Целью данной работы является систематизация научной информации о возбудителях вирусных заболеваний садовых и ягодных культур, распространённых на территории юга российского Дальнего Востока, по данным Российской коллекции вирусов Восточной Азии на базе Лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН [6–8].

ОБСУЖДЕНИЕ

На юге российского Дальнего Востока в диком виде произрастают три вида яблони, очень близких между собой [4]: маньчжурская (*Malus manshurica*), сибирская, или Палласа (*Malus sibirica*) и сахалинская (*Malus sachalinensis*). На территории Приморского края встречаются первые два вида; в Амурской области – только яблоня Палласа, которая преобладает в Еврейской автономной области и в Хабаровском крае; на о. Сахалин и Курильских о-вах – яблоня сахалинская. Род груша в регионе представлен единственным видом – грушей уссурийской (*Pyrus ussuriensis*). Это самый зимостойкий вид в мире, распространённый в Приамурье и Приморье [4; 9]. Из косточковых пород наибольший интерес представляет абрикос, два вида которого встречаются на Дальнем Востоке: сибирский (*Prunus sibirica*) и маньчжурский (*Prunus mandshurica*). Последний часто служит исходным материалом для получения зимостойких культурных сортов [4; 9]. Слива – одна из наиболее привычных плодовых культур Приморья и южной части Хабаровского края. Существует здесь с давних времен, и в некоторых районах встречаются одичавшие экземпляры. Слива уссурийская (*Prunus ussuriensis*) – один из самых холодостойких видов этого рода, районирована на Урале и в Сибири и часто скрещивается с более крупноплодными сортами [4; 9; 10]. Для Дальнего Востока в научной литературе указывается шесть видов из рода вишня: Максимовича (*Cerasus maximovichii*), сахалинская (*Cerasus sachalinensis*), курильская (*Cerasus kurilensis*), железистая (*Cerasus grandulosa*), войлочная (*Cerasus tomentosa*) и еще два дикорастущих вида требуют дальнейшего изучения [4; 11; 12].

Из двух дальневосточных видов дикорастущего винограда амурский (*Vitis amurensis*) встречается только на материке и широко распространен, а Кэмпфера (*Vitis coignetiae*) – произрастает только на островах Сахалин, Шикотан, Итуруп, Кунашир и сравнительно редок. Амурский виноград является самым зимостойким в мире виноградом и представляет исключительную ценность как исходный материал для выведения новых устойчивых культурных сортов винограда [4; 9; 13].

Из 14 видов смородины, произрастающих на юге российского Дальнего Востока, наибольшее распространение имеют 5 дикорастущих видов: маньчжурская, или поречка (*Ribes mandshuricum*) (повсеместно); дикуша, или алданский виноград (*Ribes dikuscha*) (Анадырь, Хабаровский и Приморский края, Охотоморское побережье, Амурская область); малоцветковая (*Ribes pauciflorum*) (Приморский и Хабаровский края, Амурская область); лежачая, или моховка (*Ribes procubens*) (Охотоморское побережье, Сахалин, Хабаровский край, Амурская область, северные районы Приморья); Максимовича (*Ribes maximoviczianum*) (южная часть Приморья) [4; 9; 14]. В Амурской области, Хабаровском и Приморском краях в диком виде произрастает крыжовник буреинский (*Grossularia burejensis*) [4; 15]. В дикорастущей флоре Дальнего Востока имеются два вида малины: малина сахалинская (*Rubus sachalinensis*) (весь Дальний Восток) и боярышниколистная (*Rubus crataegifolius*) (Приморский и Хабаровский края).

На российском Дальнем Востоке встречаются девять видов шиповника: Максимовича (*Rosa maximowieziana*), тонконожковый (*Rosa gracilipes*), уссурийский (*Rosa ussuriensis*), иглистый (*Rosa acicularis*), даурский (*Rosa daurica*), корейский (*Rosa koreana*), Марэ (*Rosa marretii*), морщинистый (*Rosa rugosa*), тупоушковая (*Rosa amblyotis*) [8; 9; 16]. В Приморье и южной части Хабаровского края распространён барбарис амурский (*Berberis amurensis*) [4; 9]. Восемь видов жимолости произрастают на территории российского Дальнего Востока: наибольшее распространение имеют жимолости съедобная (*Lonicera edulis*) и очень близкая к ней Турчанинова (*Lonicera turczaninowii*); севернее о. Уруп жимолость съедобная замещается жимолостью камчатской (*Lonicera kamtschatica*); в Приморском и Хабаровском краях и в Амурской области широкое распространение имеют жимолости Максимовича (*Lonicera maximowiczii*), Рупрехта (*Lonicera ruprechtiana*), Маака

(*Lonicera maakii*), татарская (*Lonicera tatarica*), каприфоль (*Lonicera caprifolium*), используемые как декоративные кустарники, так как их ягоды несъедобны [4; 9]. В дальневосточной флоре имеются пять видов боярышника: перистонадрезанный (*Craetegus pinnatifida*) (в Приморском и Хабаровском краях, Амурской области); Максимовича (*Craetegus maximoviczii*) (Приморье и по Амуру от среднего течения до устья); даурский (*Craetegus dahurica*) (по Амуру, пока не описан в Приморском крае); зеленомясый (*Craetegus chlorosarca*) (Камчатка, Сахалин, Курилы); иозанский (*Craetegus jozana*) (горные леса Сахалина) [9; 17]. В дальневосточной части России произрастают три вида черемухи: азиатская (*Padus asiatica*), замещающая здесь черемуху обыкновенную (*Prunus padus*); Маака (*Padus maakii*), широко используемая в качестве декоративного растения; Сьори, или айнская (*Padus ssiori*), распространенная на Сахалине и Курильских островах [11].

Из ягодников вводятся в культуру голубика (*Vaccinium uliginosum*) и клюква крупноплодная (*Vaccinium macrocarpon*). Большую ценность для окультуривания представляют черничники – волосистый, или сахалинский (*Vaccinium hirtum*), и овальнолистный (*Vaccinium ovalifolium*), достигающие в высоту 1 м, произрастающие по опушкам хвойных и смешанных лесов Сахалина и гораздо реже – в Хабаровском крае. В последние годы, благодаря высокому содержанию витамина С в ягодах широкое распространение в садах получила актинидия. На юге российского Дальнего Востока произрастают 3 вида этой листопадной плодоносной лианы: коломикта (*Actinidia kolomicta*), острая (*Actinidia arguta*) и многодомная, или перчик (*Actinidia polygama*) [9; 18].

Вирозы плодово-ягодных культур на юге российского Дальнего Востока, на сегодняшний день, не относятся к наиболее актуальным проблемам региональной фитопатологии. Однако необходимо понимать причины такой ситуации и правильно использовать существующее «окно возможностей». Большое количество дикорастущих видов, родственных плодово-ягодным культурам, при отсутствии выраженных вирус-индуцированных эпифитотий свидетельствует об эффективной взаимной адаптации вирусов и их хозяев. Следует готовиться к тому, что в популяциях дальневосточных эндемиков циркулируют латентные фитовирусы, способные к быстрой активации при смене хозяев и/или условий окружающей среды. Это следует обязательно учитывать при использовании дальневосточных дикоросов, как правило, обладающих высокой или даже рекордной холодостойкостью, для получения новых морозоустойчивых сортов. С другой стороны, физико-географические, климатические и исторические особенности Дальнего Востока [5] имеют следствием относительную бедность видового состава как самих плодово-ягодных культур, так и завозных возбудителей их заболеваний, и местных переносчиков этих возбудителей, в первую очередь – тлей (Hemiptera: Aphidoidea) [19; 20] – что позволяет рассматривать дальневосточные территории страны как потенциальные места размещения безвирусных плантаций [21]. При этом, следует учитывать, что большую роль в распространении вирозов играет тот факт, что многие культуры размножают вегетативно, черенками, прививками и/или частями растений. Поскольку садовые и ягодные растения являются многолетними культурами, они часто поражаются сложным комплексом инфекционных агентов, которые накапливаются за период вегетации, а также могут в разной степени проявляться на различных хозяевах.

Наибольшую обеспокоенность специалистов в отношение дальневосточных плодово-ягодных культур вызывают вирусы из рода *Nepovirus* (Picornavirales: Secoviridae), основными переносчиками которых являются корневые нематоды (Nematoda) из родов *Xiphinema* и *Longidorus* – именно эта экологическая особенность лежит в основе названия рода: NEmatode-transmitted POlyhedral viruses (полиэдрические вирусы, передаваемые нематодами) [22; 23]. По данным ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, эти нематоды определяются во всех регионах российского Дальнего Востока, за исключением самых северных [22; 24]. В настоящее время, отсутствуют данные о том, что неповирусов способны репродуцироваться в клетках нематод, однако эти вирусы длительное время (по крайней мере, до месяца) сохраняют инфекционность в канале стилета и в пищеводе нематод [25]. Многие неповирусы могут распространяться семенами и пыльцой, что позволяет рассматривать насекомых-опылителей в качестве неспецифических контактных переносчиков [23; 24].

Например, неповирус кольцевой пятнистости томата (ToRSP – Tomato ringspot virus), широко распространённый в Северной Америке, проникнув в Европу из США с инфицированными пеларгониями (*Pelargonium* sp.), описан как возбудитель целого ряда фитопатологий садовых культур: крапчатости листьев черешни, желтой мозаики почек персика и миндаля, некроза и отмирания прививок яблони, ямчатости древесины косточковых, коричневой линии на спайке сливы [26; 27].

В Приморском крае ToRSP был впервые описан О.Г. Гордейчук в 1975 г. [28] в результате ранневесенних обследований плантаций чёрной смородины (*Ribes nigrum*) на Приморской плодово-ягодной опытной станции: на молодых листьях имелись яркие кольцеобразные пятна (рис. 1А), которые через 2–3 недели исчезали, но на развитых листьях сохранялся жёлтый узор (рис. 1Б); ягоды на заражённых кустах измельченные, созревают раньше срока и быстро осыпаются. Наличие ToRSP было подтверждено методом индикаторных растений путем заражения томата (*Solanum lycopersicum*), табака обыкновенного (*Nicotiana tabacum*), дурмана обыкновенного (*Datura stramonium*), фасоли (*Phaseolus vulgaris*) cv. Pinto и петунии гибридной (*Petunia hybrida*), а также серологическими методами. ToRSP обнаруживали и на *R. dikuscha* в коллекции дикоросов Приморской опытной станции [28; 29], хотя в естественных условиях этот вирус на смородине-дикуше не описан [30].

На смородине черной в Приморском крае выявлено заболевание по симптомам схожее с махровостью (реверсией) [31–34]. Возбудитель этого заболевания нуждается в дальнейшей идентификации и дифференцировки от микоплазм семейства Mycoplasmataceae.

На ягодных культурах в Приморье были выявлены и другие неповирусы: мозаики резухи (ArMV – *Arabis* mosaic virus) и кольцевой пятнистости малины (RpRSV – Raspberry ringspot virus) [22; 29].

А Б

Рисунок 1. Симптомы инфекции вируса кольцевой пятнистости томата (ToRSP) у черной смородины (*Ribes nigrum*): А – кольцеобразные пятна на молодых листьях; Б – желтый узор в зрелых листьях
Figure 1. Symptoms of Tomato Ringspot Virus (ToRSP) infection in Black Currant (*Ribes nigrum*):
А – ring-shaped spots in young leaves; Б – yellow pattern in mature leaves

В последнее десятилетие на малине широко распространилось заболевание, характеризующееся пожелтением листьев (рис. 2А) и отставанием в росте побегов (рис. 2Б). В препаратах из листьев больных растений выявлены округлые частицы (рис. 2В), напоминающие вирионы неповирусов, однако серологическое родство с ArMV, RpRSV, ToRSP и неповирусом кольцевой пятнистости табака (TRSV – Tobacco ringspot virus) не было выявлено [22].

А Б В

Рисунок 2. Симптомы пожелтения листьев и отставанием в росте побегов у малины обыкновенной (*Rubus idaeus*): А – внешний вид больного растения; Б – укороченный побег; В – вирусные частицы на электронно-микроскопической фотографии препарата листа больного растения
Figure 2. Symptoms of yellowing of leaves and stunting in shoot growth in the Red Raspberry (*Rubus idaeus*):
А – appearance of diseased plant; Б – shortened shoot; В – viral particles in an electron microscopic photograph of a leaf preparation of a diseased plant

Достаточно часто выявляются симптомы заболеваний, схожие с вирусными, на землянике садовой, или ананасной (Fragaria × ananassa): карликовость, односторонняя деформация листьев, пожелтение (рис. 3). В препаратах из больных растений выявлены сферические частицы диаметром около 30 нм. Иммунохимический анализ показал слабое антигенное родство с TRSV, но передать на индикаторные растения патоген не удалось. В научной литературе известны 4 наиболее вредоносных для этой ягодной культуры вируса: морщинистости земляники (SCV – Strawberry crinkle virus) (Mononegavirales: Rhabdoviridae, *Cytorhabdovirus*), пятнистости земляники (SMoV – Strawberry mottle virus) (Picornavirales: Secoviridae,

Sadwavirus), слабого желтого края земляники (SMYEV – Strawberry mild yellow-edge virus) (Tymovirales: Alphaflexiviridae, *Potexvirus*) и окаймления жилок земляники (SVBV – Strawberry vein-banding virus) (Ortervirales: Caulimoviridae, *Caulimovirus*) [34; 35].

На винограде в Приморском крае еще в 1960-е годы выявлен инфекционный хлороз (рис. 4), который поражал сорта и североамериканского, и местного происхождения [36]. Идентификация патогена не проводилась. На основании описанной симптоматики, можно предположить, что возбудителями заболевания мог являться комплекс вирусов, в том числе, – короткоузлия винограда (GFLV – Grapevine fanleaf virus) (Picornavirales: Secoviridae, *Nepovirus*). Позднее, из растений с линейным узором на листьях вирус был успешно передан на травянистые индикаторы. Авторы по совокупности признаков предварительно идентифицировали его как вирус линейного узора винограда (GLPV – Grapevine linear pattern virus) (Martellivirales: Bromoviridae, *Anulavirus*) [37]. Таким образом, было выявлено лишь несколько заболеваний, в то время как перечень вирусов, поражающих виноград, обширен и включает в себя почти три десятка видов [38; 39]. Несколько вирусов было выявлено в провинции Синьцзян КНР [40]. А поскольку интерес к виноградарству на юге российского Дальнего Востока неуклонно возрастает, и появляются новые адаптированные к местным условиям сорта, то изучение и идентификация вирусов винограда с целью разработки мер защиты становится все более актуальным.

Рисунок 3. Пожелтение и деформация листьев у земляники садовой (Fragaria × ananassa)
Figure 3. Yellowing and deformation of leaves in Strawberry (*Fragaria × ananassa*)

Рисунок 4. Хлороз на листьях винограда культурного (*Vitis vinifera*)
Figure 4. Chlorosis on the leaves of the Common Grape Vine (*Vitis vinifera*)

В последние два десятилетия в Приморском крае многие садоводы отмечают плохую приживаемость прививок косточковых культур – абрикоса и сливы. В ряде случаев нами обнаружены на сливах, корневые отпрыски которых использовали в качестве подвоя, симптомы в виде желтых пятен на листьях (рис. 5). Симптомы наблюдали в весенний период, а в дальнейшем они исчезали. Электронной микроскопией, в препаратах из пораженных растений, были выявлены сферические частицы, часто пустотелые (рис. 6). Мы предполагаем, что патоген может относиться к роду *Nepovirus*, для представителей которого свойственно подобное течение болезни. Ранее нами было показано, что неповирусы широко распространены в регионе. Они были выявлены на перце овощном (*Capsicum annuum*), пажитнике (*Trigonella foenum-graecum*), кориандре посевном, или кинзе (*Coriandrum sativum*), а также дикорастущих растениях: астре шершавой (*Doellingeria scabra*), бархате амурском (*Phellodendron amurense*), фриме азиатской (*Phryma asiatica*) [22].

На семечковых плодовых культурах юга российского Дальнего Востока выявлено несколько заболеваний предположительно вирусной природы – пятнистость на листьях яблони, отмирание ветвей, но идентифицировать их пока не удалось. В то же время в регион завозится много прививочного материала с европейской части страны, где заражённость садовых культур значительная [41], и поэтому возможно распространение вирусных болезней семечковых, идентифицированных в этом регионе.

Многие виды тлей (Hemiptera: Aphidoidea), кормлящихся на садовых культурах, способны распространять фитовирусы [23; 42; 43]. Многие фитовирусы, распространенные на Дальнем Востоке, имеют хозяев одновременно и среди травянистых, и среди древесных растений. У декоративных древесных пород известны 34 подробно описанных вируса в

172 комбинациях «вирус-хозяин». Отмечено, что некоторые вирусы имеют широкий круг растений-хозяев и способны заражать представителей самых разнообразных семейств, в том числе и филогенетически далеких. Так, Y-вирус картофеля (PVY – Potato virus Y) (Patatavirales: Potyviridae, *Potyvirus*) выделен из красной смородины (*Ribes rubrum*); вирус кольцевой пятнистости гвоздики (CRSV – Carnation ringspot virus) (Tolivirales: Tombusviridae, *Dianthovirus*) – из груши; вирус желтой мозаики клевера (ClYMV – Clover yellow mosaic virus) (Tymovirales: Alphaflexiviridae, *Potexvirus*) – из яблони [44]. По данным этих авторов, вирус огуречной мозаики (CMV – Cucumber mosaic virus) (Martellivirales: Bromoviridae, *Cucumovirus*) передается на различные плодово-ягодные культуры более чем 70 видами тлей. В частности, вирозам подвержены яблоня, черемуха, боярышник, жимолость. Вирус мозаики люцерны (AMV – Alfalfa mosaic virus) (Martellivirales: Bromoviridae, *Alfamovirus*) может поражать калину и жасмин. Он был выделен также из бессимптомных растений *Ribes* и *Rubus* [45; 46].

Рисунок 5. Желтые пятна на листьях сливы домашней (*Prunus domestica*)
Figure 5. Yellow spots on leaves of European Plum (*Prunus domestica*)

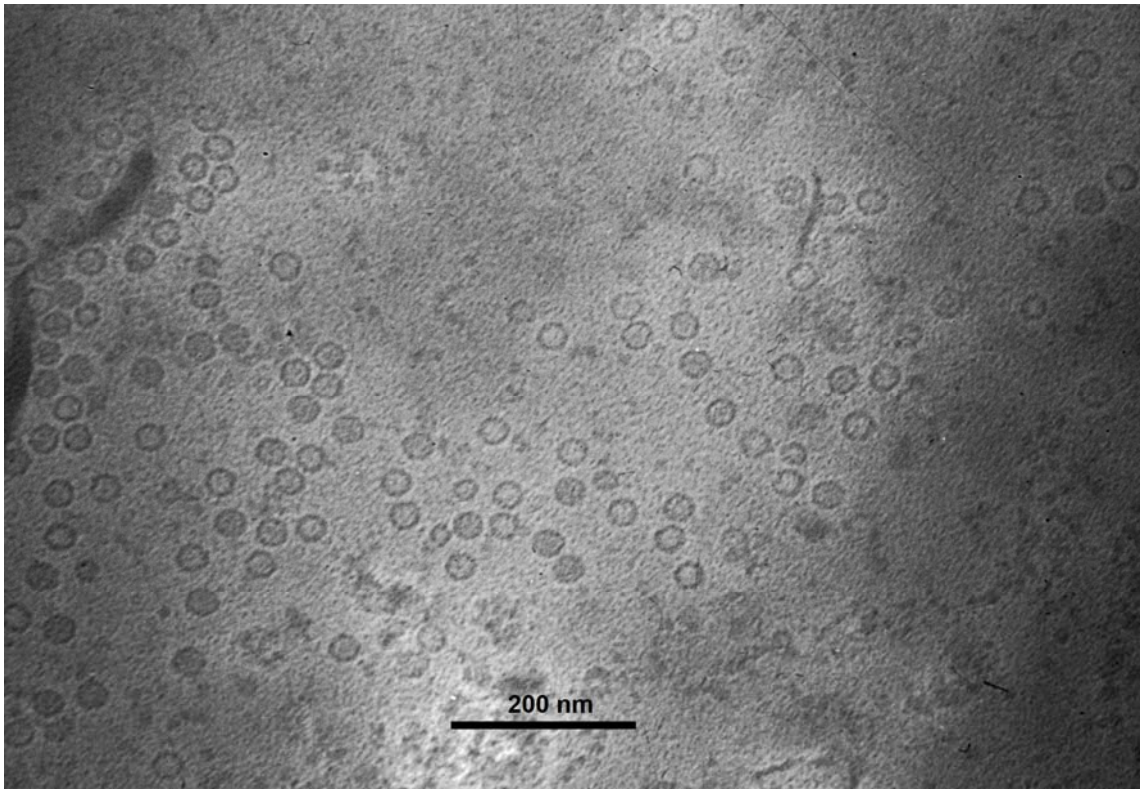


Рисунок 6. Большое количество пустотелых округлых частиц в препаратах листьев зараженных растений сливы домашней (*Prunus domestica*)
Figure 6. A large number of hollow rounded particles in preparations of leaves of infected plants of European Plum (*Prunus domestica*)

Следует, однако, иметь в виду, что многолетние плодово-ягодные растения далеко не всегда являются гарантированными долговременными резервуарами фитовирусов, и что плодовые насаждения – постоянный антропогенный источник тлей-переносчиков вирусных инфекций. В действительности эти взаимоотношения не столь облигатны, как может показаться. Во-первых, мигрирующие виды афидид используют плодово-ягодные деревья и кустарники в качестве основного кормового растения непродолжительное время – первые 2–3 поколения. Вылупившиеся из перезимовавших яиц особи стерильны. В процессе питания они могут воспринять лишь вирусы специфические для плодово-ягодных культур. При миграции крылатых партеногенетических самок эта инфекция может быть донесена до следующих кормовых растений (в том числе полевых и огородных культур), но нет сведений, подтверждающих восприимчивость последних к специфическим «плодово-ягодным» фитовирусам. Во-вторых, инфицирование плодово-ягодных насаждений вирусами, имеющими широкий круг растений-хозяев (например, CMV, AMV), может произойти лишь в двух случаях: при случайном посещении неполноциклыми видами тлей садовых растений и при ремиграции на них с травянистых растений полноциклых видов афидид. В обоих случаях тли должны быть вирофорны (т.е. содержать на стилете инфекционные вирусные частицы). Время перелета вектора с пораженных вирозами травянистых растений до плодово-ягодных насаждений должно быть ограниченным, чтобы переносчик не успел утратить вирусофорность. Еще одно важное условие: тля-переносчик должна делать на растении (предполагаемом восприемнике инфекции) пробные уколы питания. Таким образом, перечень условий, необходимых для инфицирования плодово-ягодных культур несвойственными для них вирусами, достаточно обширен, а вероятность инфицирования растений за пределами плодово-ягодных посадок – невысокой. Вместе с тем, было бы ошибкой совсем исключать плодово-ягодники в качестве источника распространения фитовирусов тлями, особенно – если растение-акцептор находится в стадии саженца. Об этом свидетельствуют как экспериментальные данные, так и результаты визуальных наблюдений [44].

Начиная с 1966 г. сборы тлей с дикорастущих видов и культивируемых плодово-ягодных растений проводили на стационаре Горно-таежной станции ДВО РАН и в процессе осуществления экспедиционных маршрутов в природных экосистемах Дальнего Востока. Были выявлены несколько видов афидид, повреждающих плодово-ягодные культуры. В табл. 1 приведены сводные данные о выявленном видовом составе тлей [19; 20; 42], дополненные информацией из научной литературы, посвящённой афидофауне юга российского Дальнего Востока [47–51].

Большинство видов, представленных в табл. 1, полноциклые и двудомные. Со своих первичных (основных) растений-хозяев – представителей розоцветных (Rosales), камнеломковых (Saxifragaceae), жимолостных (Caprifoliaceae) и барбарисовых (Berberidaceae) – они мигрируют на различные травянистые растения, чаще – на злаки и астровые. Вместе с тем, имеются и полноциклые, и однодомные (немигрирующие) виды (в первую очередь, – *Aphis pomi*). Встречаются виды, как распространенные убиквитарно (например, *Hyalopterus pruni*, *Rhopalosiphum nymphaeae*), так и эндемики южного Приморья (*Prociphilus kuwanae*, *Schizaphis pyri*). В целом видовой состав тлей плодовых и ягодных культур на российском Дальнем Востоке обеднен по сравнению с афидофауной плодово-ягодных насаждений в Европе [52].

Нельзя не учитывать и то обстоятельство, что изучение афидофауны плодово-ягодных агроценозов на Дальнем Востоке не завершено, для ряда сложных видовых комплексов не определен таксономический ранг, биология и экология многих зафиксированных видов недостаточно изучена, что лишает возможности провести дифференциацию «сложных» видов.

Практически все возделываемые полевые культуры – вторичные кормовые растения тлей, где они проводят основную часть своего жизненного цикла. Высокая кормовая ценность сельскохозяйственных растений и довольно длительный период их вегетации обеспечивают этим насекомым высокий репродуктивный потенциал: здесь они успевают дать в 5–7 раз больше поколений, чем на основных растениях-хозяевах (2–3 поколения). Двудомные виды мигрируют в поле с первичных хозяев – древесно-кустарниковых пород. Неполноциклые виды афидид попадают на полевые растения, разлетаясь из мест перезимовки. В том и другом случаях на полевые культуры перемещается уже сформировавшийся и довольно значительный по численности запас вредителя. Поле – открытое, хорошо продуваемое пространство. Подхваченные воздушными потоками крылатые афидиды могут быть перенесены на десятки и сотни метров в глубину агроценоза. Из-за этого в поле возникают многочисленные очаги первоначального заселения растений тлями. Распределение таких очагов по полю скорее случайное, нежели закономерное, хотя краевая полоса поля с наветренной стороны заселяется насекомыми, как правило, сильнее.

При перезимовке основное количество яйцекладок тлей погибает. В отдельные годы жизнеспособными остаются не более 4% яиц. Вылупившиеся из них личинки на первых порах не представляют серьезной опасности для насаждений. Однако с достижением основательницами имагинальной фазы ситуация обостряется. У многих видов афидид эта морфа обладает повышенной плодовитостью – 60–80 и более личинок за период жизни. Дочернее поколение основательниц через 10–14 сут. (с учетом температурного фактора в весенне-летний сезон) становится половозрелым и способно само к живорождению. Темпы нарастания численности популяции увеличиваются. Однако плотность ее не достигает тех размеров, что фиксируется в последствии в поле. Двудомные виды тлей мигрируют на вторичные растения, не успев нанести значительного урона своим основным кормовым растениям-хозяевам. Исключение составляют однодомные полноциклые тли наподобие *A. pomi*. Партеногенетическое размножение таких тлей с конца мая до начала октября на отдельно стоящих деревьях приводит к массовому заселению их вредителем со всеми вытекающими негативными последствиями: нарушением фотосинтеза, ослаблением растения, отставанием его в росте, ухудшением плодоношения, плохой перезимовкой и, в конечном итоге, усыханием. Аналогичные повреждения плодово-ягодных насаждений могут вызвать и

полноциклые виды тлей, если до миграции на вторичные (травянистые) растения они успели образовать обильные колонии и заселить ими значительную часть вегетативной массы. Обычно это происходит в годы с теплой снежной зимой (сохраняется большое количество жизнеспособных яиц) и с теплой весной (сокращается период развития личинок тлей до имаго). Повторяющееся из года в год значительное заселение тлями плодовых деревьев и ягодных кустарников также ведет к ослаблению растений, преждевременному опадению плодов (ягод) и постепенному усыханию.

Таблица 1. Виды тлей, выявленные на садовых и ягодных культурах и родственных дикорастущих видах Дальнего Востока России
Table 1. Aphid species identified on garden and berry crops and related wild species of the Russian Far East

Тли (в алфавитном порядке) Aphids (in alphabetical order)	**Растения-хозяева** Host plants
Acyrthosiphon sp.	*Rosa davurica*
Amphicercidus japonicus	*Lonicera* sp.
Amphorophora rubi	*Rubus* subg. *Eubatus*
Aphis fragariae	*Fragaria* sp.
Aphis grossulariae	*Ribes* sp.
Aphis idaei	*Rubus* sp.
Aphis pomi	*Craetegus dahurica*, *Malus sibirica*
Aphis ruborum	*Rubus crataegifolius*, *Rubus sachalinensis*
Brachycaudus helichrysi	*Prunus domestica*
Cryptomyzus ribis	*Ribes dikuscha*, *Ribes mandshuricum*, *Ribes maximoviczianum*, *Ribes nigrum*, *Ribes pauciflorum*
Disaphis crataegi	*Craetegus dahurica*
Disaphis orientalis	*Malus manshurica*, *Malus sibirica*
Hyalomyzus malisuctus	*Malus manshurica*
Hyalopterus pruni	*Padus asiatica*, *Prunus domestica*, *Prunus mandshurica*
Hyperomyzus lactucae	*Grossularia acicularis*
Hyperomyzus pallidus	*Ribes nigrum*
Liosomaphis berberidis	*Berberis amurensis, Berberis vulgaris*
Longicandus trihodus	*Rosa* sp.
Macrosiphum rosae	*Rosa acicularis*, *Rosa davurica*, *Rosa rugose*
Matsumuraja ribi	*Ribes* sp.
Matsumuraja rubifolia	*Rubus* sp.
Matsumuraja taisetsusana	*Rubus* sp.
Metopolophium dirhodum	*Rosa acicularis*, *Rosa davurica*
Myzaphis rosarum	*Rosa acicularis*, *Rosa davurica*
Myzus cerasi	*Prunus* subgen. *Cerasus*
Myzus mumecola	*Prunus domestica*, *Prunus mandshurica*, *Prunus sibirica*
Myzus padellus	*Prunus* sp.
Neorhopalomyzus lonicericola	*Lonicera maximowiczii*
Ovatus insitus	*Craetegus maximoviczii*
Phorodon humuli	*Prunus domestica*, *Prunus ussuriensis*
Prociphilus kuwanae	*Pyrus communis*, *Pyrus ussuriensis*
Rhopalomyzus lonicerae	*Lonicera maakii*, *Lonicera maximowiczii*, *Lonicera ruprechtiana*
Rhopalosiphum insertum	*Pyrus communis*, *Malus domestica*, *Crataegus laevigata*, *Malus sibirica*
Rhopalosiphum nymphaeae	*Prunus domestica*, *Prunus mandshurica*
Rhopalosiphum padi	*Padus asiatica, Prunus padus*
Sappaphis pyri	*Pyrus communis*, *Malus manshurica*
Shizaphis sp.	*Lonicera* sp.
Trichosiphonaphis lonicerae	*Lonicera* sp.
Tuberocephalus sacurae	*Prunus tomentosa*

Количественная оценка вредоносности, как самих тлей, так и переносимых ими вирусов на плодово-ягодных культурах в условиях российского Дальнего Востока не проводилась. Но известно, что возбудители заболеваний растений вирусной этиологии отличаются большой вредоносностью, приводят к заметному снижению урожая и ухудшению качества продукции. При сильном поражении отдельные культуры могут «вырождаться» (вытесняться из сортимента) или даже погибать. Такое положение сложилось, например, с малиной в нечерноземной зоне вследствие распространения микоплазменной карликовости и вирусных мозаик. Снижение урожайности только при поражениях малины курчавостью, вызываемой комплексом вирусов, составляет в среднем 46% [44]. Потери урожая плодовых культур от вирусного и микоплазменного поражения могут достигать 40%, а в отдельные годы – до 90%. Также отмечается и массовая гибель косточковых, когда число погибших деревьев доходило до 50%, а абрикоса – 5–10%, что связывается с поражениями вирусами, в частности из группы кольцевых пятнистостей [53]. При этом, отрицательное воздействие инфекции на рост и продуктивность растений постепенно усиливается по мере их старения. На Дальнем Востоке России подобная статистика для садовых культур до сих пор не велась, но актуальность

её создания – как следует из настоящего обзора – будет возрастать в процессе опережающего развития территории Дальнего Востока, сформулированного в программных документах Правительства Российской Федерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование биотехнологий в области получения регионально-ориентированных сортов растений, экономический рост Восточной Азии в целом и опережающее развитие территории российского Дальнего Востока создают объективные перспективы развития здесь садоводства и расширения площадей, отводимых под плодово-ягодные культуры. Для того, чтобы сделать этот процесс устойчивым и избежать проблем со стороны опасных эпифитотий, необходимо интенсифицировать эколого-вирусологические исследования этого раздела фитовирусологии, а также повысить обеспеченность производителей сельскохозяйственной продукции доступными тест-системами, в первую очередь – в отношение вирусов, которые обсуждаются в настоящей работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов Ю.И., Ларина Э.И., Трускинов Э.В. Сельскохозяйственная фитовирусология. Санкт-Петербург: ВИЗР, 2016. 236 с.
2. Wilson C.R. Applied Plant Virology. Wallingford, 2014, 192 p.
3. Львов Д.К., Щелканов М.Ю., Громашевский В.Л. Влияние климатических факторов на циркуляцию природноочаговых вирусных инфекций в Северной Евразии // Материалы международного семинара «Изменение климата и здоровье населения России в XXI веке», Москва, 05-06 апреля, 2004. С. 84–105.
4. Воробьев Д.П. Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Ленинград: Наука, 1968. 278 с.
5. Царенко В.П., Царенко Н.А. История садоводства на Дальнем Востоке России. Владивосток, 2017. 300 с.
6. Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Щелканов М.Ю. Вирусные болезни растений Дальневосточного региона и создание Государственной коллекции вирусов и штаммов Восточной Азии на базе ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН // Материалы международной научной конференции, посвящённой 105-летию члена-корреспондента А.А. Амбросова и 80-летию со дня рождения академика В.Ф. Самерсова «Экологическая безопасность защиты растений», Прилуки, 24-26 июля, 2017. С. 79–84.
7. 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 международных научных чтений «Приморские Зори 2017», Владивосток, 20-22 апреля, 2017. С. 466–470.
8. Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Tolkach V.F., Shchelkanov M.Yu. Russian collection of viruses from East Asia as an element of biological safety ensuring // Materials of the 1-st International Conference “North-East Asia Biodiversity”, Vladivostok, 17-21 September, 2018, pp. 114.
9. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 1984. 272 с.
10. Витковский В.Л., Царенко В.П., Гаврилина З.М. Систематическое положение Prunus ussuriensis Koval. et Kostina // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1980. Т. 67. N 1. С. 49–62.
11. Прогунков В.В., Луценко А.В. Пыльценосные растения Приморья. Владивосток: Из-во ДВГУ, 1990. 120 с.
12. Юшев А.А., Орлова С.Ю. Дикорастущие виды вишен Кавказа, Центральной Азии и Дальнего Востока // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. N 3. С. 59–62. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-59-62
13. Носульчак В.А. Амурский виноград – русский виноград // Виноделие и виноградарство. 2020. N 2. С. 9–18.
14. Нечаев А.А. Дикорастущие смородины российского Дальнего Востока // Плодоводство и ягодоводство России. 2013. Т. 37. N 2. С. 183–190.
15. Дарман Г.Ф. Крыжовник буреинский – *Grossularia burejensis* (F. Schmidt) A. Berger // В кн.: Красная книга Амурской области. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Благовещенск, 2020. С. 273–274.
16. Мидзушима М., Аида М., Роон Т.П. Растения в жизни коренных жителей Сахалина – народа уильта (ороков) // Вестник Сахалинского музея. 2007. N 1. С. 162–200.
17. Губанов И.А., Крылова И.Л., Тихонова В.Л. Дикорастущие полезные растения СССР. Москва: Мысль, 1976. 360 с.
18. Нечаев А.А. Ресурсы актинидии на российском Дальнем Востоке // Плодоводство и ягодоводство России. 2015. Т. 41. С. 256–260.
19. Дьяконов К.П. Роль массовых вредителей-насекомых в инвазии ряда фитопатогенных вирусов // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2000. Вып. 10. С. 5–16.
20. Дьяконов К.П. Трофические связи тлей (Homoptera, Aphidinea) как пример оптимального использования насекомыми кормовых ресурсов // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2003. Вып. 13. С. 53–60.
21. Kakareka N., Volkov Yu., Tolkach V., Sapotskyi M., Shchelkanov M. Possibilities of obtaining and controlling virus-free material in the process of selection and seed production of main crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, vol. 937, id: 032108. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032108
22. Какарека Н.Н., Козловская З.Н., Волков Ю.Г., Плешакова Т.И., Сапоцкий М.В., Щелканов М.Ю. Неповирусы (Picornavirales, Secoviridae, Nepovirus) на юге Дальнего Востока: результаты многолетнего мониторинга // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 4. С. 105–119. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-4-105-119
23. Львов Д.К., Щелканов М.Ю. Сековирусы (Secoviridae) // В кн.: Руководство по вирусологии. Вирусы и вирусные инфекции человека и животных. Москва: Медицинское информационное агентство, 2013. С. 249–255.
24. Brown D.J., Halbrendt J.M., Robbins R.T., Vrain T.C. Transmission of Nepoviruses by Xiphinema americanum-group Nematodes // Journal of Nematology. 1993. V. 25. N 3. P. 349–354.
25. Schellenberger P., Andret-Link P., Schmitt-Keichinger C., Bergdoll M., Marmonier A., Vigne E., Lemaire O., Fuchs M., Demangeat G., Ritzenthaler C. A stretch of 11 amino acids in the betaB-betaC loop of the coat protein of grapevine fanleaf virus is essential for transmission by the nematode Xiphinema index // Journal of Virology. 2010. V. 84. N 16. P. 7924–7933. DOI: 10.1128/JVI.00757-10
26. Приходько Ю.Н., Шнейдер Ю.А., Живаева Т.С. Неповирус кольцевой пятнистости томата (ToRSV) – опасный патоген сельскохозяйственных культур // Карантин растений. 2013. Т. 4. N 6. С. 44–51.
27. Dunez J. Exotic virus and virus-like disease of fruit trees // EPPO Bulletin. 1981. V. 11. N 3. P. 251–258.
28. Гордейчук О.Г. Вирус кольцевой пятнистости томатов на некоторых представителях родов Ribes и Rubus в Приморском крае // В кн.: Вирусологические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: БПИ, 1975. С. 171–173.

29. Gordejchuk O.G., Krylov A.V., Krylova N.V., Samonina I.N. Virus diseases of berry crops in the Soviet Far East. I. Identification of the some mechanically transmitted viruses detected in Primorye territory // Zentralbl. Bakteriol. Parasitenkd. Infektionskr. Hyg. 1977. V. 132. N 8. P. 686–707.
30. Костин В.Д. Вирозы дикорастущих растений Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2005. 121 с.
31. Lemmetty A., Latvala S., Jones A. T., Susi P., McGavin W. J. Lehto K. Purification and properties of a new virus from black currant, its affinities with Nepoviruses, and its close association with black currant reversion disease // Phytopathology. 1997. V. 87. N 4. P. 404–413.
32. Lemmetty A., Latvala S., Lehto K. Comparison of different isolates of Black currant reversion virus // Acta Horticulture. 2001. V. 551. P. 45–50.
33. Petri S. Black currant reversion virus, a mite-transmitted Nepovirus // Molecular Plant Pathology. 2004. V. 5. N 3. P. 167–173.
34. Martin R.R., Tzanetakis I.E. High-risk strawberry viruses by region in the United States and Canada: Implications for certification, nurseries, and fruit production // Plant Disease. 2013. V. 97. P. 1358–1362.
35. Thompson J.R., Jelkmann W. The detection and variation of strawberry mottle virus // Plant Disease. 2003. V. 87. N 4. P. 386–390.
36. Лебедева Л.Я. Инфекционный хлороз винограда в Приморском крае // В кн.: Вирусные болезни сельскохозяйственных культур Дальнего Востока. Владивосток. ДВФ СО АН СССР, 1969. С. 147–154.
37. Самонина И.Н., Милкус Б.Н., Крылов А.В., Крылова Н.В. Вирусное заболевание винограда в Приморском крае // В кн.: Вирусные болезни растений Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 33–35.
38. Gualandri V., Asquini E., Bianchedi P. Covelli L., Brilli M., Malossini U., Bragagna P., Saldarelli P., Si-Ammour A. Identification of herbaceous hosts of the Grapevine pinot gris virus (GPGV) // European Journal of Plant Pathology. 2017. V. 147. P. 21–25. DOI: 10.1007/s10658-016-0989-4
39. Martelli G.P. Directory of virus and virus-like diseases of the grapevine and their agents // Journal of Plant Pathology. 2014. V. 96. N 1. P.1–130.
40. Ribeiro G.P., Saldarelli P., Hong N., Xiang B.C., Zhang X.L., Wang G.P., Martelli G.P. First record of three grapevine viruses in the Chinese province of Sinkiang // Journal of Plant Pathology. 2004. V. 86. N 3. P. 264–264.
41. Упадышев М.Т., Метлицкая К.В., Петрова А.Д. Распространенность вирусных болезней плодовых и ягодных культур // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. Т. 44. N 2. С. 5–16.
42. Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Дьяконов К.П. К вопросу о передаче тлями (Homoptera Aphidinea) вируса кольцевой пятнистости табака // Известия ТСХА. 2010. Вып. 2. С. 105–109.
43. Martin R.R., MacFarlane S., Sabanadzovic S., Quito D., Poudel B., Tzanetakis I.E. Virus and virus diseases of Rubus // Plant Diseases. 2013. V. 97. N 2. P. 168–182.
44. Келдыш М.А., Помазков Ю.И. Вирусные и микоплазменные болезни древесных культур. Москва: Наука, 1985. 133 с.
45. Kennedy J.S., Day M.F., Eastop V.F. A conspectus of aphids as vectors of plant viruses. London, Commonwealth Institute of Entomology. 1962.114 p.
46. Mukhopadhyay S. Plant virus, vector epidemiology and management. Enfield, Science Publishers. 2011. 174 p.
47. Ивановская О.И., Купянская А.Н. Тли – вредители зеленых насаждений городов Приморского края // В кн.: Энтомологические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1970. С. 197–207.
48. Криволуцкая Г.О. Энтомофауна Курильских островов. Ленинград: Наука, 1973. 316 с.
49. Пащенко Н.Ф. Тли (Aphidinea), повреждающие ягодные культуры в Приморском крае // В кн.: Таксономия насекомых Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 25–37.
50. Пащенко Н.Ф. Тли Homoptera, Aphidinea, повреждающие плодовые косточковые и семечковые культуры в Приморском крае // В кн.: Фауна и экология насекомых Приморского края и Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 92–120.
51. Определитель насекомых Дальнего Востока СССР. Т. 2. Равнокрылые и полужесткокрылые. Ленинград: Наука, 1988. 972 с.
52. Верещагин Б.В., Андреев А.В. Верещагина А.Б. Тли Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1985. 158 с.
53. Вердеревская Т.Д., Маринеску В.Г. Вирусные и микоплазменные заболевания плодовых культур и винограда. Кишинев: Штиинца 1985. 311 с.

REFERENCES

1. Vlasov Yu.I., Larina Ye.I., Truskinov Ye.V. *Sel'skokhozyaistvennaya fitovirusologiya* [Agricultural Phytovirology]. Saint-Petersburg, All-Russian Institute of Plant Protection, 2016, 236 p. (In Russian)
2. Wilson C.R. Applied Plant Virology. Wallingford, 2014, 192 p.
3. Lvov D.K., Shchelkanov M.Yu., Gromashevsky V.L. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na tsirkulyatsiyu prirodnoochagovykh virusnykh infektsii v Severnoi Evrazii [Influence of climatic factors on circulation of feral herd viral infections in Northern Eurasia]. *Materialy mezhdunarodnogo seminara «Izmenenie klimata i zdorov'e naseleniya Rossii v KhKhI veke», Moskva, 05–06 aprelya, 2004* [Proceeding of the International Workshop “Climate Change and Public Health in Russia in the XXI Century”, Moscow, 05–06 April 2004]. Moscow, 2004, pp. 84–105. (In Russian)
4. Vorobyev D.P. *Dikorastushchie derev'ya i kustarniki Dal'nego Vostoka* [Wild Trees and Shrubs of the Far East]. Leningrad, Nauka Publ., 1968, 278 p. (In Russian)
5. Tsarenko V.P., Tsarenko N.A. *Istoriya sadovodstva na Dal'nem Vostoke Rossii* [History of Gardening in the Russian Far East]. Vladivostok, 2017, 300 p. (In Russian)
6. Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Shchelkanov M.Yu. Virusnye bolezni rastenii Dal'nevostochnogo regiona i sozdanie Gosudarstvennoi kollektsii virusov i shtammov Vostochnoi Azii na baze FNTs Bioraznoobraziya DVO RAN [Viral diseases of plants in the Far Eastern region and the creation of the State Collection of Viruses and Strains of East Asia on the basis of the Federal Scientific Center of Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 105-letiyu chlena-korrespondenta A.A. Ambrosova i 80-letiyu so dnya rozhdeniya akademika V.F. Samersova «Ekologicheskaya bezopasnost' zashchity rastenii», Priluki, 24-26 iyulya, 2017* [Materials of the International Scientific Conference “Environmental Safety of Plant Protection” dedicated to the 105-th anniversary of birth of the corresponding member A.A. Ambrosov and the 80-th anniversary of birth of the academician V.F. Samersov, Priluki, 24-26 July 2017]. Priluki, 2017, pp. 79–84. (In Russian)
7. Shchelkanov M.Yu., Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Kozlovskaya Z.N., Sapotsky M.V., Tolkach V.F., Pleshakova T.I., Gapeka A.V., Galkina I.V. Organizatsiya Rossiiskoi gosudarstvennoi kollektsii 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 mezhdunarodnykh nauchnykh chtenii «Primorskie Zori 2017», Vladivostok, 20–22 aprelya, 2017* [Materials of International Scientific Conference “Seaside Dawns 2017”, Vladivostok, 20–22 April 2017]. Vladivostok, 2017, pp. 466–470. (In Russian)
8. Kakareka N.N., Volkov Yu.G., Tolkach V.F., Shchelkanov M.Yu. Russian collection of viruses from East Asia as an

element of biological safety ensuring. Materials of the 1-st International Conference “North-East Asia Biodiversity”, Vladivostok, 17–21 September, 2018, pp. 114.
9. Usenko N.V. *Derev'ya, kustarniki i liany Dal'nego Vostoka* [Trees, Shrubs and Lianas of the Far East]. Khabarovsk, Khabarovsk Book Publ., 1984, 272 p. (In Russian)
10. Vitkovsky V.L., Carenko V.P., Gavrilina Z.M. The Systematic Position of Prunus ussuriensis Koval. et Kostina. Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding]. 1980, vol. 67, no. 1, pp. 49-62. (In Russian)
11. Progunkov V.V., Lucenko A.V. *Pyl'tsenosnye rasteniya Primor'ya* [Pollen – Bearing Plants of Primorye]. Vladivostok, Far Eastern State University Publ., 1990, 120 p. (In Russian)
12. Yushev A.A., Orlova S.Yu. Wild cherry species of the Caucasus, Central Asia and the Far East. Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding]. 2019, vol. 180, no. 3, pp. 59–62. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-59-62
13. Nosulchak V.A. Amur grapes – Russian grapes. Vinodelie i vinogradarstvo [Winemaking and Viticulture]. 2020, no. 2, pp. 9–18. (In Russian)
14. Nechaev A.A. Wild currants of the Russian Far East. Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii [Fruit and Berry Growing in Russia]. 2013, vol. 37, no. 2, pp. 183–190. (In Russian)
15. Darman G.F. Gooseberry bureinsky – Grossularia burejensis (F. Schmidt) A. Berger. In: *Krasnaya kniga Amurskoi oblasti. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rastenii i gribov* [The Red Book of the Amur Region. Rare and endangered Species of Animals, Plants and Fungi]. Blagoveshchensk, 2020, pp. 273–274. (In Russian)
16. Midzushima M., Aida M., Roon T.P. Plants in the life of the indigenous inhabitants of Sakhalin – the Wilta people (Oroks). Vestnik Sakhalinskogo muzeya [Bulletin of the Sakhalin Museum]. 2007, no. 1, pp. 162–200. (In Russian)
17. Gubanov I.A., Krylova I.L., Tihonova V.L. *Dikorastushchie poleznye rasteniya SSSR* [Wild Useful Plants of the USSR]. Moscow, Mysl Publ., 1976, 360 p. (In Russian)
18. Nechaev A.A. Actinidia resources in the Russian Far East. Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii [Fruit and Berry Growing in Russia]. 2015, vol. 41, pp. 256–260. (In Russian)
19. D’yakonov K.P. The role of mass insect pests in the invasion of a number of phytopathogenic viruses. Chteniya pamyati Alekseya Ivanovicha Kurentsova [Readings in Memory of Alexey Ivanovich Kurentsov]. 2000, iss. 10, pp. 5–16. (In Russian)
20. D’yakonov K.P. Trophic relationships of aphids (Homoptera, Aphidinea) as an example of the optimal use of feed resources by insects. Chteniya pamyati Alekseya Ivanovicha Kurentsova [Readings in Memory of Alexey Ivanovich Kurentsov]. 2003, iss. 13, pp. 53–60. (In Russian)
21. Kakareka N., Volkov Yu., Tolkach V., Sapotskyi M., Shchelkanov M. Possibilities of obtaining and controlling virus-free material in the process of selection and seed production of main crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 937, id: 032108. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032108
22. Kakareka N.N., Kozlovskaya Z.N., Volkov Yu.G., Pleshakova T.I., Sapotsky M.V., Shchelkanov M.Yu. Viruses of Nepovirus genus (Picornavirales, Secoviridae) in the South of the Far East: results of longitudinal monitoring. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no. 4, pp. 105–119. In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2017-4-105-119
23. Lvov D.K., Shchelkanov M.Yu. Secoviruses (Secoviridae). In: *Rukovodstvo po virusologii. Virusy i virusnye infektsii cheloveka i zhivotnykh* [Handbook of Virology. Viruses and Viral Infections of Humans and Animals]. Moscow, Medical Information Agency Publ., 2013, pp. 249–255. (In Russian)
24. Brown D.J., Halbrendt J.M., Robbins R.T., Vrain T.C. Transmission of Nepoviruses by Xiphinema americanum-group Nematodes. Journal of Nematology, 1993, vol. 25, no. 3, pp. 349–354.
25. Schellenberger P., Andret-Link P., Schmitt-Keichinger C., Bergdoll M., Marmonier A., Vigne E., Lemaire O., Fuchs M., Demangeat G., Ritzenthaler C. A stretch of 11 amino acids in the betaB-betaC loop of the coat protein of grapevine fanleaf virus is essential for transmission by the nematode Xiphinema index. *Journal of Virology*, 2010, vol. 84, no. 16, pp. 7924–7933. DOI: 10.1128/JVI.00757-10
26. Prihod'ko Yu.N., Shnejder Yu.A., Zhivaeva T.S. Tomato ring spotting nevovirus (ToRSV) is a dangerous pathogen of agricultural crops. Karantin rastenii [Plant Quarantine]. 2013, vol. 4, no. 6, pp. 44–51. (In Russian)
27. Dunez J. Exotic virus and virus-like disease of fruit trees. EPPO Bulletin, 1981, vol. 11, no. 3, pp. 251–258.
28. Gordejchuk O.G. Tomato ring spot virus on some representatives of the Ribes and Rubus genera in Primorsky Krai. In: *Virusologicheskie issledovaniya na Dal'nem Vostoke* [Virological Research in the Far East]. Vladivostok, Institute of Biology and Soil Sciences Publ., 1975, pp. 171–173. (In Russian)
29. Gordejchuk O.G., Krylov A.V., Krylova N.V., Samonina I.N. Virus diseases of berry crops in the Soviet Far East. I. Identification of the some mechanically transmitted viruses detected in Primorye territory. Zentralbl. Bakteriol. Parasitenkd. Infektionskr. Hyg., 1977, vol. 132, no. 8, pp. 686–707.
30. Kostin V.D. *Virozy dikorastushchikh rastenii Dal'nego Vostoka Rossii* [Viroses of Wild Plants of the Russian Far East]. Vladivostok, Dal’nauka Publ., 2005, 121 p. (In Russian)
31. Lemmetty A., Latvala S., Jones A. T., Susi P., McGavin W. J. Lehto K. Purification and properties of a new virus from black currant, its affinities with Nepoviruses, and its close association with black currant reversion disease. Phytopathology, 1997, vol. 87, no. 4, pp. 404–413.
32. Lemmetty A., Latvala S., Lehto K. Comparison of different isolates of Black currant reversion virus. Acta Horticulture. 2001, vol. 551, pp. 45–50.
33. Petri S. Black currant reversion virus, a mite-transmitted Nepovirus. Molecular Plant Pathology. 2004, vol. 5, no. 3, pp. 167–173.
34. Martin R.R., Tzanetakis I.E. High-risk strawberry viruses by region in the United States and Canada: Implications for certification, nurseries, and fruit production. Plant Disease, 2013, vol. 97, pp. 1358–1362.
35. Thompson J.R., Jelkmann W. The detection and variation of strawberry mottle virus. Plant Disease. 2003, vol. 87, no. 4, pp. 386–390.
36. Lebedeva L.Ya. Infectious chlorosis of grapes in Primorsky krai. In: *Virusnye bolezni sel'skokhozyaistvennykh kul'tur Dal'nego Vostoka* [Viral Diseases of Agricultural Crops of the Far East]. Vladivostok, Far Eastern Branch of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 1969, pp. 147–154. (In Russian)
37. Samonina I.N., Milkus B.N., Krylov A.V., Krylova N.V. Viral disease of grapes in Primorsky krai. In: *Virusnye bolezni rastenii Dal'nego Vostoka* [Viral Diseases of Plants of the Far East]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1975, pp. 33–35. (In Russian)
38. Gualandri V., Asquini E., Bianchedi P. Covelli L., Brilli M., Malossini U., Bragagna P., Saldarelli P., Si-Ammour A. Identification of herbaceous hosts of the Grapevine pinot gris virus (GPGV). *European Journal of Plant Pathology*, 2017, vol. 147, pp. 21–25. DOI: 10.1007/s10658-016-0989-4
39. Martelli G.P. Directory of virus and virus-like diseases of the grapevine and their agents. Journal of Plant Pathology, 2014, vol. 96, no. 1, pp. 1–130.

40. Ribeiro G.P., Saldarelli P., Hong N., Xiang B.C., Zhang X.L., Wang G.P., Martelli G.P. First record of three grapevine viruses in the Chinese province of Sinkiang. Journal of Plant Pathology, 2004, vol. 86, no. 3, pp. 264–264.
41. Upadyshev M.T., Metlickaja K.V., Petrova A.D. Prevalence of viral diseases of fruit and berry crops. Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii [Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia]. 2017, vol. 44, no. 2, pp. 5–16. (In Russian)
42. Volkov Yu.G., Kakareka N.N., D'yakonov K.P. On the issue of transmission of tobacco ring spot virus by aphids (Homoptera Aphidinea). Izvestiya TSKhA [Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy]. 2010, iss. 2, pp. 105–109. (In Russian)
43. Martin R.R., MacFarlane S., Sabanadzovic S., Quito D., Poudel B., Tzanetakis I.E. Virus and virus diseases of Rubus. Plant Diseases, 2013, vol. 97, no. 2, pp. 168–182.
44. Keldysh M.A., Pomazkov Yu.I. *Virusnye i mikoplazmennye bolezni drevesnykh kul'tur* [Viral and Mycoplasma Diseases of Tree Crops]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 133 p. (In Russian)
45. Kennedy J.S., Day M.F., Eastop V.F. A conspectus of aphids as vectors of plant viruses. London, Commonwealth Institute of Entomology, 1962, 114 p.
46. Mukhopadhyay S. Plant virus, vector epidemiology and management. Enfield, Science Publishers, 2011, 174 p.
47. Ivanovskaja O.I., Kupjanskaja A.N. Aphids are pests of green spaces of Primorsky krai cities. In: *Entomologicheskie issledovaniya na Dal'nem Vostoke* [Entomological Research in the Far East]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1970, pp. 197–207. (In Russian)
48. Krivolutskaya G.O. *Entomofauna Kuril'skikh ostrovov* [Entomofauna of the Kuril Islands]. Leningrad, Nauka Publ., 1973, 316 p. (In Russian)
49. Pashchenko N.F. Aphids (Aphidinea) damaging berry crops in Primorsky krai. In: *Taksonomiya nasekomykh Dal'nego Vostoka* [Taxonomy of Insects of the Far East]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences Publ., 1980, pp. 25–37. (In Russian)
50. Pashchenko N.F. Aphids Homoptera, Aphidinea damaging fruit stone and seed crops in Primorsky krai. In: *Fauna i ekologiya nasekomykh Primorskogo kraya i Kamchatki* [Fauna and Ecology of Insects of Primorsky Krai and Kamchatka]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences Publ., 1981, pp. 92–120. (In Russian)
51. *Opredelitel' nasekomykh Dal'nego Vostoka SSSR. T. 2. Ravnokrylye i poluzhestkokrylye* [Determinant of Insects of the Far East of the USSR. Vol. 2. Homoptera and Hemiptera]. Leningrad, Nauka Publ., 1988, 972 p. (In Russian)
52. Vereshchagin B.V., Andreev A.V. Vereshchagina A.B. *Tli Moldavii* [Aphids of Moldova]. Chisinau, Shtiinza, 1985, 158 p. (In Russian)
53. Verderevskaja T.D., Marinesku V.G. *Virusnye i mikoplazmennye zabolevaniya plodovykh kul'tur i vinograda* [Viral and Mycoplasma Diseases of Fruit Crops and Grapes]. Chisinau, Shtiinza Publ., 1985, 158 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Юрий Г. Волков, Надежда Н. Какарека, Валентина Ф. Толкач и Михаил Ю. Щелканов разработали концепцию статьи, подготовили ее текст. Михаил Ю. Щелканов отредактировал рукопись до подачи её в редакцию. Юрий Г. Волков, Надежда Н. Какарека и Валентина Ф. Толкач 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

Yury G. Volkov, Nadezhda N. Kakareka, Valentina F. Tolkach 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. Yury G. Volkov, Nadezhda N. Kakareka and Valentina F. Tolkach participated in the collection of field material, the selection of literature and its analysis. All authors participated equally in the writing of the manuscript and are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Юрий Г. Волков / Yury G. Volkov https://orcid.org/0000-0002-4631-1678
Надежда Н. Какарека / Nadezhda N. Kakareka https://orcid.org/0000-0002-2567-0452
Валентина Ф. Толкач / Valentina F. Tolkach https://orcid.org/0000-0002-1893-9580
Михаил Ю. Щелканов / Mikhail Yu. Shchelkanov https://orcid.org/0000-0001-8610-7623

Оригинальная статья / Original article
УДК 632.91
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-101-110

Изучение роли микроэлементов для синтеза антигрибных метаболитов штамма бактерии-антагониста *Bacillus velezensis*

Наталья С. Томашевич[1], Татьяна М. Сидорова[1], Ольга И. Киселева[2], Илья Ю. Курбатов[2], Валерия В. Аллахвердян[1], Анжела М. Асатурова[1]
[1]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Краснодар, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича», Москва, Россия

Контактное лицо
Наталья С. Томашевич, к.с.-х.н., с.н.с. лаборатории микробиологической защиты растений, ФГБНУ ФНЦБЗР; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о-39.
Тел. +79280388165
Email tom-s2@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-7297-5929

Формат цитирования
Томашевич Н.С., Сидорова Т.М., Киселева О.И., Курбатов И.Ю., Аллахвердян В.В., Асатурова А.М. Изучение роли микроэлементов для синтеза антигрибных метаболитов штамма бактерии-антагониста *Bacillus velezensis* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 101-110. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-101-110

Получена 21 августа 2022 г.
Прошла рецензирование 29 сентября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. Изучить состав экзометаболома бактерий штамма *Bacillus velezensis* BZR336g с применением с применением двумерной газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (GC×GC-MS) метода при культивировании на питательных средах, различающихся по содержанию микроэлементов.

Материалы и методы. Объект исследования – штамм бактерии *B. velezensis* BZR 336g. Он является перспективным для разработки на его основе биопрепарата для защиты растений от фитопатогенных грибов. Из жидкой культуры выделяли экзометаболиты и анализировали из метаболомный профиль методом GC×GC-MS.

Результаты. Среди идентифицированных соединений можно увидеть предшественники биологически активных метаболитов бактерий штамма *B. velezensis* BZR336g. Анализ суммарного накопления жирных кислот и их аналогов, а также аминокислот и пептидов бактериями *B. velezensis* BZR336g на питательных средах, различающихся по содержанию ионов металлов, показывает, что ионы Co^{2+} в сочетании с ионами Mn^{2+} и Zn^{2+} играют важную роль в индуцировании их синтеза. На синтез пептидных составляющих наибольшее влияние оказывает присутствие в питательной среде иона Co^{2+}. Если убрать его из питательной среды, количество пептидов, аминокислот и пептидов уменьшается почти в два раза. Соединения бензольной природы могут выступать в роли прекурсоров ароматических углеводородов, которые также представляют интерес при анализе метаболизма бактерий, так как они обладают антимикробной активностью.

Заключение. Количество соединений, которые являются прекурсорами метаболитов липопептидной природы, зависит от содержания ионов металлов в питательной среде. Этот факт может изменяться в зависимости от того, в какой комбинации присутствуют металлы.

Ключевые слова
Экзометаболиты, *Bacillus velezensis*, антигрибные липопептиды, газовая хроматография-масс-спектрометрия, метаболомный профиль.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Determining the role of microelements for the synthesis of antifungal metabolites of the antagonistic *Bacillus velezensis* strain

Natalia S. Tomashevich[1], Tatiana M. Sidorova[1], Olga I. Kiseleva[2], Ilya Yu. Kurbatov[2], Valeria V. Allahverdyan[1] and Anzhela M. Asaturova[1]

[1]Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia
[2]Institute of Biomedical Chemistry, Moscow, Russia

Principal contact
Natalia S. Tomashevich, Ph D (Agriculture), Senior Researcher, Microbiological Plant Protection Laboratory, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; p/o-39 Krasnodar, Russia 350039
Tel. +79280388165
Email tom-s2@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-7297-5929

How to cite this article
Tomashevich N.S., Sidorova T.M., Kiseleva O.I., Kurbatov I.Yu., Allahverdyan V.V., Asaturova A.M. Determining the role of microelements for the synthesis of antifungal metabolites of the antagonistic *Bacillus velezensis* strain. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 101-110. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-101-110

Received 21 August 2022
Revised 29 September 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract

Aim. To study the structure of bacteria exometabolites of the *Bacillus velezensis* BZR336g strain using the GC×GC-MS method when cultivated on nutrient media differing in the content of microelements.

Material and Methods. The object of the study is the *B. velezensis* BZR336g bacterium strain. It shows promise for the development of a biopreparation on its basis for protecting plants against phytopathogenic fungi. Exometabolites were isolated from the liquid culture and their metabolomic profile was analysed with the GC×GC-MS method using a LECO Pegasus BT-4D device.

Results. Among the identified compounds one can see the precursors of biologically active metabolites of bacteria of the strain *B. velezensis* BZR336g. Analysis of the total accumulation of fatty acids and their analogs, as well as of amino acids and peptides, by *B. velezensis* BZR336g bacteria on nutrient media differing in the content of metal ions, shows that Co^{2+} ions in combination with Mn^{2+} and Zn^{2+} ions play an important role in inducing their synthesis. The presence of the Co^{2+} ion in the nutrient medium has the greatest influence on the synthesis of peptide components. If it is removed from the nutrient medium, the amount of amino acids and peptides decreases by almost two times. Benzene compounds can act as precursors of aromatic hydrocarbons, which are also of interest in the analysis of bacterial metabolism, since they have antimicrobial activity.

Conclusions. The number of compounds that are precursors of lipopeptide metabolites depends on the content of metal ions in the nutrient medium. This fact may vary depending on the combination in which the metals are present.

Key Words
Exometabolites, *Bacillus velezensis*, antifungal lipopeptides, gas chromatography-mass spectrometry, metabolomic profile.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Применение полезных микроорганизмов в качестве агентов биоконтроля считается одним из наиболее перспективных методов эффективной и безопасной защиты растений. Род *Bacillus* включает некоторые из наиболее коммерчески важных бактерий, используемых для производства широкого спектра промышленных ферментов и микробиологических препаратов. Все чаще эти бактерии используют в качестве противогрибных средств биоконтроля [1; 2]. С биотехнологической точки зрения многие штаммы различных видов в пределах рода *Bacillus* продуцируют широкий спектр биоактивных пептидов и других структурно различных антагонистических веществ. Такие виды как *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* и *B. pumilus*, являются очень эффективными продуцентами молекул антибиотиков, и их ингибирующая активность против патогенов растений посредством прямого антибиоза является наиболее известным механизмом. Среди указанных выше антибиотиков особый интерес представляют липопептиды бацилл. Благодаря особенностям строения эти соединения амфифильны и устойчивы к гидролизу пептидазами и протеазами, а также нечувствительны к окислению, действию относительно высоких температур. Вместе с тем, их цистеиновые остатки могут окисляться до сульфидов и изменять структуру до характерных внутримолекулярных C–S-связей [3]. Циклические липопептидные соединения с тремя основными семействами итурина, сурфактина и фенгицина, а в последнее время также с представителями семейства курстакинов, являются хорошо известными соединениями с однозначными доказательствами в качестве ключевых факторов в биоконтроле [4].

Синтезом метаболитов бактерий можно управлять путем изменения условий культивирования, способствующих активации генов, ответственных за набор ферментов, необходимых для синтеза того или иного метаболита. Эффективным подходом для раскрытия метаболического потенциала, а также для активации «молчащих» генов является изменение состава макро- и микроэлементов (МЭ) питательной среды. Уровни индукции, подавления или даже ингибирования зависят от различных типов и количества металлов в питательной среде. Были опубликованы многочисленные сообщения о важности ионов металлов в биосинтезе метаболитов, особенно антибиотиков [5]. У некоторых актиномицетов было замечено, что использование металлов в технологии культивирования вызывает изменение биосинтетических метаболических путей, приводящих к формированию новых метаболитов, которые не образуются в изолятах дикого типа при нормальных условиях роста. Кроме того, синтез различных веществ усиливается, когда определенные металлические МЭ добавляются в питательную среду штаммов микроорганизмов, устойчивых к тяжелым металлам [5]. Их важность также подчеркивается тем, что почти 30% всех биосинтетических ферментов микроорганизмов взаимодействуют с металлическим кофактором.

Некоторые металлы с окислительно-восстановительными функциями, такие как Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Ni, Mo и Mg, являются ключевыми факторами для многих микробных ферментов, участвующих в путях биосинтеза метаболитов. Ионы марганца (Mn^{2+}) представляют большую значимость для питания микроорганизмов и, как было установлено, специфически участвуют в различных клеточных процессах, в том числе, в обмене веществ. Очевидно, что Mn^{2+} является важным регуляторным ионом микроорганизмов и играет значительную роль в биосинтезе предшественников липопептидных метаболитов, таких как жирные кислоты и липиды. Добавление в питательную среду Mn^{2+} (0,01 мМ) повысило продукцию сурфактина от 0,33 до 2,6 г/л [6]. Цинк (Zn) является важным металлом и, как сообщалось, участвует в различных биохимических реакциях, выполняя каталитические, структурные, окислительно-восстановительные и регуляторные функции. Как и в случае с железом, цинк играет решающую роль в формировании структурных элементов, стабилизации белковых складок микроорганизмов и, что наиболее важно, в регулировании функций различных метаболических ферментов в форме кофакторов и коактиваторов, участвующих в реакциях биосинтеза. Кобальт (Co) является важным металлом, поскольку он действует как кофактор для витамин B12-зависимых ферментов. Роль кобальта в продуцировании метаболитов была хорошо продемонстрирована у различных микроорганизмов, и есть несколько сообщений о регуляции продуцирования антибиотиков у актиномицетов.

Газовая хроматография-масс-спектрометрия (GC×GC-MS), являясь высокочувствительной и высокопроизводительной аналитической платформой, зарекомендовала себя как полезный инструмент для нецелевых исследований первичного метаболизма в различных областях применения [7]. Результаты анализа состава промежуточных соединений, полученных в ходе метаболизма бактерий, дают возможность сделать заключение о синтезе структур, обладающих биологической активностью.

Метаболомное исследование с применением метода GC×GC-MS представляет собой многоступенчатую процедуру. В связи с этим, стандартизация нецелевого протокола метаболомного профилирования методом GC×GC-MS требует комплексной оптимизации преданалитических, аналитических и вычислительных этапов. Основным отличием технологии GC×GC-MS от других аналитических платформ метаболомики, включая жидкостную хроматографию в тандеме с масс-спектрометрией (LC-MS), является необходимость дериватизации экстрактов метаболитов в летучие и термически стабильные производные, причем последние количественно определяются в метаболических профилях. Этот аналитический этап требует особой тщательности при оптимизации нецелевого экспериментального протокола исследования метаболома методом GC×GC-MS. Более того, для надежной идентификации и первичной количественной оценки обнаруженных метаболитов необходимо применять специализированные методики процессирования экспериментальных данных [7]. Данный метод позволяет селективно и с высокой чувствительностью обнаруживать и определять различные типы низкомолекулярных соединений в пробах сложного состава.

Цель исследования – с применением GC×GC-MS метода изучить структуру экзометаболитов бактерий штамма *B. velezensis* BZR336g при культивировании на питательных средах, различающихся по содержанию МЭ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – оригинальный штамм бактерии *B. velezensis* BZR 336g из Биоресурсной коллекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» и перспективный для разработки на его основе биопрепарата для защиты растений от фитопатогенных грибов [8].

Культивирование штамма бактерии проводили на оптимизированной питательной среде (ОПС) с добавлением комплекса МЭ [9] и ОПС с добавлением комплекса МЭ с поочередным исключением целевых ионов металлов (Mn^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+}). Схема эксперимента включала следующие варианты:

1 вариант – *B. velenzensis* BZR 336g (ОПС All) – Опытный образец биопрепарата на основе штамма *B. velenzensis* BZR 336g, культивируемый на ОПС с добавлением комплекса МЭ (Cu^{2+}; I^{-}; Mn^{2+}; Mo^{6+}; B^{3+}; Co^{2+}; Zn^{2+}; Fe^{2+});

2 вариант – *B. velenzensis* BZR 336g (ОПС без Mn^{2+}) – Опытный образец биопрепарата на основе штамма *B. velenzensis* BZR 336g, культивируемый на ОПС с добавлением комплекса МЭ за исключением Mn^{2+} (Cu^{2+}; I^{-}; Mo^{6+}; B^{3+}; Co^{2+}; Zn^{2+}; Fe^{2+});

3 вариант – *B. velenzensis* BZR 336g (ОПС без Zn^{2+}) – Опытный образец биопрепарата на основе штамма *B. velenzensis* BZR 336g, культивируемый на ОПС с добавлением комплекса МЭ за исключением Zn^{2+} (Cu^{2+}; I^{-}; Mn^{2+}; Mo^{6+}; B^{3+}; Co^{2+}; Fe^{2+});

4 вариант – *B. velenzensis* BZR 336g (ОПС без Co^{2+}) – Опытный образец биопрепарата на основе штамма *B. velenzensis* BZR 336g, культивируемый на ОПС с добавлением комплекса МЭ за исключением Co^{2+} (Cu^{2+}; I^{-}; Mn^{2+}; Mo^{6+}; B^{3+}; Zn^{2+}; Fe^{2+}).

Жидкую культуру (ЖК) на основе штамма *B. velenzensis* BZR 336g получали методом периодического культивирования в ротационном шейкере-инкубаторе Excella E25 (New Brunswick Scientific, США) при 180 об/мин, + 25,0°C и pH 7,0 в течение 48 часов.

Для выделения биологически активных экзометаболитов штамма *B. velenzensis* BZR 336g, культивируемого на различных питательных средах, ЖК очищали от микробных компонентов центрифугированием в течение 20 мин. при 10000 об./мин. (Eppendorf AG, Германия). Повторность опыта трехкратная.

Выделение метаболитов из полученной культуральной жидкости проводили экстракцией этилацетатом (х.ч.) (2:1, об./об.) при перемешивании в ротационном шейкере-инкубаторе Excella E25 (New Brunswick Scientific, США) в течение 1ч. После разделения органической и водной части этилацетат упаривали досуха на ротационном вакуумном испарителе IKA RV 10 при температуре 40°C. Для анализа метаболомного профиля опытных образцов биопрепаратов методом GC×GC-MS использовали высушенный экстракт экзометаболитов, которые затем перерастворяли в 100 мл этилацетата (х.ч.) в течение 18 часов в шейкере-инкубаторе, поддерживая температуру 25℃.

Для того, чтобы избавиться от потенциальной контаминации сложными липидами и восками, высушенные экстракты перерастворяли в 500 мкл 50% раствора ацетонитрила, центрифугировали (13 000 g, 2 мин, 4℃), и вновь высушивали надосадочную жидкость в центрифужном испарителе Vacufuge Plus (Eppendorf AG, Германия). Для выравнивания содержаний метаболитов проводили нормировку по количеству колониеобразующих единиц.

Для проведения хромато-масс-спектрометрии экзометаболитов использовали этилацетатный экстракт (5–10 мл ЖК). К каждому высушенному досуха образцу добавляли 10 мкл раствора гидрозлорида метоксиамина в пиридине (20 мг/мл) и далее перемешивали в течение 90 мин. в термошейкере ThermoMixer C (Eppendorf AG, Германия) при температуре 30°C. В качестве внутренних стандартов использовали смесь метиловых эфиров жирных кислот. После добавления силилирующего агента MSTFA и внутреннего стандарта к исследуемым образцам, пробирки с реакционной смесью перемешивали в течение 30 мин. в термошейкере при температуре 37°C, переносили в инактивированные стеклянные вставки и направляли на хромато-масс-спектрометрический анализ.

Непосредственно после высушивания образцы подвергали дериватизации.

Для метаболомного профилирования использовали прибор LECO Pegasus BT-4D (LECO, США). Конфигурация прибора включает двумерный газовый хроматограф Agilent 7890B, времяпролетный масс-спектрометр субноминального разрешения и магистральный пробоотборник L-PAL3. В рамках данного эксперимента использовали комбинацию низкополярной (Rxi-5MS, длина 29,69 м, внутренний диаметр 250 мкм, Restek) и среднеполярной (Rxi-17Sil MS, длина 1,95 м, внутренний диаметр 250 мкм, Restek) хроматографических колонок. Хромато-масс-спектрометр управлялся с помощью ПО ChromaTOF (v.5.51.06.0.64572, (LECO, США)). Перед экспериментом проводили процедуру калибровки с помощью стандарта перфтортрибутиламина (PFTBA, FC43).

Эксперимент проводили в двух технических повторениях для каждого образца. Образец (1 мкл) подавался в хроматограф через нагретый до 250°C инжектор в split-режиме. Стартовая температура в хроматографической печи составляла 60°C и поддерживалась в течение минуты, далее начинался температурный градиент (10°C/мин, 12 мин.). Период модуляции составлял 4 с. (горячий пульс – 1,2 секунды, холодный пульс – 0,8 секунды). Температура трансферной линии между газовым хроматографом и масс-спектрометром поддерживалась на уровне 280°C. Ионизацию элюирующих соединений осуществляли методом электронного удара (EI, 70 eV). Выдерживали 350-секундная отсрочка в записи GC×GC-MS файла для выхода неинформативных соединений (силилирующие агенты, пиридин) из хроматографической колонки.

Полученные хромато-масс-спектрометрические данные также обрабатывали в программе ChromaTOF Tile (LECO, США) – времена удерживания, величины m/z и интегрированные площади пиков корректировали. Для уменьшения многомерности экспериментальных данных применяли программное обеспечение ChromaTOF Tile (v.1.01, LECO, США), основанное на

использовании коэффициента Фишера. Принцип обработки этого программного обеспечения заключается в сравнении двух соответствующих областей хроматограммы (т.н. tiles) для обозначения находок низкой и высокой дисперсий. Диапазон анализируемых масс был ограничен m/z = 85 и m/z = 700. Метаболиты идентифицировали на основе их масс-спектров и времени удерживания с использованием библиотек Национального института стандартов и технологий (NIST), библиотек Mainlib и Feihn, а также открытого репозитория PubChem в Национальном институте здравоохранения (NIH). Для дальнейшей интерпретации выбирали идентификации с показателями прямого и обратного сходства (similarity и reverse similarity) более 800 [10].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью метода GC×GC-MS удалось обнаружить соединения, которые накапливались в ходе синтеза метаболитов бактериального штамма (табл. 1).

Таблица 1. Основные экзометаболиты штамма *B. velezensis* BZR 336g, обнаруженные методом GC×GC-MS
Table 1. Major exometabolites of *B. velezensis* strain BZR 336g, detected by GC×GC-MS

Класс Class	**Подкласс** Subclass	**Молекулярная формула** Molecular formula	**m/z характеристичного иона** Characteristic ion m/z	**Количественная оценка содержания метаболитов (относительные единицы) *** Quantification of metabolites content (relative units) *			
				ОПС All OCM All	ОПС без Mn^{2+} OCM without Mn^{2+}	ОПС без Zn^{2+} OCM without Zn^{2+}	ОПС без Co^{2+} OCM without Co^{2+}
Карбоновые кислоты и производные Carboxylic acids and derivatives	Аминокислоты, пептиды и аналоги Amino acids, peptides, and analogues	$C_4H_9NO_2$	85	23	35	23	12
Карбоновые кислоты и производные Carboxylic acids and derivatives	Аминокислоты, пептиды и аналоги Amino acids, peptides, and analogues	$C_6H_{13}NO_2$	86	3067	9128	16303	10015
Карбоновые кислоты и производные Carboxylic acids and derivatives	Аминокислоты, пептиды и аналоги Amino acids, peptides, and analogues	$C_3H_7NO_3$	218	98	869	190	125
Карбоновые кислоты и производные Carboxylic acids and derivatives	Аминокислоты, пептиды и аналоги Amino acids, peptides, and analogues	$C_{10}H_{18}N_2O_3$	154	581	972	2096	1351
Карбоновые кислоты и производные Carboxylic acids and derivatives	Аминокислоты, пептиды и аналоги Amino acids, peptides, and analogues	$C_5H_7NO_3$	156	478	2277	1280	3146
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензойные кислоты и производные Benzoic acids and derivatives	$C_8H_8O_2$	90	83	159	349	87
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензойные кислоты и производные Benzoic acids and derivatives	$C_7H_6O_4$	193	3973	1697	20782	3361
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензойные кислоты и производные Benzoic acids and derivatives	$C_7H_6O_3$	269	4	0	131	32

Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензойные кислоты и производные Benzoic acids and derivatives	$C_7H_7NO_2$	266	3696	6750	6679	1572
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензойные кислоты и производные Benzoic acids and derivatives	$C_7H_6O_2$	105	49873	274784	784745	663921
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензойные кислоты и производные Benzoic acids and derivatives	$C_7H_6O_3$	267	571	753	4267	1612
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензонитрилы Benzonitriles	C_7H_5NO	176	105	258	384	178
Бензол и производные Benzene and derivatives	Производные бензоила Benzoyl derivatives	C_8H_8O	91	10257	28018	24191	4880
Бензол и производные Benzene and derivatives	Производные бензоила Benzoyl derivatives	C_7H_6O	135	895	1903	6033	2230
Бензол и производные Benzene and derivatives	Производные бензоила Benzoyl derivatives	C_8H_8O	121	489	1316	1152	263
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензиловые спирты Benzyl alcohols	$C_7H_8O_2$	179	32312	248709	483806	164416
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензиловые спирты Benzyl alcohols	C_7H_8O	91	24463	233408	233082	191590
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензилцианиды Benzyl cyanides	C_8H_7NO	190	19772	45278	61538	21254
Бензол и производные Benzene and derivatives	Бензилтиоцианаты Benzyl thiocyanates	C_8H_7NS	91	38	190	3029	710
Жирные ацилы Fatty acyls	Эфиры жирных кислот Fatty acid esters	$C_{10}H_{18}O_2$	127	52	59	55	420
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{16}H_{30}O_2$	117	6805	36953	17063	8350
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_4H_6O_2$	147	4	11	12	8
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_5H_8O_2$	157	1065	2875	4139	1294
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты	$C_6H_8O_2$	169	408	146	6910	1013

	Fatty acids and conjugates						
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_5H_{10}O_3$	145	333	454	1003	668
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_5H_8O_2$	172	4	10	26	7
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{14}H_{26}O_2$	129	4475	7894	6111	2116
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{10}H_{20}O_2$	117	2528	8411	8116	3464
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugat1es	$C_{11}H_{22}O_2$	129	668	857	817	757
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{12}H_{24}O_2$	117	4405	8739	8037	5394
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{17}H_{34}O_2$	117	56131	74155	48971	15998
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{16}H_{32}O_2$	117	97813	136849	105473	44689
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_6H_{12}O_2$	159	12996	13839	57007	33537
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_9H_{16}O_4$	151	169	289	647	293
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{18}H_{36}O_2$	117	13475	17135	12818	10253
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_8H_{16}O_2$	117	6944	13268	25799	7647
Жирные ацилы Fatty Acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{18}H_{34}O_2$	117	7131	31186	19287	13718
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_{15}H_{30}O_2$	117	112028	139647	72406	39356
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and conjugates	$C_6H_{12}O_2$	147	1986	5050	8830	4141
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные кислоты и конъюгаты Fatty acids and	$C_{11}H_{22}O_2$	117	197	327	450	196

	conjugates						
Жирные ацилы Fatty acyls	Жирные спирты Fatty alcohols	$C_{14}H_{30}O$	97	9	10	13	6
Жирные ацилы Fatty acyls	Амиды жирных кислот Fatty amides	$C_{18}H_{35}NO$	86	132	1075	980	710

*Примечание: * – интегрированные площади под хроматографическими пиками*
*Note: * – integrated areas under chromatographic peaks*

Среди идентифицированных соединений можно увидеть предшественники биологически активных метаболитов бактерий штамма *B. velezensis* BZR336g. Представители рода *Bacillus* считаются «микробными фабриками» по производству широкого спектра биологически активных молекул, потенциально подавляющих патогенные грибы и бактерии *Bacillus* spp., продуцирующие нерибосомно синтезированные липопептиды и пептиды, проявляют сильную антимикробную активность, которая основана на их химической структуре [11]. Липопептиды *Bacillus* состоят из липидного хвоста, связанного с коротким линейным или циклическим олигопептидом, и обладают очень сложными механизмами биосинтеза, катализируемого нерибосомными пептидными синтетазами, большими ферментными комплексами с модульной структурой, где каждый модуль отвечает за включение определенной аминокислоты. Молекулы известных липопептидов содержат от 4 до 16 аминокислотных остатков в L- или D-конфигурации. Семейство сурфактинов (сурфактин, лихенизин, пумилацидин, галобацилин, бамилоцин) представляет собой гептапептиды. Они включают β-гидрокси-гептациклические депсипептиды с возможными вариациями аминокислот аланина, валина, лейцина или изолейцина в положениях 2, 4 и 7 в циклическом депсипептидном фрагменте и вариациями от C_{13} до C_{16} в цепях β-гидроксижирных кислот. Фенгицин представляет собой циклический липодекапептид, содержащий β-гидроксижирную кислоту с боковой цепью, состоящей из 16–19 атомов углерода. Он имеет различные изоформы, которые различаются длиной и разветвлением фрагмента β-гидроксижирной кислоты, а также аминокислотным составом пептидного кольца. Гомологи фенгицина представляют собой серию липопептидов с вариациями как по длине, так и по разветвлению β-гидроксижирной кислоты. Эти липопетиды продуцируются многими штаммами, которые были коммерциализированы как агенты биологической борьбы против грибных патогенов растений и как стимуляторы роста растений. Соединения представляют собой циклические гептапептиды с алкильной боковой цепью переменной длины, которая придает свойства поверхностной активности, что приводит к сродству с мембранами грибов. Итурины различаются по структуре, их различия заключаются в типе аминокислотных остатков, а также в длине и разветвлении цепи жирной кислоты. Гетерогенность по длине и разветвлению цепи жирных кислот четко демонстрируется итурином А, который имеет до 8 изомеров с 10–14 атомами углерода и различается конфигурациями цепи жирной кислоты.

Таким образом, прекурсорами метаболитов липопептидной природы являются жирные кислоты и их производные, а также пептидные соединения и аминокислоты. Поэтому среди соединений, идентифицированных GC×GC-MS методом, мы анализируем жирные кислоты и их производные, а также пептиды и аминокислоты. Следует отметить, что жирные кислоты и их производные представлены значительным набором соединений, среди которых преобладают структуры C_6, C_{10}, C_{11}, а также с наличием двойных связей между C=C атомами. Такие структуры соединений в наибольшей степени отражают потенциал бактерий для производства антимикробных метаболитов. Это связано с тем, что такие структуры, являясь предшественниками антимикробных соединений, более других способны в процессе метаболизма превращаться в биологически активные вещества. Если рассматривать роль присутствующих в питательной среде ионов металлов, то можно отметить в отдельных вариантах значение иона Co^{2+}, когда его отсутствие в питательной среде приводит к снижению синтеза жирных кислот почти в 2 раза. Культивирование бактерии в питательной среде без Zn^{2+} влечет за собой уменьшение накопления жирных спиртов, в то время как на синтез других производных жирных кислот оказывает незначительное либо отрицательное влияние. На синтез пептидных составляющих наибольшее влияние оказывает присутствие в питательной среде ионов Mn^{2+} и Co^{2+}, так как их количество уменьшается почти в два раза при отсутствии в питательной среде этих микроэлементов (табл. 1).

Анализ суммарного накопления жирных кислот и их аналогов, а также аминокислот и пептидов бактерией *B. velezensis* BZR336g на питательных средах, различающихся по содержанию ионов металлов, показывает, что ионы Co^{2+} в сочетании с ионами Mn^{2+} и Zn^{2+} играют важную роль в индуцировании их синтеза (рис. 1).

Тот факт, что ионы металлов выступают в роли индукторов продуцирования микроорганизмами биологически активных метаболитов, отмечался и другими авторами, при этом наиболее четко это отмечалось при одновременном присутствии двух-трех ионов металлов в питательной среде. Хотя в отдельных случаях одновременное влияние нескольких МЭ может давать обратный эффект [6]. Это можно отметить и для нашего исследования, когда для большинства изучаемых метаболитов присутствие в питательной среде ионов всех трех металлов зачастую приводит к снижению синтеза предшественников антигрибных метаболитов.

Соединения бензольной природы могут выступать в роли прекурсоров ароматических углеводородов, которые также представляют интерес при анализе метаболизма бактерий, так как они обладают антимикробной активностью. Синтез отдельных структур этих метаболитов так же индуцируется ионами Co^{2+} и Zn^{2+}. При этом ионы Mn^{2+} ингибируют синтез некоторых из них. Суммарное

количество соединений этого класса значительно повышается, когда присутствуют ионы двух или нескольких металлов. В наибольшей степени такая закономерность отмечается в вариантах, когда одновременно присутствуют ионы Co^{2+} и Zn^{2+}.

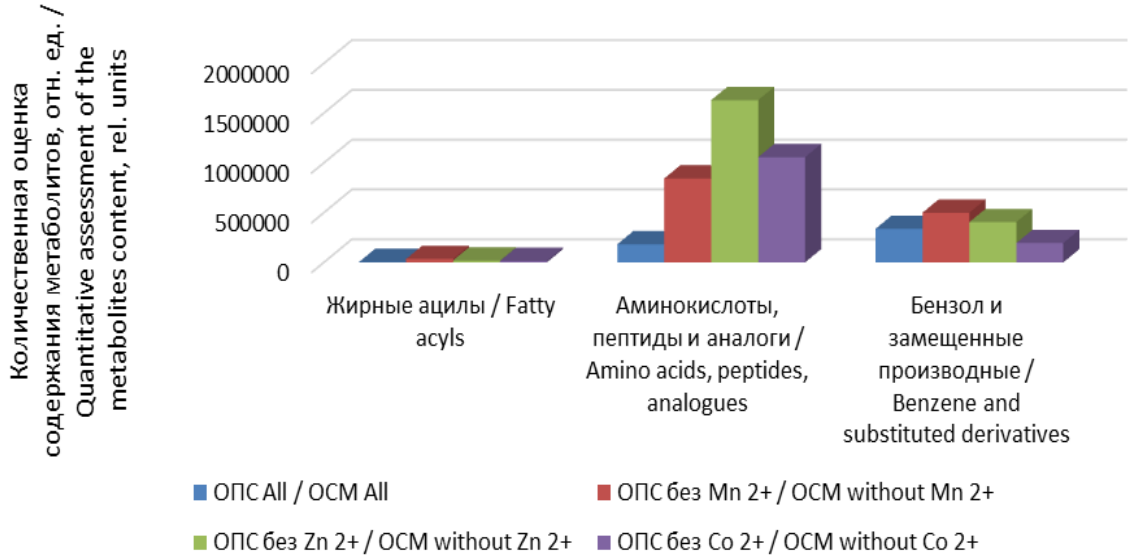


Рисунок 1. Соотношение представленности основных классов экзометаболитов штамма *B. velezensis* BZR 336g
Figure 1. Representation of major classes of *B. velezensis* strain BZR 336g exometabolites

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа экзометаболитов перспективного штамма бактерий *B. velezensis* BZR336g методом газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией обнаружено, что на количество соединений, которые являются прекурсорами метаболитов липопептидной природы, влияет содержание ионов металлов в питательной среде. Это влияние может изменяться в зависимости от того, присутствуют металлы по одному или в сочетании друг с другом. Такая закономерность отмечается для всех трех анализируемых классов соединений. В наибольшей степени она проявляется в сочетаниях Mn^{2+} и Co^{2+}, Zn^{2+} и Co^{2+} для жирных кислот и их аналогов, а также для аминокислот и пептидов. Для соединений бензольных структур это сочетание Co^{2+} и Zn^{2+}. Полученные результаты дают возможность сделать вывод о содержании ионов металлов в питательной среде для оптимизации продуцирования биологически активных метаболитов, составляющих основу антимикробной активности будущего биопрепарата.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Исследования выполнены при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-1651.2021.5.
2. Авторы выражают благодарность ЦКП «Протеом человека» (ИБМХ) за выполнение масс-спектрометрических экспериментов.

ACKNOWLEDGMENT

1. The research was supported by grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists No. MK-1651.2021.5.
2. The authors are grateful to the Human Proteome Core Facility, Institute of Biomedical Chemistry (IBMC) for assistance with the generation of mass spectrometry data.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Harwood C.R, Mouillon J.-M., Pohl S., Arnau J. Secondary metabolite production and the safety of industrially important members of the *Bacillus subtilis* group // FEMS Microbiology Reviews. 2018. V. 42. P. 721–738. DOI: 10.1093/femsre/fuy028
2. Сидорова Т.М., Асатурова А.М., Хомяк А.И. Биологически активные метаболиты *Bacillus subtilis* и их роль в контроле фитопатогенных микроорганизмов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. С. 29–37. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.29rus
3. Максимов И.В., Черепанова Е.А., Бурханова Г.Ф., Хайруллин Р.М., Сингх Б.П. Перспективы применения бактерий – продуцентов липопептидов для защиты растений (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56. С. 19–34. DOI: 10.31857/S0555109920010134
4. Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species // Journal of biotechnology. 2018. V. 285. P. 44–55. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00925
5. Dubey M.K., Meena M., Aamir M., Zehra A., Upadhyay R.S. Regulation and role of metal ions in secondary metabolite production by microorganisms // New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering. 2019. P. 259–277.
DOI: 10.1016/B978-0-444-63504-4.00019-0
6. de Oliveira Schmidt V.K., de Souza Carvalho J., de Oliveira D., de Andrade C.J. Biosurfactant inducers for enhanced production of surfactin and rhamnolipids: an overview // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2021. V. 37. N 21. P. 27–43. DOI: 10.1007/s11274-020-02970-8
7. Papadimitropoulos, ME.P., Vasilopoulou, C.G., Maga-Nteve, C., Klapa, M.I. Untargeted GC-MS Metabolomics. In: Theodoridis, G., Gika, H., Wilson, I. (eds). Metabolic Profiling. Methods in Molecular Biology. 2018. V. 1738. Humana Press, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4939-7643-0_9
8. Асатурова А.М., Дубяга В.М. Штамм бактерий *Bacillus subtilis* для получения биопрепарата против фитопатогенных грибов: пат. 2553518 Рос. Федерация № RU2013151377/10A. Заявл. 20.11.2013; опубл. 20.06.2015.

9. Asaturova A.M., Gyrnets E.A., Allakhverdian V.V., Astakhov M.M., Saenko K.U. The study of the antifungal activity of the Bacillus subtilis BZR 336g strain under the conditions of periodic cultivation with the addition of citric acid, corn extract and some microelements // XI International Scientific and Practical Conference «Biological Plant Protection is the Basis of Agroecosystems Stabilization». 2020. V. 21. P. 9. DOI: 10.1051/bioconf/20202100015
10. Koek M.M., Jellema R.H., van der Greef J. et al. Quantitative metabolomics based on gas chromatography mass spectrometry: status and perspectives // Metabolomics. 2011. V. 7. P. 307–328. DOI: 10.1007/s11306-010-0254-3
11. Сидорова Т.М., Асатурова А.М., Аллахвердян В.В. Особенности антагонизма бактерий рода Bacillus по отношению к грибам Fusarium при защите от болезни и контаминации микотоксинами // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 4. С. 86–103. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-86-103

REFERENCES

1. Harwood C.R., Mouillon J.-M., Pohl S., Arnau J. Secondary metabolite production and the safety of industrially important members of the *Bacillus subtilis* group FEMS. *Microbiology Reviews*, 2018, vol. 42, pp. 721–738. DOI: 10.1093/femsre/fuy028
2. Sidorova T.M., Asaturova A.M., Homyak A.I. Biologically active metabolites of *Bacillus subtilis* and their role in the control of phytopathogenic microorganisms (review). *Agricultural Biology*, 2018, vol. 53, no. 1, pp. 29–37. (In Russian) DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.29rus
3. Maksimov I.V., Cherepanova E.A., Burkhanova G.F., Khairullin R.M., Singkh B.P. Prospects and applications of lipopeptide-producing bacteria for plant protection (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2020, vol. 56, no. 1, pp. 19–34. (In Russian) DOI: 10.31857/S0555109920010134
4. Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. *Journal of biotechnology*, 2018, vol. 285, pp. 44–55. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00925
5. Dubey M.K., Meena M., Aamir M., Zehra A., Upadhyay R.S. Regulation and role of metal ions in secondary metabolite production by microorganisms. *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*, 2019, pp. 259–277. DOI: 10.1016/B978-0-444-63504-4.00019-0
6. de Oliveira Schmidt V.K., de Souza Carvalho J., de Oliveira D., de Andrade C.J. Biosurfactant inducers for enhanced production of surfactin and rhamnolipids: an overview. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2021, vol. 37, no. 21, pp. 27–43. DOI: 10.1007/s11274-020-02970-8
7. Papadimitropoulos ME.P., Vasilopoulou C.G., Maga-Nteve C., Klapa M.I. Untargeted GC-MS Metabolomics. In: Theodoridis G., Gika H., Wilson I. (eds). Metabolic Profiling. *Methods in Molecular Biology*. 2018, vol 1738. Humana Press, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4939-7643-0_9
8. Asaturova A.M., Dubyaga V.M. *Shtamm bakterii Bacillus subtilis dlya polucheniya biopreparata protiv fitopatogennykh gribov* [Bacillus subtilis bacterial strain for obtaining a biological product against phytopathogenic fungi]. Patent RF N RU2013151377/10A (In Russian)
9. Asaturova A.M., Gyrnets E.A., Allakhverdian V.V., Astakhov M.M., Saenko K.U. The study of the antifungal activity of the Bacillus subtilis BZR 336g strain under the conditions of periodic cultivation with the addition of citric acid, corn extract and some microelements. XI International Scientific and Practical Conference «Biological Plant Protection is the Basis of Agroecosystems Stabilization», 2020, vol. 21, p. 9. DOI: 10.1051/bioconf/20202100015
10. Koek M.M., Jellema R.H., van der Greef J. et al. Quantitative metabolomics based on gas chromatography mass spectrometry: status and perspectives. *Metabolomics*, 2011, vol. 7, pp. 307–328. DOI: 10.1007/s11306-010-0254-3
11. Sidorova T.M., Asaturova A.M., Allakhverdyan V.V. Specific features of antagonism of Bacillus bacteria against toxinogenic Fusarium fungi in protecting plants against disease and contamination with mycotoxins (review). *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 86–103. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-86-103

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья С. Томашевич разработала научный дизайн, концепцию и написала статью. Татьяна М. Сидорова разработала концепцию, проанализировала и интерпретировала материал, написала статью. Валерия В. Аллахвердян собрала материал. Анжела М. Асатурова разработала научный дизайн, корректировала рукопись до подачи в редакцию. Ольга И. Киселева и Илья Ю. Курбатов провели эксперименты, обработали экспериментальные данные. 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 S. Tomashevich participated in the scientific design, concept development and writing of the article. Tatiana M. Sidorova undertook analysis, interpretation and development of the scientific material and participated in the writing of the article. Valeria V. Allahverdyan collected material. Anzhela M. Asaturova participated in the scientific design and proofread the manuscript before submission to the Editor. Olga I. Kiseleva and Ilya Yu. Kurbatov conducted experiments and processed experimental data. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Наталья С. Томашевич / Natalia S. Tomashevich http://orcid.org/0000-0002-7297-5929
Татьяна М. Сидорова / Tatiana M. Sidorova http://orcid.org/0000-0003-4281-5278
Ольга И. Киселева / Olga I. Kiseleva http://orcid.org/0000-0003-3032-1983
Илья Ю. Курбатов / Ilya Yu. Kurbatov https://orcid.org/0000-0002-3704-092
Валерия В. Аллахвердян / Valeria V. Allahverdyan http://orcid.org/0000-0002-8679-6139
Анжела М. Асатурова / Anzhela M. Asaturova http://orcid.org/0000-0002-0060-1995

Оригинальная статья / Original article
УДК 578.7
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-111-129

Ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 *in vitro*

Елена И. Казачинская[1,2], Валерия Д. Романова[1], Алла В. Иванова[2], Александр А. Чепурнов[1], Зумруд А. Муртазалиева[3], Юлия В. Кононова[1], Дмитрий Н. Шауло[4], Владимир В. Романюк[5], Александр М. Шестопалов[1]

[1]Научно-исследовательский институт вирусологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины» Сибирского отделения Российской Академии наук (ФИЦ ФТМ СО РАН), Новосибирск, Россия
[2]ФБУН Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»), Новосибирск, Россия
[3]Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, Россия
[4]Центральный сибирский ботанический сад (ЦСБС) СО РАН, Новосибирск, Россия
[5]ООО Научно-производственная фирма (НПФ) «Золотая долина», Новосибирск, Россия

Контактное лицо
Елена И. Казачинская, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт вирусологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины» и ведущий научный сотрудник, ФБУН Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»; 630559 Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, рабочий поселок Кольцово, 32-1.
Тел. +79095307441
Email lena.kazachinskaia@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1856-6147

Формат цитирования
Казачинская Е.И., Романова В.Д., Иванова А.В., Чепурнов А.А., Муртазалиева З.А., Кононова Ю.В., Шауло Д.Н., Романюк В.В., Шестопалов А.М. Ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 111-129. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-111-129

Получена 29 октября 2022 г.
Прошла рецензирование 10 ноября 2022 г.
Принята 14 ноября 2022 г.

Список сокращений
COVID-19 – coronavirus disease, 2019; SARS-CoV-2 – severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; ЦПД – цитопатическое действие; $ТЦПД_{50}$/мл – тканевая цитопатическая доза; MOI – множественность инфекции, CC_{50} – 50%-ная цитотоксическая концентрация; EC_{50} – 50%-ная эффективная концентрация, БАВ – биологически активные вещества, ДМСО – диметилсульфоксид

Резюме

Цель. Анализ *in vitro* ингибирующей активности сухих этанольных экстрактов некоторых *Artemisia* spp., произрастающих в Новосибирской области, на репликацию SARS-CoV-2.

Материалы и методы. Лабораторный штамм SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020 пассирован на культуре клеток Vero. Приготовлены сухие этанольные экстракты частей растения (стеблей, цветов, листьев) шести видов полыни: *Artemisia vulgaris* L., *A. glauca* (Pall. Ex Willd.), *A. dracunculus* L. (из трех мест произрастания), *A. absinthium* L., *A. frigida* Willd., *A. sieversiana* Ehrh. ex Willd. Сухие экстракты растворяли в ДМСО. Анализ *in vitro* ингибирующей активности экстрактов на репликацию SARS-CoV-2 (в инфекционном титре 10^3 $ТЦПД_{50}$/мл) проводили в культуре клеток Vero E6 методом прямой инактивации (нейтрализации) вирионов, а также по схемам «профилактики» и «лечения» клеток. Образцы сравнения – сухие этанольные экстракты чаги, специи гвоздики и черного чая.

Результаты. Экстракты листьев *Artemisia* spp. оказались наиболее эффективны при прямой инактивации вирионов по равной и убывающей активности – *A. vulgaris*, *A. dracunculus**, *A. absinthium*, *A. dracunculus****, *A. dracunculus***, *A. frigida*, *A. glauca* и *A. sieversiana* в диапазоне 50%-ных эффективных концентраций 1,10±0,24 – 11,72±2,89 мкг/мл. Экстракты цветов *A. vulgaris*, *A. glauca*, *A. dracunculus**, *A. dracunculus***, *A. dracunculus****, *A. frigida* и *A. sieversiana*, также содержат БАВ, действующие как деструктивно на вирионы, так и после проникновения вируса в клетки. Для экстрактов стеблей стабильно высокие значения EC_{50} выявлены для *A. glauca* (6,84±1,35; 7,81±2,00; 14,06±3,06 мкг/мл) по результатам трех схем экспериментов.

Заключение. Полученные результаты могут стать основой для разработки недорогих отечественных препаратов для лечения и/или профилактики COVID-19.

Ключевые слова
SARS-CoV-2, растительные препараты, ингибирующая активность.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Inhibitory activity of dry ethanol extracts of *Artemisia* spp. on SARS-CoV-2 replication *in vitro*

Elena I. Kazachinskaia[1,2], Valeriya D. Romanova[1], Alla V. Ivanova[2], Alexander A. Chepurnov[1], Zumrud A. Murtazalieva[3], Yulia V. Kononova[1], Dmitri N. Shaulo[4], Vladimir V. Romanyuk[5] and Alexander M. Shestopalov[1]

[1]Research Institute of Virology, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
[2]"Vector" State Research Centre of Virology and Biotechnology, Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare, Novosibirsk, Russia
[3]Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia
[4]Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
[5]Zolotaya Dolina Research and Production Co., Novosibirsk, Russia

Principal contact
Elena I. Kazachinskaia, Doctor of Biology, Leading Scientist, Research Institute of Virology, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences and Leading Scientist, "Vector", State Research Centre of Virology and Biotechnology, Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare; 32-1, working settlement of Koltsovo, Novosibirsk, Novosibirskaya oblast, Russia 630559.
Tel. +79095307441
Email lena.kazachinsksia@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1856-6147

How to cite this article
Kazachinskaia E.I., Romanova V.D., Ivanova A.V., Chepurnov A.A., Murtazalieva Z.A., Kononova Yu.V., Shaulo D.N., Romanyuk V.V., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of dry ethanol extracts of *Artemisia* spp. on SARS-CoV-2 replication *in vitro*. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 111-129. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-111-129

Received 29 October 2022
Revised 10 November 2022
Accepted 14 November 2022

Abbreviations list
COVID-19 – coronavirus disease, 2019;
SARS-CoV-2 – severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; CE – cytopathic effect;
MOI – multiplicity of infection,
$TCID_{50}$ – 50% tissue culture infectious doses;
CC_{50} – % cytotoxic concentration,
EC_{50} – 50% effective concentration;
BAS – biologically active substances,
DMSO – Dimethyl sulfoxide

Abstract

Aim. *In vitro* analysis of the inhibitory activity of dry ethanol extracts of some *Artemisia* spp. growing in the Novosibirsk region for SARS-CoV-2 replication.

Materials and Methods. The laboratory strain SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020 was passed on Vero cell culture. Dry ethanol extracts of plant parts (stems, flowers, leaves) of six types of *Artemisia* were prepared. The types used were: *A. vulgaris* L.; *A. glauca* (Pall. Ex Willd.); *A. dracunculus* L. (from three growth locations); *A. absinthium* L.; *A. frigida* Willd.; and *A. sieversiana* Ehrh. ex Willd. Dry extracts were dissolved in DMSO. *In vitro* analysis of the inhibitory activity of extracts against SARS-CoV-2 (an infectious titer of 10^3 $TCID_{50}$/ml) replication was performed in a Vero E6 cell culture. To do this, the method of direct inactivation (neutralization) of virions, as well as schemes of "preventive" and "therapeutic" of cells, were used. Comparison samples were dry ethanol extracts of *Inonotus obliquus*, *Syzygium aromaticum* L. and *Camellia sinensis* L.

Results. Extracts of leaves of *Artemisia* spp. proved to be most effective in direct inactivation of virions. By equal and decreasing activity these are the species: *A. vulgaris*; *A. dracunculus**; *A. absinthium*; *A. dracunculus***; *A. dracunculus***; *A. frigida; A. glauca*; and *A. sieversiana* with a 50% effective concentration of range 1.10±0.24 – 11.72±2.89 μg/ml. Extracts of flowers of *A. vulgaris*, *A.glauca*, *A. dracunculus**, *A. dracunculus***, *A. dracunculus***, *A. frigida* and *A. sieversiana* also contain biologically active substances which act both destructively on virions and after the virus has entered cells. For extracts of stems consistently high values of EC_{50} were found for *A. glauca* (6.84±1.35; 7.81±2.00 and 14.06±3.06 μg/ml) according to the results of three experimental schemes.

Conclusion. The results obtained can become the basis for the development of inexpensive domestic drugs for the treatment and/or prevention of COVID-19.

Key Words
SARS-CoV-2, herbal preparations, inhibitory activity.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Род *Artemisia* L. (Asteraceae), названный в честь греческой богини охоты и плодородия Артемиды, объединяет, по данным обзора Bora с соавт. 2011 г., более 500 видов полыни различных жизненных форм (травы, кустарники и реже деревья) [1]. В «Списке растений» World Flora Online на 2022 г. указано более двух тысяч видов рода *Artemisia* [2]. Виды полыней распространены преимущественно в теплой зоне северного полушария, но отчасти заходящие в Арктику [3]. Многие из них адвентивные, а некоторые являются даже инвазивными [4] и в то же время некоторые виды занесены в международную Красную книгу (Red List) – *A. umbelliformis*, *A. bhutanica*, *A. pancicii*, *A. granatensis*, *A. argentea*, *A. gorgonum*, *A. kauaiensis*, *A. insipida*, *A. genipi*, *A. eriantha*, *A. oelandica*, *A. molinieri*, *A. tridentate* [5]. Традиционно и этнофармакологически *Artemisia* spp. используются как в качестве добавок (специй) к пище и напиткам, так и для лечения ряда заболеваний [4] и определенных проблем со здоровьем, таких как раздражительность, бессонница, стресс, тревога, депрессия, эпилепсия и психоневроз [2]. Широкое распространение, разнообразие компонентного состава и обусловленный этим широкий спектр фармакологических эффектов сделали растения рода *Artemisia* популярными средствами народной медицины, обеспечили их изучение и последующее внедрение в официальную медицину [4]. Самый известный в мире вид – это полынь однолетняя *A. annua* L., которая издавна применялась в китайской народной медицине [4] и стала источником артемизинина – сесквитерпенового лактона, обладающего противомалярийной активностью, за открытие которого китайская ученая Youyou Tu в 2015 г. получила Нобелевскую премию по физиологии и медицине [6]. К настоящему времени в составе *A. annua* L. идентифицировано более 600 химических компонентов – вторичных метаболитов [7], которые в разных сочетаниях и количествах встречаются и у других представителей рода *Artemisia*, в связи с этим растительные препараты этих растений обладают различными терапевтическими эффектами – противомалярийным, антиоксидантным, противоопухолевым, спазмолитическим, гепатопротекторным, антиноцицептивным (обезболивающим), противоревматическим, противовоспалительным, антисептическим, антибактериальным и противовирусным действием [2; 4].

На сегодняшний день для растительных препаратов (водных, этанольных и метанольных экстрактов целых растений или отдельных частей в виде листьев и соцветий) 23-х видов *Artemisia*, произрастающих в разных регионах мира, описана противовирусная активность при 17-ти различных типах заболеваний, вызываемых разными вирусами: ***A. annua* L.** (Корея, Китай, Испания, Иран, Германия, Африка) – против HIV-1 (Human immunodeficiency virus 1), BVDV (Bovine viral diarrhea virus), HBV (Hepatitis B virus), HCV (Hepatitis C virus), HSV-1 (Herpes simplex virus type 1), IV-A (Influenza virus A), SARS-CoV (Severe acute respiratory syndrome corona virus) и SARS-CoV-2; ***A. afra* Jacq. Ex Willd.** (Эфиопия, Германия) – против HIV-1, HIV-2, SARS-CoV-2; ***A. abyssinica* Schtz. Bip ex A. Richard.** (Эфиопия) – против HIV-1, HIV-2; ***A. arborescens*** (Vaill.) L. (Италия) – против HSV-1, HSV-2; ***A. campestris* L.** (Bhfy) – против HSV-1; ***A. campestris* subsp. *glutinosa* (Besser) Batt.** (Испания) – против HIV-1; ***A. capillaris* Thunb.** (Япония, Китай, Корея) – против HIV, HBV, EBV (Human gammaherpesvirus type 4 (Epstein-Barr virus); ***A. chamaemelifolia* Vill.** (Иран, Болгария) – против HSV-1, HSV-2; ***A. caruifolia* Roxb.** (Непал, Китай) – против HIV-1, HSV-1, IV-A; ***A. douglasiana* Bess.** (Аргентина) – против HSV-1, JUNV (Junin virus), DEN-2 (Dengue virus type 2); ***A. fragrans* Willd.** (Иран) – против HSV-1; ***A. glabella* Kar. et Kir.** (Казахстан) – FCV (Feline calci virus), IV (штамм Rostok 34), NDV (Newcastle disease virus); ***A. herba-alba* Asso.** (Морокко) – против HSV-1, SV (Sindbis virus), PV(Polio virus), SARS-CoV; ***A. incana* L. Druce** (Иран) – против HSV-1; ***A. kermanensis* Podl.** (Иран) – против HSV-1; ***A. mendozana* D.C. (v.n. ajenjo)** (Аргентина) – против HSV-1, JUNV, DEN-2; ***A. morrisonensis* Hayata.** (Китай) – HBV; ***A. persica* Boiss.** (Иран) – против HSV-1; ***A. princeps* var. *orientalis*** (Корея) – против MNV-1 (Murine norovirus 1), FCV; ***A. scoparia* Waldst. & Kit.** (Китай) – против IV; ***A. verlotiorum* Lamotte.** (Италия) – против FIV (Feline immunodeficiency virus); ***A. vulgaris* L.** (Армения, Иран) – против YFV-17D (штамм 17D Yellow fever virus); ***A. absinthium* L.** (Морокко, Индия) – против HIV-1, HSV-1, HBV, SV, PV. Антивирусную активность *Artemisia* spp. связывают с многочисленными флавоноидами, такими как полиметоксифлавоноиды, и терпенами, такими как артемизинин и артесунат [2].

В литературе в настоящее время есть всего несколько сообщений об ингибирующей активности *in vitro* препаратов полыни против SARS-CoV-2, в основном, это вид ***A. annua* L.**, например: **(1)** Cao с соавт. в 2020 г. провели в Китае анализ девяти коммерчески доступных соединений, синтезированных на основе артемизинина (Artemisinin, Artemether, Artesunate, Dihydroartemisinin, Artemisinic acid, Arteether, Lumefantrine, Arteannuin B, Artemisone, растворенные в ДМСО) против инфекционного вируса (штамм nCoV-2019BetaCoV/Wuhan/WIV04/2019) по «профилактической» схеме эксперимента (культуру клеток Vero E6 сначала обрабатывали химическими препаратами в течение 1 ч при 37°C, затем инфицировали при множественности инфекции (multiplicities of infection, MOI) 0,01 в течение 1 ч и после инкубации инокулят удаляли). В результате, самыми эффективными на стадии после «проникновения» вируса признаны артеаннуин B, артесунат и дигидроартемизинин с 50%-ными эффективными концентрациями (EC_{50}), равными 10,28±1,12 μM, 12,98±5,30 μM и 13,31±1,24 μM, соответственно, которые могут быть клинически достигнуты в плазме после внутривенного введения. Это первое исследование препаратов полыни подчеркнуло потенциал артемизининов для лечения от COVID-19 [8]; **(2)** в сентябре 2021 г. опубликована статья по результатам совместного исследования Nie с соавт. (авторы из Германии и Дании) сухих водных и этанольных экстрактов листьев ***A. afra* Jacq. Ex Willd**.(собранной во Франции) и ***A. annua* L.** (страны сбора растительного сырья – США, Бразилия, Чад, Буркина-Фасо), растворенных в ДМСО, при прямой инактивации вирионов с инфекционным титром 100 PFU (plaque forming units) SARS-CoV-2/human/Germany/BavPat 1/2020) (вирус обрабатывали экстрактами в течение часа при 37°C перед нанесением

на культуру клеток Vero E6) в диапазоне концентраций 0,01–10,0°мг/мл (для водных экстрактов в соотношении сырье/экстрагент – 1/10) и с EC_{50} от 0,0004 ± 0,0001 мкг/мл до 0,46 ± 0,09 мкг/мл (для этанольного экстракта ***A. afra)*** и 0,11 ± 0,04 до 2,66 ± 1,48 мкг/мл (для этанольного экстракта ***A. annua***). Для приготовления этанольных экстрактов использовали соотношение сырье/экстрагент – 1/5 [9]; **(3)** три работы Nair с соавт. из США: **(3.1.)** в июне 2021 г. результаты об эффективности (без корреляции от общего количества флавоноидов или артемизина) чайных настоев листьев ***A. annua* L.** (в соотношении сырье/экстрагент – 1/100), собранных на четырех континентах (в США, Бразилии, Китае, Эфиопии, Кении, Бурунди) против двух вариантов SARS-CoV-2, выделенных в США и Африке (USA/WA12020, UK variant B1.1.7 (CA_CDC_5574/2020) и B1.351 (hCoV-19/South Africa/KRISP-EC-K005321/2020, соответственно), на этапе после проникновения вируса (клетки Vero E6 сначала обрабатывали растительными препаратами в течение 1 часа, затем заражали с MOI 0,1) с 50%-ной ингибирующей концентрацией (IC_{50}) по сухому веществу в диапазоне 13,5–57,4 мкг/мл, а при пересчете по содержанию флавоноидов и артемизина – 0,01–0,14 мкг/мл и 0,1–8,7 μM, соответственно [10]; **(3.2.)** в феврале 2022 г. результаты также об эффективности чайных настоев листьев ***A. annua* L.** на культуре клеток Vero E6, но уже против пяти вирусных вариантов (с MOI 0,1), включая Delta (USA WA1; alpha, B1.1.7; beta, B1.351; gamma, P.1; delta, B.1.617.2; kappa, B.1.617.1) при концентрации по сухому веществу в диапазоне IC_{50} от 11,0 до 67,7 мкг/мл и в диапазоне IC_{90} от 59,5 до 160,6 мкг/мл, что при пересчете по содержанию артемизина варьировалось от 0,3 до 8,4 μM и от 1,4 до 25,0 μM, соответственно, на этапе после проникновения вируса [11]; **(3.3)** в июле 2022 г. Nair с соавт. в препринте статьи, которая будет опубликована в декабре, сообщили об эффективности чайных настоев листьев ***A. annua* L.** на культуре клеток Vero E6 против варианта Omicron (и трех его субвариантов с высокой степенью передачи) с концентрациями по сухому веществу в диапазоне IC_{50} от 20,0 до 106 мкг/мл, что при пересчете по содержанию артемизина варьировалось от 0,5 до 16,5 μM на этапе после проникновения вируса [12]; **(4)** в Турции проведено исследование культивируемой ***A. annua* L**. с применением 21-го вида экстракции (ультразвуковая мацерация всей наземной части растения с использованием различных растворителей – воды, 95%-го этанола, 80%-го метанола и др. с дальнейшей лиофилизацией экстрактов) по выбору более подходящего экстрагента для артемизинина. В результате, *in vitro* с использованием псевдотипированной системы, экспрессирующей гликопротеин S (spike) SARS-CoV-2 и моделированием *in silico* показано, что нейтрализующая активность БАВ экстрактов не зависит от количества артемизинина и, скорее всего, более связана с влиянием полученных растительных препаратов на основную вирусную протеазу (main protease, Mpro, также известной как 3-CLpro (3-chymotrypsin-like protease, 3-химотрипсиноподобная протеаза), чем с воздействием на конформацию структурного гликопротеина S [13]; **(5)** недавно появилось сообщение из Казахстана об исследовании ингибирующей активности водного и этанольного экстрактов (соотношение сырье/экстрагент 1/10, 50%-й спирт), а также бутанольной фракции этанольного экстракта дикорастущей ***A. annua* L.**, собранной в фазе цветения в предгорьях Заилийского Алатау, против SARS-CoV-2 (штамм hCoV-19/Kazakhstan/20679/2020) с MOI 0,01. При «профилактической» схеме эксперимента (экстрактами, растворенными в ДМСО, обрабатывали культуру клеток Vero E6 до заражения) было показано, что все растительные препараты обладают способностью подавлять вирусную репликацию при концентрации 667 мкг/мл с токсичностью 2000 мкг/мл [14].

В 2021 г. ВОЗ объявила, что в рамках своего исследования COVID-19 «Solidarity Therapeutics Plus» она включила внутривенное введение артесуната в качестве одного из трех препаратов нового назначения для лечения COVID-19 [15]. Результаты клинических испытаний ожидаются не ранее 2023 г. (последнее обращение 11 июля 2022 г., https://www.isrctn.com/ISRCTN18066414). Независимо от итогов этих испытаний, основываясь на данных, полученных *in vitro* по эффективности экстрактов ***A. annua* L.** против всех протестированных вирусных вариантов (на сегодняшний день 10), Nair с соавт. настоятельно призывают ВОЗ рассмотреть возможность включения капсулированных препаратов высушенных листьев ***A. annua* L.** в качестве отдельного компонента для исследования на пациентах [12].

Вид ***A. annua* L.** происходит из Китая и имеет там долгую историю культивирования. Растение занесено и натурализовано во многих странах юго-восточной Азии, Европы, юго-восточных частях Северной и Южной Америки т.к. может произрастать в различных прохладных, умеренных и субтропических географических районах [16]. В коммерческих целях этот вид полыни культивируется в Бразилии, Камеруне, Эфиопии, Кении, Мозамбике, Танзании, Уганде, Замбии, Индии и Тайланде. В промышленном масштабе сырьё (траву) выращивают также в Афганистане, Австралии, Иране и Турции. В России природные популяции ***A. annua*** встречаются на Кавказе, в Сибири и Приморском крае [17] и в Республике Бурятия [18]. В Бурятии так же широко распространена полынь ***A. sieversiana* Ehrh. ex Willd.** [18]. На территории РФ произрастают примерно 170 разных видов полыни [19]. Единственным официальным лекарственным растением из рода *Artemisia* в РФ признана ***A. absinthium* L.**, такие препараты как «Полыни горькой трава» и «Полыни настойка» входят в Государственный реестр лекарственных средств и применяются при заболеваниях желудочно-кишечного тракта [20]. Препараты ***A. absinthium* L.** и других видов полыни, например, полыни цитварной ***A. cina* Berg.** и полыни обыкновенной ***A. vulgaris* L.** поступают в коммерческую сеть на основании Росстандарта общероссийского классификатора продукции [21]. Потенциал и интерес для исследования разной биологической активности видов *Artemisia* L. в мире широкий, например, по поиску в PubMed отобразилось 244 результата, в том числе 35 публикаций за 2022 г. (на момент времени 01.11.2022 г.).

По данным литературы, во флоре Сибири обнаружено 84 вида *Artemisia* L., в лесостепной зоне Западной Сибири в пределах Новосибирской области произрастает 22 вида. Многие виды полыней имеют обширный ареал, большую сырьевую массу, успешно интродуцируются, что определяет перспективы их практического использования, например, для

получения эфирных масел, т.к. практически все виды являются эфироносами. Перспективны для использования в качестве флавоноидосодержащего сырья шесть видов полыни с содержанием флавоноидов 2% и более – по убывающей это ***A. pontica***, ***A. glauca***, ***A. dracunculus***, ***A. vulgaris***, ***A. campestris***, ***A. absinthium*** и чуть меньшее количество таких веществ содержит ***A. frigida***. Показано, что в культуре индивидуальные растения ***A. dracunculus*** и ***A. absinthium*** содержат самые высокие концентрации флавоноидов в репродуктивных органах в фазе массового цветения независимо от возраста. В листьях содержание веществ более низкое, чем в цветах, а в стеблях – самое низкое. Все исследованные виды рода *Artemisia* обладают антимикробной активностью [22]. Антивирусная активность этих видов не изучалась.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Растительное сырье

Шесть видов *Artemisia* spp. были собраны в период цветения в разных районах Новосибирской области (табл. 1). Определение видов проводили с использованием справочника [24] на местности и в лаборатории «Гербарий» Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, г. Новосибирск. Растительное сырье сушили при температуре 18–25°С в проветриваемом помещении, защищенном от солнечных лучей. После сушки сырье тщательно разделяли на отдельные части (стебли, цветы, листья) и сохраняли при комнатной температуре.

Таблица 1. Виды полыни и места сбора
Table 1. *Artemisia* spp. and collection locations

Полынь обыкновенная (чернобыльник) ***A. vulgaris* L.**	Лесной массив на территории ЦСБС СО РАН (54°48'10.08" с. ш. 83°5'44.88" в. д.) Forest on the territory of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (54°48'10.08" nl. 83°5'44.88" el.)
Полынь горькая ***A. absinthium* L.**	Лесной массив на территории ЦСБС СО РАН (54°48'10.08" с. ш. 83°5'44.88" в. д.) Forest on the territory of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (54°48'10.08" nl. 83°5'44.88" el.)
Полынь серая (сизая) ***A. glauca* Pall. Ex Willd.**	Черепановский район, окрестности деревни Крутишка (54°10’50” с. ш. 83°08’55” в. д.) Cherepanobsky district, near the village of Krutishka (54°10’50” nl. 83°08’55” el.)
Полынь тархун (эстрагон) ***A. dracunculus* L.***	г. Бердск (54°45’ с. ш. 83°06’ в. д.) City of Berdsk (54°45’ nl. 83°06’ el.)
Полынь тархун (эстрагон) ***A. dracunculus* L.****	Черепановский район, окрестности деревни Крутишка (54°10’50” с. ш. 83°08’55” в. д.) Cherepanobsky district, near the village of Krutishka (54°10’50” nl. 83°08’55” el.)
Полынь тархун (эстрагон) ***A. dracunculus* L.*****	Коченевский район, окрестности рабочего поселка Коченево (55°01’ с. ш. 82°13’ в. д.) Kochenevski district, surroundings of the working settlement Kochenevo (55°01’ nl. 82°13’ el.)
Полынь холодная ***A. frigida* Willd**	Сузунский район, окрестности села Верх-Сузун (53°40’47” с. ш. 82°17’20” в. д.) Suzunskiy district. Near the settlement of Verkh-Suzun (55°01’ nl. 82°13’ el.)
Полынь Сиверса ***A. sieversiana* Ehrh. ex Willd.**	Сузунский район, окрестности села Верх-Сузун (53°40’47” с. ш. 82°17’20” в. д.) Suzunskiy district. Near the settlement of Verkh-Suzun (55°01’ nl. 82°13’ el.)

Получение этанольных экстрактов

Сухое измельченное сырье в соотношении 1/10 по весу (1 г/10 г) заливали очищенным 70% этиловым спиртом и выдерживали семь суток на механической качалке при комнатной температуре и 100 об./мин. Жидкости (этанольные экстракты) фильтровали через капроновую ткань и высушивали в асептических условиях при 30±2°С в открытых ч. Петри. Сухой осадок этанольных экстрактов хранили при комнатной температуре.

Подготовка растительных препаратов для исследования цитотоксичности и ингибирующей активности на вирусную репликацию: растворение сухих экстрактов проводили в диметилсульфоксиде (ДМСО) из расчета 200 мг/мл на механической качалке при комнатной температуре и 100 об./мин. в течение суток.

В качестве препаратов сравнения (контрольных образцов) использовали также приготовленные сухие этанольные экстракты плодового тела чаги (*Inonotus obliquus* Ach. ex Pers. Pil., Basidiomycota) и специи гвоздики (*Syzygium aromaticum* L., Myrtaceae), т.к. для водных вытяжек этого растительного сырья описана анти-SARS-CoV-2 активность [25; 26]. Кроме того, был приготовлен сухой этанольный экстракт черного чая (*Camellia sinensis* L. Kuntze, *Theaceae*), т.к., по данным литературы, это растение рассматривается как потенциальное

лекарственное средство против COVID-19 [27; 28] и описана высокая ингибирующая активность зеленого и черного чая на инфекционный SARS-CoV-2 *in vitro* [29]. Сырье (чага с Салаирского кряжа Маслянинского района НСО, специя гвоздика из Вьетнама и черный чай, экспортированный из Индии), любезно предоставлено ООО НПФ «Золотая долина», г. Новосибирск.

Культура клеток

Перевиваемую культуру клеток линий Vero и Vero E6 (клетки почки *африканской зеленой мартышки*) из собственной коллекции ФИЦ ФТМ СО РАН культивировали на питательной среде Игла МЕМ с L-глутамином (Биолот, Россия) с добавлением 1% Antibiotic Antimycotic Solution (SIGMA Life Science, Израиль) и 10% эмбриональной сыворотки крови крупного рогатого скота (КРС) (Capricorn Scientific, ФРГ).

Новый коронавирус, лабораторный штамм SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020, выделенный на культуре клеток Vero из образца мазка носоглотки больного человека, позитивного на наличие вирусной РНК SARS-CoV-2 при анализе в лаборатории по диагностике COVID-19 при ФИЦ ФТМ СО РАН, был описан в работах по исследованию антивирусной активности [26; 30; 31]. Вирус пассировали на культуре клеток Vero в поддерживающей питательной среде с 2% эмбриональной сыворотки крови КРС. Титр инфекционного SARS-CoV-2, выражали в $ТЦПД_{50}$/мл (тканевых цитопатических дозах вируса, вызывающего цитопатическое действие (ЦПД) на инфицированные клетки Vero E6 в 50% лунок). ЦПД SARS-CoV-2 можно наблюдать в световой микроскоп, как показано [26; 30] или проводить фиксацию инфицированных клеток в течение 30 мин раствором формальдегида и 0,05%-ным раствором кристаллического фиолетового с 20% спирта, как описано [32].

Цитотоксичность исследуемых растительных препаратов и контрольных образцов определяли по 50%-ной токсичной концентрации в мл (50% cytotoxic concentration, CC_{50}/ml) как описано [33] при нанесении растительных препаратов на чувствительную для SARS-CoV-2 клеточную культуру Vero E6, выращенную до монослоя в лунках 96-луночных планшетов (Corning, США), в поддерживающей питательной среде (с 2% прогретой сыворотки крови КРС) в разведениях для титрования двойным шагом и выдерживали в течение 1 часа при 37°С. Затем, в первом варианте, монослой клеток отмывали и оставляли в поддерживающей питательной среде или, во втором варианте, монослой клеток от экстрактов, растворенных в поддерживающей питательной среде, не отмывали. Цитотоксическое действие растительных препаратов оценивали каждые сутки (срок наблюдения 5 суток).

Отрицательные контроли: поддерживающая питательная среда для клеток Vero E6 и ДМСО в объемах, соответствующих содержанию этого растворителя в исследуемых растительных препаратах.

Анализ ингибирующей активности исследуемых растительных препаратов и контрольных образцов при прямой нейтрализации (инактивации) SARS-CoV-2 проводили методом классической реакции нейтрализации (инактивации) вирусов как нами недавно описано для исследования антител пациентов, переболевших COVID-19 [31] и для водных вытяжек растительного сырья [26]. Кратко: растительные препараты (титрование в 96-луночных планшетах двойным шагом с определенной исходной концентрацией по сухому веществу в объеме 100 мкл/лунка) предварительно (перед нанесением на монослой клеток Vero E6, выращенных в 96-луночных планшетах) инкубировали с SARS-CoV-2 в титре 10^3 ТЦПД50/мл (в соответствии с [34]) в течение 1 часа при 37°С в CO_2-инкубаторе. После инкубации смесей экстрактов с вирусной суспензией на клетках течение 1 часа при 37°С, монослой клеток отмывали и оставляли в поддерживающей питательной среде до проявления ЦПД вируса в контрольных лунках, содержащих инфицированные клетки. Учет результатов по ингибированию вирусной репликации проводили визуально при наблюдении в инвертированный микроскоп при 10-кратном увеличении, а затем после фиксации клеток в течение 30 мин раствором формальдегида и 0,05%-ным раствором кристаллического фиолетового с 20% спирта, как описано [32].

Анализ ингибирующей активности исследуемых растительных препаратов и контрольных образцов по «профилактической» схеме (нанесение разведений экстрактов на монослой клеток перед их инфицированием) проводили, как описано [35], следующим образом: один час экспозиции экстрактов, растворенных в поддерживающей питательной среде, с монослоем клеток Vero E6 и затем в лунки вносили вирусный препарат в разведении, соответствующем инфекционной дозе 10^3 $ТЦПД_{50}$/мл и оставляли в покое при 37°С в CO_2-инкубаторе.

Анализ ингибирующей активности растительных препаратов по схеме «лечения» клеток (при предварительном инфицировании клеток) проводили, как описано в [35], следующим образом: монослой клеток Vero E6 инфицировали вирусным препаратом в разведении, соответствующем титру 10^3 $ТЦПД_{50}$/мл, в течение 1 часа при 37°С. Затем после отмывки, на монослой клеток в лунки вносили разведения экстрактов в поддерживающей питательной среде и оставляли в покое для «лечения» клеток при 37°С в CO_2-инкубаторе.

Для статистической обработки все анализы *in vitro* проводили и фиксировали в четырех повторах в двух независимых экспериментах.

Статистическую обработку результатов по определению цитотоксичности и эффективным концентрациям проводили с применением метода Спирмена-Кербера в программе Excel при 95%-ном уровне надежности ($p \leq 0.05$).

Селективный индекс (Selectivity index, SI) для 50%-х цитотоксичных и эффективных концентраций исследуемых экстрактов рассчитывали по формуле: $SI_{50}=CC_{50}/EC_{50}$ как описано [33], с учетом токсичности, выявленной на четвертые сутки наблюдения (совпадающей со временем фиксации результатов по ЦПД 10^3 $ТЦПД_{50}$/мл SARS-CoV-2 в контрольных рядах инфицированных клеток).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Приготовление сухих этанольных экстрактов полыней, выбор образцов сравнения и анализ цитотоксичности исследуемых растительных препаратов

Для исследования потенциальной активности против SARS-CoV-2, нами были собраны в природе Новосибирской области в период цветения несколько видов полыней: *Artemisia vulgaris* L., *A. glauca* (Pall. Ex Willd.), *A. dracunculus* L. (из трех мест произрастания), *A. absinthium* L., *A. frigida* Willd., *A. sieversiana* Ehrh. ex Willd (табл. 1), видоспецифичность которых определяли на местах произрастания с использованием справочника [24] и затем в свежесобранном виде подтверждали в лаборатории «Гербарий» Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, г. Новосибирск. После сушки растительное сырье разделяли на отдельные части (стебли, цветы, листья), из которых были приготовлены сухие этанольные экстракты. Этиловый спирт (70%) использовали в качестве экстрагента, т.к. по данным литературы, этот растворитель активно извлекает из растительного сырья, наряду с широким спектром БАВ, флавоноиды и терпеноиды [23], которые обладают активностью против разных вирусов и являются преобладающими соединениями в растениях рода *Artemisia* [2].

В качестве контрольных образцов сравнения были использованы также приготовленные сухие этанольные экстракты плодового тела чаги (*Inonotus obliquus* Ach. ex Pers. Pil., Basidiomycota), специи гвоздики (*Syzygium aromaticum* L., Myrtaceae) и черного чая (*Camellia sinensis* L. Kuntze, Theaceae), т.к. для водных вытяжек этого растительного сырья описана анти-SARS-CoV-2 активность *in vitro* [25; 26; 29; 36]. Например, Shahzad с соавт. связывают антивирусное действие экстрактов *I. obliquus* с полисахаридами [37], что было подтверждено Тепляковой с соавт. при выявлении ингибирующей активности чаги в виде лиофильно высушенных и концентрированных водных экстрактов в диапазоне EC50=0,75 – 11,6 мкг/мл в исследовании *in vitro* с SARS-CoV-2 (штамм nCoV/Victoria/1/2020 SARS-CoV-2 по «профилактической» схеме эксперимента (т.е. с обработкой растительными препаратами клеток линии Vero и Vero E6 перед их заражением) [25]. Ishimoto с соавт. показали, что предварительная обработка вирионов SARS-CoV-2 (штамм JPN/TY/WK-521) перед инфицированием клеток линии Vero E6 (т.е. при прямой инактивации) водными экстрактами зеленого или черного чая снижали вирусный титр на 5 lg (при сравнении с контролем инфицированных клеток). Авторы предполагают синергическое действие полифенолов зеленого чая (эпигаллокатехином галлатом, эпигаллокатехином, эпикатехином галлатом и эпикатехином) или теафлавинами черного чая на гликопротеин S (spike) вирусной оболочки и 3CLpro SARS-CoV-2 [29].

Данных по ингибирующей активности этанольных экстрактов *I. obliquus* и *C. sinensis* на SARS-CoV-2 *in vitro* в литературе не обнаружено. Ранее полученные нами результаты по активности водной вытяжки *S. aromaticum* (в концентрации 10,67±1,95 мкг/мл из расчета по исходному сухому растительному сырью) против инфекционной дозы 10^3 ТЦПД$_{50}$/мл штамма SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020 *in vitro* при прямой инактивации вирионов [26], скорее всего, были первыми в научной литературе. Vicidomini с соавторами в обзоре, опубликованном в марте 2021 г., по возможной молекулярной основе терапевтического потенциала этой специи при COVID-19, приводят примеры по ее применению как в качестве кулинарной приправы к пище или в парфюмерном производстве, так и по использованию в качестве средства от различных проблем со здоровьем. Например, эфирное масло гвоздики находит применение в стоматологической помощи, включая лечение инфекций десен, а также при ожогах, пищеварительных расстройствах и респираторных инфекциях. Специя содержит бета-каротин, витамины B1, B6, C, K, A, рибофлавин и большое количество минералов, таких как магний, марганец, калий, железо и селен. Американское управление по контролю за продуктами и лекарствами (FDA) подтвердило безопасность бутонов гвоздики, гвоздичного масла и некоторых ингредиентов гвоздики в качестве пищевой добавки, в то время как ВОЗ установила допустимую суточную дозу гвоздики для людей в 2,5 мг/кг массы тела. Результаты экспериментальных исследований нескольких научных групп подтверждают другие замечательные свойства *S. aromaticum* – такие как антиангиогенная, противоопухолевая, антиоксидантная, противовоспалительная и антимутагенная активность, которые связаны с содержанием вещества класса фенолов – евгенола (Eugenol (4-allyl-2-methoxyphenol). Описана ингибирующая активность этанольных и метанольных экстрактов специи гвоздики на вирус простого герпеса (herpes simplex virus, HSV) и на рекомбинантную протеазу вируса гепатита С. Показано, что евгенол в чистом виде способен *in vitro* ингибировать репликацию вирусов гриппа А и Эбола [38].

Цитоксичность сухих этанольных экстрактов полыни и контрольных образцов, растворенных в ДМСО, мы оценивали на культуре клеток Vero E6, чувствительной к SARS-CoV-2 [39], в двух вариантах, когда: 1) монослой клеток отмывали от растворенных двойным шагом экстрактов и оставляли в поддерживающей питательной среде и 2) монослой клеток от экстрактов, растворенных в поддерживающей питательной среде, не отмывали. Цитотоксическое действие растительных препаратов оценивали каждые сутки (срок наблюдения 5 суток). Как видно по результатам, представленным на рис. 1, при первом варианте (с отмывкой клеток от экстрактов), цитотоксичность растительных препаратов была более низкой (верхняя линия графика синего цвета), чем при оставлении их на монослое клеток (нижняя линия графика красного цвета) до момента (4 суток), совпадающего с ЦПД SARS-CoV-2 с инфекционным титром 10^3 ТЦПД$_{50}$/мл. Самая высокая цитотоксичность (при двух вариантах) оказалась для экстрактов *S. aromaticum* (187,50±46,30 и 109,38±20,05 мкг/мл) и *I. obliquus* (250,00±80,19 и 156,25±40,09 мкг/мл) (рис. 1). Ранее для водной вытяжки (без концентрирования) *S. aromaticum* нами также была выявлена самая высокая цитотоксичность (10100,0±2293,67 мкг/мл) по сравнению с водными вытяжками других растений, в том числе и *I. obliquus* (62500,0±16038,71 мкг/мл из расчета по концентрации исходного сухого растительного сырья) [26]. В данном случае при концентрировании этанольных экстрактов посредством высушивания их жидкой фазы цитотоксичность препаратов значительно повысилась, но, скорее всего,

это не связано с используемым экстрагентом. Например, по данным Тепляковой с соавт. цитотоксичность чаги в виде лиофильно высушенных и концентрированных водных экстрактов (разных образцов, отличающихся по температурным и временным параметрам экстракции) составила от 90,0; 100,0; 118,0 и до ≥300,0 мкг/мл в варианте без отмывки экстрактов с монослоя клеток [25], что свидетельствует о высокой концентрации БАВ и заметной цитотоксичности водного экстракта *I. obliquus*, полученного даже без использования этанола.

Выявленная нами цитотоксичность этанольного экстракта листьев черного чая *C. sinensis* (750,00±40,10 и 437,50±80,19 мкг/мл) сопоставима с цитотоксичностью исследуемых этанольных экстрактов полыней – в диапазоне CC_{50} от 1750±320,77 мкг/мл до 281,25±61,35 мкг/мл в варианте с отмывкой монослоя от экстракта и в диапазоне CC_{50} от 375,00±48,99 мкг/мл до 137,50±35,86 мкг/мл в варианте без отмывки. Диапазон CC_{50} экстрактов полыней был довольно широк при сравнении препаратов, приготовленных из разных частей растений (стеблей, цветов, листьев) – прослеживается более высокая цитотоксистость экстрактов листьев *Artemisia* spp., особенно у вида ***A. vulgaris* L.** – 281,25±61,35 мкг/мл при отмывке клеток и 150,00±37,04 мкг/мл без отмывки. Для экстракта листьев вида ***A. sieversiana*** в первом варианте с отмывкой значение CC_{50} равно 406,25±89,66 мкг/мл, что является примерно средним показателем токсичности по нашим данным, но в варианте без отмывки монослоя клеток от экстракта наблюдалась самая высокая цитотоксичность (137,50±35,86 мкг/мл) среди исследованных растительных препаратов (рис. 1).

В целом, при сравнении с данными литературы, цитотоксичность приготовленных нами этанольных экстрактов *Artemisia* spp. оказалась невысокой. Например, Liu H. с соавт. по результатам анализа эффективности экстракта (на основе 70%-го этанола) корня шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis,* Lamiaceae) против SARS-CoV-2 (штамм C-Tan-nCoV Wuhan strain 01) сообщили данные по $CC_{50,}$ предположительно, равной более чем 500 мкг/мл, т.к. авторы титровали экстракт с этой концентрации и не выявили его токсичности [40]. Zannella с соавт. в 2021 г. показали, что для экстракта (на основе 75% метанола) листьев виноградной лозы (*Vitis vinifera*, *Vitaceae*), способного ингибировать *in vitro* репликацию SARS-CoV-2, также не было выявлено цитотоксичности при самой высокой используемой концентрации растительного препарата – 500 мкг/мл [41]. Mohamed с соавт. в апреле 2022 г. сообщили об активности против изолята hCoV-19/Germany/FI1103201/2020 (EPI-ISL_463008) *in vitro* метанольного экстракта зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*, *Hypericaceae)* (производство компании Indena S.p.AS, Милан, Италия в виде сухого препарата), цитотоксичность которого, по крайней мере, превышает 100 мкг/мл [42].

2. Анализ ингибирующей активности растительных препаратов на репликацию SARS-CoV-2 при прямой нейтрализации (инактивации)

Данный метод исследования позволяет определить влияние препаратов на конформацию наружного вирусного S белка SARS-CoV-2, ответственного за слияние с рецепторами инфицируемой клетки [9], т.к. блокирование этого важного этапа «жизненного» цикла вируса может остановить распространение патогена на ранней стадии болезни.

В результате, по ингибирующей активности на репликацию SARS-CoV-2 при прямой нейтрализации (инактивации) вирионов в инфекционной дозе 10^3 $ТЦПД_{50}$/мл для контрольных образцов этанольных экстрактов *C. sinensis*, *S. aromaticum* и *I. obliquus* выявлены показатели EC_{50} в мл в средних значениях (по убывающей) – 1,10±0,24 мкг/мл, 1,22±0,31 мкг/мл и 6,84±1,35 мкг/мл, соответственно (рис. 2). Для *Artemisia* spp. равные по значениям EC_{50} с контрольными образцами (в диапазоне концентраций от 1,10±0,24 мкг/мл до 6,84±1,35 мкг/мл) оказались показатели EC_{50} этанольных экстрактов следующих частей растений: листья и цветы ***A. vulgaris*** (1,10±0,24 мкг/мл); листья и цветы ***A. dracunculus**** (1,10±0,24 мкг/мл); листья ***A. absinthium*** (1,10±0,24 мкг/мл); листья ***A. dracunculus***** (1,10±0,24 мкг/мл); стебли ***A. dracunculus***** (1,46±0,36 мкг/мл); цветы ***A. dracunculus***** (3,42±0,62 мкг/мл); цветы ***A. absinthium*** (3,42±0,62 мкг/мл); листья ***A. dracunculus***** (3,66±0,48 мкг/мл); листья ***A. frigida*** (4,88±1,25 мкг/мл); листья и стебли ***A. glauca*** (6,84±1,35 мкг/мл). Для остальных препаратов значения EC_{50} этанольных экстрактов *Artemisia* spp. следующие (по убывающей) – листья ***A. sieversiana*** (11,72±2,89 мкг/мл), стебли ***A. absinthium*** (12,70±2,80 мкг/мл), цветы ***A. glauca*** (13,67±2,51 (мкг/мл), стебли *A. vulgaris* (14,65±1,91 мкг/мл), стебли ***A. dracunculus***** (21,48±5,6 мкг/мл), стебли ***A. dracunculus**** (27,34±5,01 мкг/мл), цветы ***A. dracunculus***** (37,11±10,02 мкг/мл), цветы ***A. frigida*** (54,69±10,02 мкг/мл), стебли ***A. frigida*** (58,59±7,66 мкг/мл), стебли ***A. sieversiana*** (58,59±7,66 мкг/мл) и цветы ***A. sieversiana*** (109,38±20,05 мкг/мл) (рис. 2).

Необходимо отметить, что экстракты листьев *Artemisia* spp. оказались наиболее эффективны при прямой инактивации вирионов SARS-CoV-2. В стеблях полыней, скорее всего, содержится наименьшее количество БАВ, способных влиять на конформацию гликопротеинов S. Исключением является вид ***A. dracunculus****, т.к. экстракты всех частей этого растения проявили высокую ингибирующую активность: листья – 1,10±0,24 мкг/мл, стебли – 1,46±0,36 мкг/мл) и цветы – 3,42±0,62 мкг/мл.

Для экстрактов листьев и цветов ***A. vulgaris*** показатели EC_{50} оказались равными 1,10±0,24 мкг/мл. Для экстрактов листьев и стеблей ***A. glauca*** показатели EC_{50} выявлены – 6,84±1,35 мкг/мл. Вид ***A. absinthium*** в виде экстрактов листьев и цветов также проявил высокую ингибирующую (нейтрализующую) активность с EC_{50} равными 1,10±0,24 мкг/мл и 3,42±0,62 мкг/мл, соответственно. У видов ***A. frigida*** и ***A. sieversiana*** только экстракты листьев проявили заметную активность с EC_{50}=4,88±1,25 мкг/мл и 11,72±2,89 мкг/мл. Для экстрактов стеблей и цветов этих видов полыни выявлены самые низкие показатели EC50 – 58,59±7,66 мкг/мл и 54,69±10,02 мкг/мл, 58,59±7,66 мкг/мл и 109,38±20,05 мкг/мл, соответственно (рис. 2).

Общий профиль эффективности при прямой инактивации вирионов контрольных образцов и видов полыни с учетом суммы средних концентраций всех частей растений (стеблей, листьев и цветов) можно представить в следующем порядке (по убывающей): *C. sinensis* (1,10±0,24 мкг/мл), *S. aromaticum* (1,22±0,31 мкг/мл), ***A. dracunculus***** (1,99±0,4 мкг/мл), *I. obliquus* (6,84±1,35 мкг/мл), ***A. vulgaris*** (5,62±0,80 мкг/мл), ***A.***

absinthium (5,75±1,22), ***A. glauca*** (9,12±1,74 мкг/мл), ***A. dracunculus**** (9,85±1,83 мкг/мл), ***A. dracunculus***** (17,75±5,37 мкг/мл), ***A. frigida*** (39,38±6,31 мкг/мл), ***A. sieversiana*** (59,89±10,20 мкг/мл), что наглядно продемонстрировано на диаграмме (рис. 2).

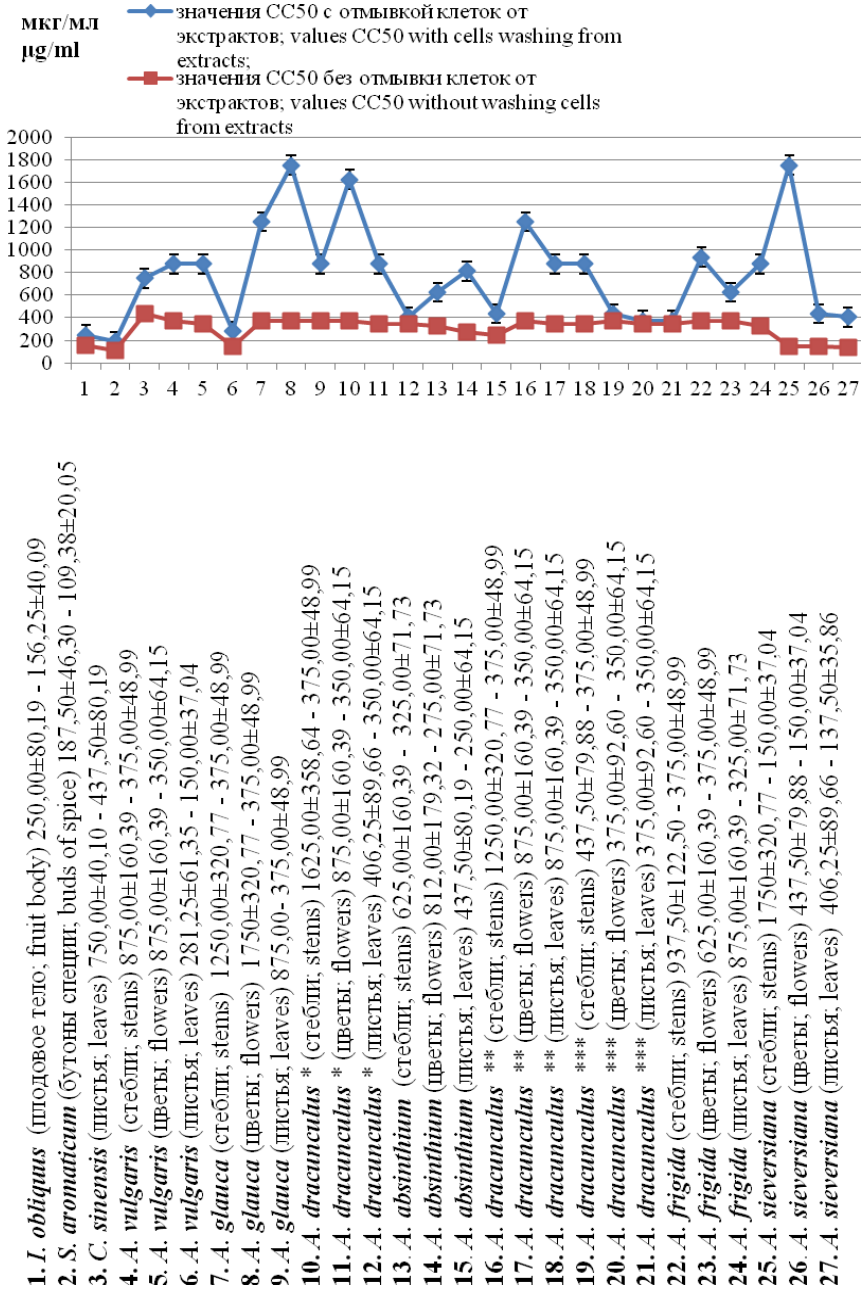


Рисунок 1. Значения цитотоксичности (CC_{50}) этанольных экстрактов

Примечания: значения CC_{50} представлены в мкг/мл средних значений с доверительными интервалами при уровне надежности 95% (p≤0,05). Цифры на горизонтальной линии соответствуют образцам (номерам) экстрактов. Районы сбора растительного сырья: A. dracunculus – окрестности г. Бердск (54°45′ с. ш. 83°06′ в. д.); ** – Черепановский район, окрестности деревни Крутишка (54°10′50″ с. ш. 83°08′55″ в. д.); A. dracunculus*** – Коченевский район, окрестности р/п Коченево (55°01′ с. ш. 82°13′ в. д.)*

Figure 1. Cytotoxicity values (CC50) of ethanol extracts

Note: CC_{50}/ml values are presented in µg/ml of average values with confidence intervals at 95% reliability level (p≤0.05). The numbers on the horizontal line correspond to the samples (numbers) of extracts. Areas of collection of plant raw materials: A. dracunculus – collection location - city of Berdsk (54°45′ N 83°06′ E); A. dracunculus** – Cherepanovsky district, neighborhood of village of Krutishka (54°10′50″N 83°08′55″ E); and A. dracunculus*** – village of Kochenevo, Kochenevsky district (55°01′ N 82°13′ E)*

Для сравнения противовирусной активности исследованных нами экстрактов *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 при прямой нейтрализации (инактивации) вирионов необходимо привести литературные данные. Например, Nie с соавт. в 2021 г. показали результаты по высокой ингибирующей эффективности этанольных экстрактов листьев полыней видов ***A. annua*** и ***A. afra*** – с EC_{50} в диапазоне концентраций от 0,0004 ± 0,0001 мкг/мл до 0,46±0,09 мкг/мл (для экстракта ***A. afra***) и от 0,11±0,04 до 2,66±1,48 мкг/мл (для экстракта ***A. annua***) против 100 PFU (не указан объем, содержащий вирус с таким

инфекционным титром) [9]. Zannella с соавт. в 2021 г. показали, что метанольный экстракт листьев виноградной лозы (*Vitis vinifera*) способен ингибировать репликацию SARS-CoV-2 (инфицирующая доза авторами не указана) *in vitro* на ранних стадиях инфекции путем прямой инактивации вирионов при очень низкой, по мнению авторов, концентрации – 10 мкг/мл [41]. Ishimoto с соавт. выявили противовирусную активность водных экстрактов зеленого и черного чая в диапазоне концентраций 3440–13750 мкг/мл при снижении инфекционного титра SARS-CoV-2 на 5 lg [29]. Mohamed с соавт. в апреле 2022 г. сообщили об активности метанольного экстракта травы зверобоя продыравленного (*H. perforatum*) при трех экспери-ментальных протоколах (прямая инактивация вируса перед инфицированием клеток линии Vero, обработка клеток экстрактами до или после заражения, т.е. «профилактическая» и «лечебные» схемы). По мнению авторов, самая мощная противовирусная активность (в диапазоне концентраций 1,5–15 мкг/мл) выявлена при прямой инактивации вируса (при MOI=1), т.е. были получены доказательства того, что экстракт содержит БАВ (скорее всего, это гиперицин – производное антрахинона, пигмент красного цвета), которые могут оказывать прямое блокирующее действие на вирионы SARS-CoV-2 [42].

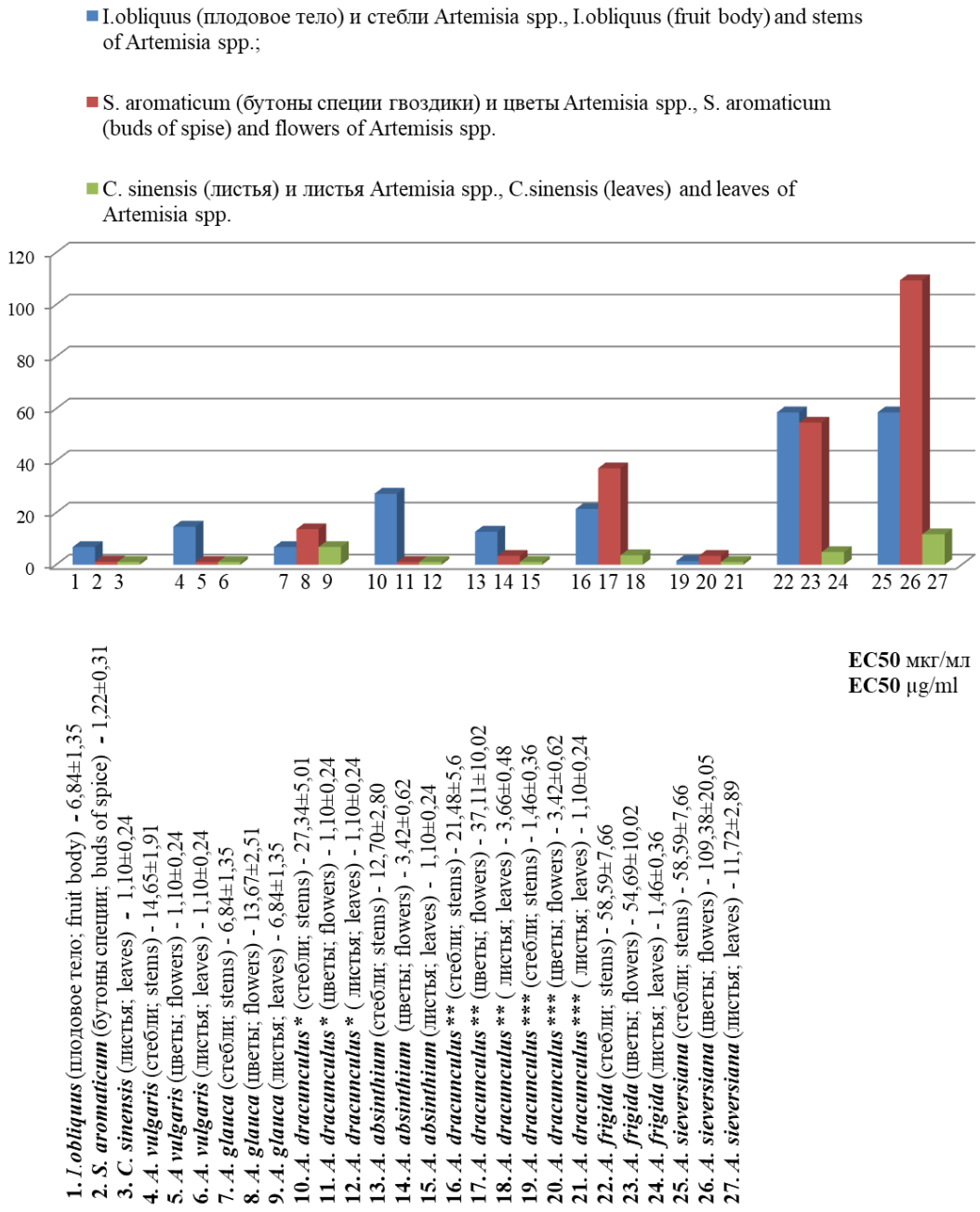


Рисунок 2. Сравнение 50%-ных эффективных концентраций экстрактов контрольных образцов и разных частей полыней – стеблей, цветов и листьев на ингибирующую активность репликации SARS-CoV-2 при прямой нейтрализации (инактивации) вируса

Figure 2. Comparison of 50% effective concentrations of extracts of control samples and different parts of *Artemisia* spp. (stems, flowers and leaves) on the inhibitory activity of SARS-CoV-2 replication during direct neutralization (inactivation) of virus

3. Анализ ингибирующей активности растительных препаратов на репликацию SARS-CoV-2 по «профилактической» схеме и схеме «лечения» клеток, а также сравнение с результатами по прямой инактивации (нейтрализации)

Для анализа возможного наличия в растительных экстрактах БАВ, действующих на другие важные этапы «жизненного» цикла вируса, кроме его прикрепления к клеточным рецепторам, используют такие схемы экспериментов как «профилактическая» схема (нанесение разведений экстрактов на монослой клеток перед их инфицированием) и схема «лечения» клеток (при предварительном инфицировании клеток) [35].

Данные по ингибирующей активности контрольных образцов и экстрактов частей растений (стеблей, листьев и цветов) *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 при «профилактической» схеме и по схеме «лечения» клеток представлены на рис. 3. В результате, по ингибирующей активности на репликацию SARS-CoV-2 при двух этих схемах экспериментов экстракт чаги оказался более эффективен при предварительной обработке монослоя клеток перед инфицированием – с EC_{50}=7,32±0,96 мкг/мл (и этот результат почти аналогичен значению EC_{50} при прямой инактивации вирионов – 6,84±1,35 мкг/мл), чем при схеме «лечения» инфицированных клеток – 17,58±3,83 мкг/мл. Экстракт *C. sinensis* наоборот более заметно проявился при схеме «лечения» с EC_{50}=9,77±2,51 мкг/мл, чем при «профилактике» – 13,67±2,51 мкг/мл (для сравнения – при прямой инактивации его EC_{50}=1,10±0,24 мкг/мл). Экстракт *S. aromaticum* более эффективен при предварительной обработке монослоя клеток перед инфицированием – 13,67±2,51 мкг/мл, чем при схеме «лечения» – 23,44±5,79 мкг/мл (для сравнения – при прямой инактивации его EC_{50}=1,22±0,31 мкг/мл).

При сравнении с почти равными значениями EC_{50} экстракта *I. obliquus* по трем схемам экспериментов, значения EC_{50} экстрактов *S. aromaticum* (1,22±0,31; 13,67±2,51; 23,44±5,79 мкг/мл) и *C. sinensis* (1,10±0,24; 23,44±5,79; 9,77±2,51 мкг/мл) отличались примерно в 10 и 20 раз (рис. 3), т.е. эти экстракты оказались более эффективными именно при прямой инактивации вирионов. Тем не менее, такие значения EC_{50} вполне сопоставимы с литературными данными по ингибирующей активности других растительных препаратов на репликацию SARS-CoV-2. Например, с 50%-ной ингибирующей концентрацией (IC_{50}) из расчета по сухому веществу в диапазоне 13,5–57,4 мкг/мл чайных настоев листьев ***A. annua* L.** на этапе после проникновения вируса (по «профилактической» схеме) против двух вариантов SARS-CoV-2, выделенных в США и Африке [10]; в диапазоне IC_{50} от 11,0 до 67,7 мкг/мл против пяти вирусных вариантов, включая Delta [11]; в диапазоне IC_{50} от 20,0 до 106 мкг/мл против варианта Omicron и трех его субвариантов [12].

Анализ данных по трем значениям EC_{50} для каждого из полученных нами сухих этанольных экстрактов частей растений (стеблей, листьев и цветов) *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2, при сравнении с прямой инактивацией вирионов (первые числа в строках), по «профилактической» схеме (вторые числа в строках) и по схеме «лечения» клеток (третьи числа в строках) выглядит, соответственно, следующим образом: ***A. vulgaris*** – стебель (14,65±1,91; 24,44±3,06; 24,44±3,06 мкг/мл), цветы (1,10±0,24; 15,63±4,00; 24,44±3,06 мкг/мл), листья (1,10±0,24; 21,88±4,00; 24,44±3,06 мкг/мл), ***A. glauca*** – стебель (6,84±1,35; 7,81±2,00; 14,06±3,06 мкг/мл), цветы (13,67±2,51; 21,88±4,00; 14,06±3,06 мкг/мл), листья (6,84±1,35; 14,06±3,06; 7,81±2,00 мкг/мл), ***A. dracunculus**** – стебель (27,34±5,01; 17,19±4,48; 24,44±3,06 мкг/мл), цветы (1,10±0,24; 7,81±2,00; 24,44±3,06 мкг/мл), листья (1,10±0,24; 15,63±4,00; 5,86±0,76 мкг/мл); ***A. absinthium*** – стебель (12,70±2,80; 0; 87,5±16,03 мкг/мл), цветы (3,42±0,62; 0; 0 мкг/мл), листья (1,10±0,24; 15,63±4,00; 24,44±3,06 мкг/мл); ***A. dracunculus**** – стебель (21,48±5,6; 11,60±1,53; 46,88±6,12 мкг/мл), цветы (37,11±10,02; 7,81±2,00; 24,44±3,06 мкг/мл), листья (3,66±0,48; 10,94±2,00; 43,75±8,01 мкг/мл); ***A. dracunculus**** – стебель (1,46±0,36; 37,5±9,26; 0 мкг/мл), цветы (3,42±0,62; 21,88±4,00; 87,5±16,03 мкг/мл), листья (1,10±0,24; 10,94±2,00; 24,44±3,06 мкг/мл); ***A. frigida*** – стебель (58,59±7,66; 14,06±3,06; 14,06±3,06 мкг/мл); цветы (54,69±10,02; 5,86±0,76; 24,44±3,06 мкг/мл), листья (4,88±1,25; 11,60±1,53; 43,75±8,01 мкг/мл); ***A. sieversiana*** – стебель (58,59±7,66; 0; 0 мкг/мл), цветы (109,38±20,05; 46,88±6,12; 11,60±1,53 мкг/мл), листья (11,72±2,89; 3,90±1,00; 10,16±2,24 мкг/мл) (рис. 2, 3).

Полученные значения EC_{50} демонстрируют, что при том, что экстракты листьев Artemisia spp. по равной и убывающей активности – ***A. vulgaris, A. dracunculus*, A. absinthium, A. dracunculus***, A. dracunculus**, A. frigida, A.glauca*** и ***A. sieversiana*** (в диапазоне концентраций 1,10±0,24–11,72±2,89 мкг/мл) оказались наиболее эффективны при прямой инактивации вирионов SARS-CoV-2, при «профилактической» схеме также был показан хороший результат экстрактов листьев ***A. sieversiana*** (3,90±1,00 мкг/мл), ***A. dracunculus**** (10,94±2,00 мкг/мл), ***A. dracunculus***** (10,94±2,00 мкг/мл), ***A. frigida*** (11,60±1,53 мкг/мл), ***A. glauca*** (14,06±3,06 мкг/мл), ***A. dracunculus**** (15,63±4,00 мкг/мл), ***A. absinthium*** (15,63±4,00 мкг/мл). По схеме «лечения» клеток следует отметить экстракты листьев ***A. dracunculus**** (5,86±0,76 мкг/мл); ***A. glauca*** (7,81±2,00 мкг/мл) и ***A. sieversiana*** (10,16±2,24 мкг/мл).

Экстракты цветов *Artemisia* spp., скорее всего, также содержат БАВ, действующие как деструктивно на вирус, так и после проникновения вируса в клетки – это ***A. vulgaris***, ***A. glauca***, ***A. dracunculus****, ***A. dracunculus****, ***A. dracunculus***** , ***A. frigida*** и ***A. sieversiana.*** Экстракт цветов ***A. absinthium*** с высоким значением EC_{50}=3,42±0,62 мкг/мл проявился только при прямой инактивации, т.к. в двух других схемах экспериментов результат для него отрицательный.

Для экстрактов стеблей стабильно высокие значения EC_{50} по результатам трех схем экспериментов выявлены для ***A. glauca*** (6,84±1,35; 7,81±2,00; 14,06±3,06 мкг/мл). Для остальных видов значения EC_{50} экстрактов стеблей изменяются по результатам трех схем экспериментов – ***A. vulgaris*** (14,65±1,91; 24,44±3,06; 24,44±3,06 мкг/мл), ***A. dracunculus**** (27,34±5,01; 17,19±4,48; 24,44±3,06 мкг/мл), ***A. dracunculus***** (21,48±5,6; 11,60±1,53; 46,88±6,12 мкг/мл), ***A. frigida*** (58,59±7,66; 14,06±3,06; 14,06±3,06 мкг/мл). Экстракт стеблей ***A. dracunculus***** с высоким значением EC_{50}=1,46±0,36 мкг/мл проявился только при прямой инактивации, т.к. при «профилактической» схеме EC_{50}=37,5±9,26 мкг/мл, а при схеме «лечения» результат для него отрицательный. Экстракт стеблей ***A. sieversiana*** с невысоким значением EC_{50}=58,59±7,66

мкг/мл инактивировал живой вирус, а в двух других схемах результат для него отрицательный. Тем не менее, эти данные предполагают наличие в стеблях, как и в листьях и цветах видов *Artemisia* некоторого количества БАВ, способных инактивировать SARS-CoV-2 и/или ингибировать его ферменты, необходимые для репликации.

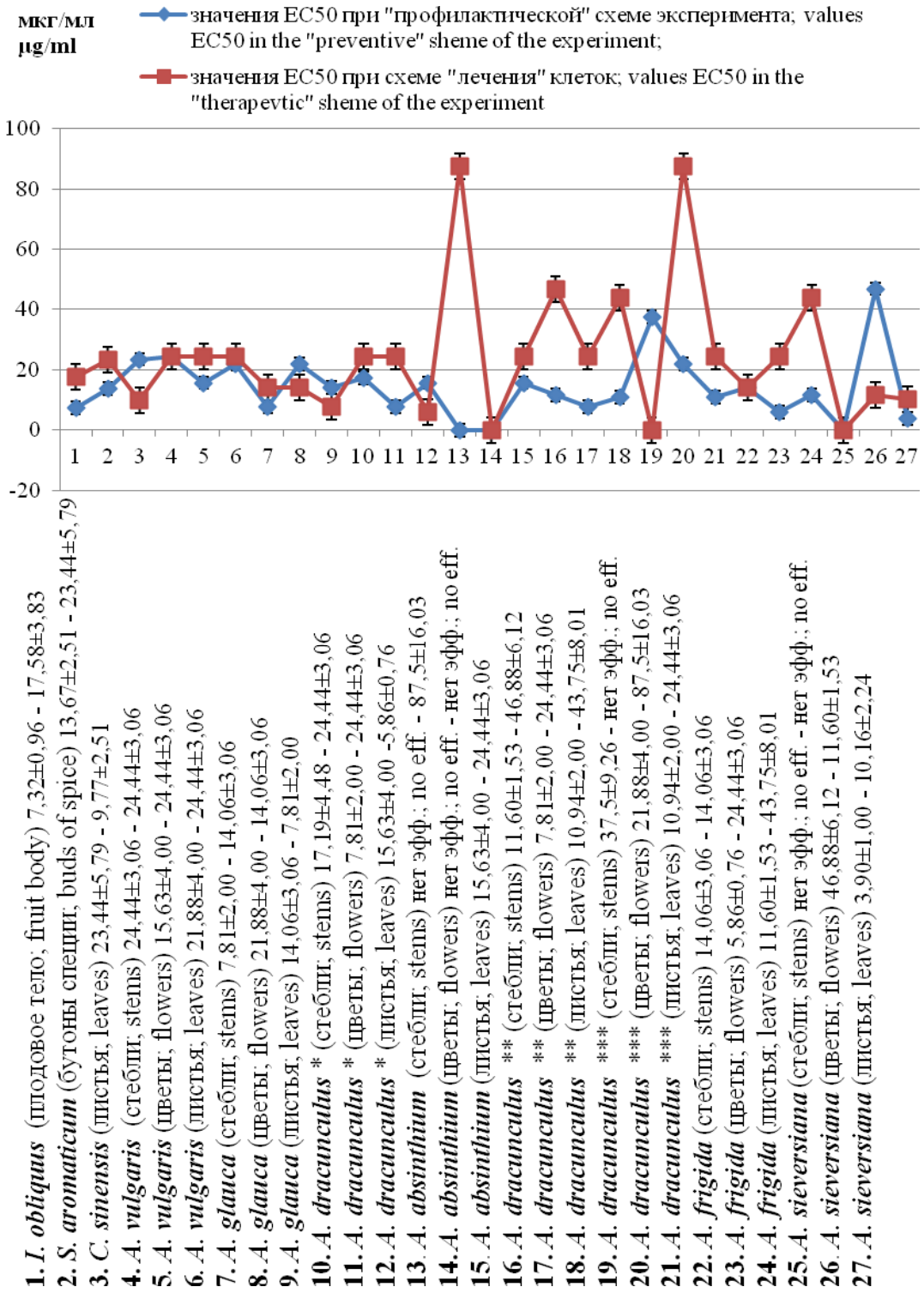


Рисунок 3. Значения 50%-ных эффективных концентраций экстрактов контрольных образцов и разных частей полыней – стеблей, цветов и листьев на ингибирующую активность репликации SARS-CoV-2 при «профилактической» и «лечебной» схемам экспериментов

Примечания: нет эфф. – нет эффекта

Figure 3. The values of 50% effective concentrations of extracts of control samples and different parts of *Artemisia* spp. (stems, flowers and leaves) on the inhibitory activity of SARS-CoV-2 replication in the "preventive" and "therapeutic" experimental schemes

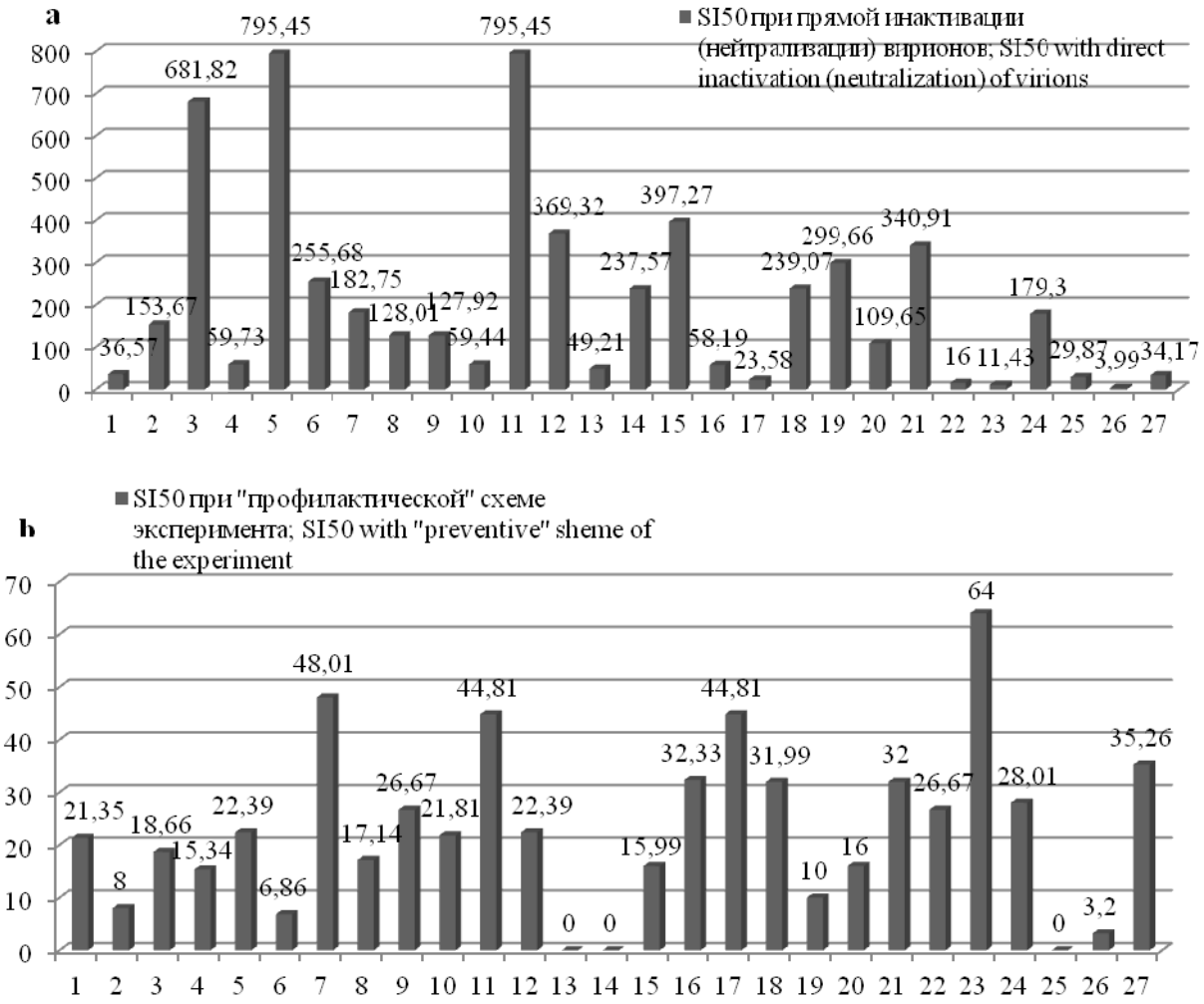
Note: no eff. – no effect

4. Определение индексов селективности для исследованных этанольных экстрактов полыни и контрольных образцов

На основании полученных данных по цитотоксичности (CC_{50}) (рис. 1) и эффективным концентрациям (EC_{50}) исследуемых растительных препаратов по трем схемам экспериментов по их инактивирующей (нейтрализующей) активности (рис. 2), а также по «профилактической» и схеме «лечения» клеток (рис. 3) были рассчитаны индексы селективности (SI_{50}) и представлены в виде диаграммы (рис. 4), по которой можно сделать выводы о предполагаемом терапевтическом эффекте как контрольных образцов сухих этанольных экстрактов *C. sinensis*, *S. aromaticum* и *I. obliquus*, для которых эти результаты также получены впервые, так и для отдельных частей (стеблей, цветов, листьев) *Artemisia* spp.

В результате по трем схемам экспериментов получены следующие значения SI_{50}: при прямой инактивации от 3,99 для экстракта цветов ***A. sieversiana*** (образец №26) до 795,45 для экстракта цветов ***A. vulgaris*** (образец №5) и экстракта цветов ***A. dracunculus**** (образец №11); по «профилактической» схеме от 3,2 для экстракта цветов ***A. sieversiana*** (образец №26) до 64,0 для экстракта цветов ***A. frigida*** (образец №23) и по схеме «лечения» от 3,71 для экстракта стебля ***A. absinthium*** (образец №13) до 59,73 для экстракта листьев ***A. dracunculus**** (образец №12) (рис. 4).

По данным литературы, индексы селективности по результатам исследований *in vitro* варьируют в широком диапазоне и зависят от цитотоксичности анализируемых препаратов. Например, для разных фракций мало токсичных, по мнению Trujillo-Correa с соавт., для клеток Vero (с CC_{50} от 130,5 до 625,7 мкг/мл) этанольных экстрактов коры древесного растения *Psidium guajava* (Myrtaceae) при EC_{50} от 16,7 до 134,4 мкг/мл против вируса денге) показатели SI_{50} представлены в значениях от 1,0 до 35,4 [43]. Мазуркова с соавт. определили SI_{50} от 5,12 до 109,56 для этанольных экстрактов корней и наземных органов манжетки обыкновенной (*Alchemilla vulgaris*, Rosaceae) с EC_{50} от 4,79 до 19,95 мкг/мл против вирусов простого герпеса 1 и 2 типов (при CC_{50} в диапазоне 56,23–676,08 мкг/мл) [44]. Теплякова с соавт. в заявке на патент по ингибирующему действию лиофильно высушенных и концентрированных водных экстрактов *I. obliquus* на штамм nCoV/Victoria/1/2020 SARS-CoV-2 представили значение SI_{50} в диапазоне 16,73–155,5 для разных образцов при показателях EC_{50}=0,75–11,6 мкг/мл [25]. Для синтезированного препарата НИОХ-14 в отношении вирусов осповакцины и эктромелии с EC_{50}=0,004±0,001 мкг/мл и CC_{50}=470±90 мкг/мл SI_{50} оказался равным 117000 [45].



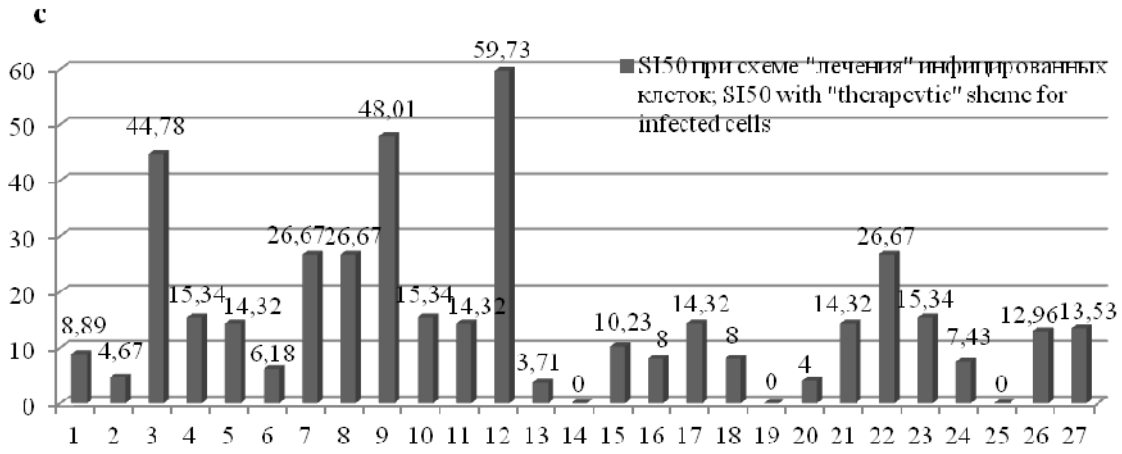


Рисунок 4. Индексы селективности для исследованных этанольных экстрактов контрольных образцов и отдельных частей (стеблей, цветов, листьев) *Artemisia* spp.

Примечание: номера по горизонтальной линии соответствуют нумерации в рис. 1, 2 и 3;

a. *данные по схеме прямой инактивации (нейтрализации) вируса;* ***b.*** *данные по «профилактической» схеме;*

c. *данные по схеме «лечения» инфицированных клеток*

Figure 4. Selectivity indices for the studied ethanol extracts of control samples and individual parts (stems, flowers, leaves) of *Artemisia* spp.

Note: the numbers on the horizontal line correspond to the numbering in Figs. 1, 2 and 3;

a. *data from the scheme of direct inactivation (neutralization) of virus;* ***b.*** *data from the "preventive" scheme;*

c. *data from the "therapeutic" scheme of infected cells*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

До сих пор нет зарегистрированных препаратов прямого анти-SARS-CoV-2 действия. Например, лечение пациентов с COVID-19 проводится ремдесивиром – ингибитором вирусной РНК-зависимой РНК-полимеразы (RdRp), одобренным FDA (U.S. Food and Drug Administration) и EMA (European Medicines Agency) для применения при других вирусных инфекциях. Но на сегодняшний день результаты клинических испытаний противоречивы, и их нельзя считать однозначно убедительными [46]. Известно, что белками – мишенями для противовирусных препаратов могут быть как RdRp, которая отвечает за репликацию вирусной РНК, так и основная вирусная протеаза 3CLpro [47], а также рецепторсвязывающий домен (RBD) белка S, взаимодействующий с клеточными рецепторами [48]. Нейтрализующие моноклональные антитела (МКА), специфичные к RBD, были одобрены в США в качестве вариантов лечения COVID-19 для экстренного использования в случае угрозы смерти пациента. Но такие препараты дорогие в производстве и репертуар терапевтических МКА против SARS-CoV-2 необходимо постоянно проверять на эффективность и расширять их «ассортимент» в связи с появлением новых вирусных вариантов [49]. Поэтому идеальными лекарственными препаратами при COVID-19 могут стать вещества, ингибирующие несколько вирусных мишеней. В настоящее время проводят тестирование *in silico* большого количества молекул природного происхождения по поиску возможных лекарств от этой болезни [47]. Несмотря на огромные мировые усилия по созданию вакцины, смертельная пандемия по-прежнему представляет угрозу для человечества. Таким образом, использование потенциально эффективных растительных лекарственных средств является еще одним подходом к предотвращению распространения SARS-CoV-2 [13].

Полученные нами данные по анализу ингибирующей активности отдельных частей (стеблей, цветов, листьев) *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 по трем схемам экспериментов – это прямая инактивация (нейтрализация) вируса, а также по схемам «профилактики» и «лечения» клеток актуальны, т.к. для дальнейших исследований можно расширить видовой состав полыней, произрастающих в Новосибирской области и в других регионах РФ, а также оценить запасы природного сырья. Перспективные виды и сорта растений рода *Artemisia* L. можно интродуцировать и вводить в культуру, как описано [50]. На основе вида ***A. absinthium*** **L.**, признанного официальным лекарственным растением в РФ и ***A. vulgaris*** **L.,** разрешенной к продаже, можно провести дополнительные клинические исследования с использованием нескольких вирусных штаммов и разработать ТУ для производства капсулированных препаратов высушенных листьев, как рекомендуют Nair с соавт. на основании результатов по эффективности препаратов листьев ***A. annua*** **L.** против SARS-CoV-2 [12]. Другие виды полыней, представленные в данной работе, также необходимо тщательно изучить в этом направлении. Например, в Китае в самом начале пандемии COVID-19 для профилактической и лечебной ароматерапии в госпиталях использовали полынь серебристую ***A. argyi*** [51].

Таким образом, на основании полученных нами результатов можно сказать, что все исследованные *Artemisia* spp. по отдельным частям растений можно использовать как для хроматографического определения состава БАВ, так и выделения индивидуальных соединений для анализа их ингибирующего действия на репликацию SARS-CoV-2 и/или других вирусов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Экспериментальная работа выполнялась при поддержке гранта РНФ №19-74-10055. Анализ и интерпретация данных выполнялись в рамках

государственного задания ФИЦ ФТМ (тема №122012400086-2).
2. Работа частично выполнена в рамках государственного задания 122120600015-2.

ACKNOWLEDGMENT

1. The experimental work was carried out with the support of RNF grant No. 19-74-10055. Analysis and interpretation of the data were carried out within the framework of the state task of the FRCFTM (topic No. 122012400086-2).
2. The work was partially performed within the framework of the state assignment 122120600015-2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bora K.S., Sharma A. The genus *Artemisia*: a comprehensive review // Pharmaceutical Biology. 2011. V. 49. N 1. P. 101–109. DOI: 10.3109/13880209.2010.497815
2. Hussain A. A phylogenetic perspective of antiviral species of the genus *Artemisia* (Asteraceae-Anthemideae): A proposal of anti SARS-CoV-2 (COVID-19) candidate taxa // J Herb Med. 2022. N 36. Article number: 100601. DOI: 10.1016/j.hermed.2022.100601
3. Леонова Т.Г. Полынь – Artemisia L. // Флора европейской части СССР. СПб: Наука, 1994. Т. VII. С. 150–174.
4. Sharifi-Rad J., Herrera-Bravo J., Semwal P., Painuli S., Badoni H., Ezzat Shahira M., Farid M.M., Merghany R.M., Aborehab N.M., Salem M.A, Sen S., Acharya K., Lapava N., Martorell M., Tynybekov B., Calina D., Cho W.C. *Artemisia* spp.: An Update on Its Chemical Composition, Pharmacological and Toxicological Profiles. *Oxid Med Cell Longev*. 2022. V. 2022. Article ID: 5628601. DOI: 10.1155/2022/5628601
5. Red List. Internet resource. URL: https://www.iucnredlist.org/search/list?taxonomies=115307&searchType=species (дата обращения: 01.11.2022)
6. Su X.Z., Miller L.H. The discovery of artemisinin and the Nobel Prize in Physiology or Medicine // Science China Life Sciences. 2015. N 58. P. 1175–1179. DOI: 10.1007/s11427-015-4948-7
7. Agrawal P.K., Agrawal C., Blunden G. *Artemisia* Extracts and Artemisinin-Based Antimalarials for COVID-19 Management: Could These Be Effective Antivirals for COVID-19 Treatment? // Molecules. 2022. V. 27. N 12. Article number: 3828. DOI: 10.3390/molecules27123828
8. Cao R., Hu H., Li Yu., Wang X., Xu M., Liu J., Zhang H., Yan Y., Zhao L., Li W., Zhang T., Xiao D., Guo X., Li Y., Yang J., Hu Z., Wang M., Zhong W. Anti-SARS-CoV-2 Potential of Artemisinins *In Vitro* // ACS Infect Dis. 2020. V. 6. N 9. P. 2524–2531. DOI: 10.1021/acsinfecdis.0c00522
9. Nie C., Trimpert J., Moon S., Haag R., Gilmore K., Kaufer B.B., Seeberger P.H. In vitro efficacy of Artemisia extracts against SARS-CoV-2 // Virol J. 2021. V. 18(1). Article number: 182. DOI: 10.1186/s12985-021-01651-8
10. Nair M.S., Huang Y., Fidock D.A., Polyak S.J., Wagoner J., Towler M.J., Weathers P.J. Artemisia annua L. extracts inhibit the in vitro replication of SARS-CoV-2 and two of its variants // J Ethnopharmacol. 2021. N 274. Article ID: 114016. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114016
11. Nair M.S., Huang Y., Fidock D.A., Towler M.J., Weathers P.J. Artemisia annua L. hot-water extracts show potent activity in vitro against Covid-19 variants including delta // J Ethnopharmacol. 2022. N 284. Article number: 114797. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114797
12. Nair M.S., Huang Y., Weathers P.J. SARS-CoV-2 omicron variants succumb *in vitro* to *Artemisia annua* hot water extracts // *BioRxiv.* 2022. Preprint. DOI: 10.1101/2022.07.22.501141
13. Dogan K., Erol E., Orhan M.D., Degirmenci Z., Kan T., Gungor A., Yasa B., Avsar T., Cetin Y., Durdagi S., Guzel M. Instant determination of the artemisinin from various Artemisia annua L. extracts by LC-ESI-MS/MS and their in-silico modelling and in vitro antiviral activity studies against SARS-CoV-2 // Phytochem Anal. 2022. V. 33. N 2. P. 303–319. DOI: 10.1002/pca.3088
14. Журинов М.Ж., Мифтахова А.Ф., Шустов А.В., Кеер В., Солодова Е.В. Ингибирующая активность экстрактов против коронавируса // Eurasian Journal of Applied Biotechnology. 2022. N 3. С. 25–31.
15. Kupferschmidt K. WHO relaunches global drug trial with three new candidates // Science. 2021. V. 373. N 6555. P. 606–607. DOI: 10.1126/science.373.6555.606
16. Wang D., Shi C., Alamgir K., Kwon S., Pan L., Zhu Y., Yang X. Global assessment of the distribution and conservation status of a key medicinal plant (*Artemisia annua* L.): The roles of climate and anthropogenic activities // Sci Total Environ. 2022. N 821. Article number: 153378. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153378
17. Коновалов Д.А., Хамилонов А.А. Биологически активные соединения полыни однолетней. Эфирное масло // Фармация и фармакология. 2016. Т. 4. N 4. С. 4–33. DOI.org/10.19163/2307-9266-2016-4-4-4-33
18. Zhigzhitzhapova S.V., Dylenova E.P., Gulyaev S.M, Randalova T.E., Taraskin V.V., Tykheev Z.A., Radnaeva L.D. Composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia annua* // L Nat Prod Res. 2020. V. 34(18). P. 2668–2671. DOI: 10.1080/14786419.2018.1548461
19. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Дагестан. URL: https://05.rospotrebnadzor.ru/371/-/asset_publisher/m7XL/content/%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8B%D0%BD%D1%8C-%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%BA%D0%B0%D1%8F (дата обращения: 01.10.2022)
20. Государственный реестр лекарственных средств. URL: http://grls.rosminzdrav.ru (дата обращения: 01.10.2022)
21. Приказ Росстандарта общероссийского классификатора продукции. URL: https:/normative.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=56864 (дата обращения: 01.10.2022)
22. Шалдаева Т.М. Особенности накопления флавоноидов в полынях (Artemisia L.) лесостепной зоны Западной Сибири // Автореф. канд. дисс. Новосибирск, 2007. 18 с. URL: https://www.dissercat.com/content/osobennosti-nakopleniya-flavonoidov-v-polynyakh-artemisia-l-lesostepnoi-zony-zapadnoi-sibiri/read (дата обращения: 01.10.2022)
23. Евсеева С.Б., Сысуев Б.Б. Экстракты растительного сырья как компоненты косметических и наружных лекарственных средств: ассортимент продукции, особенности получения (обзор) // Фармация и фармакология. 2016. N 3. С. 4–37. DOI: 10.19163/2307-9266-2016-4-3-4-37
24. Красноборов И.М. Полынь – Artemisia L. // Определитель растений Новосибирской области. Новосибирск: Наука, 2000. С. 335–339.
25. Теплякова Т.В., Пьянков О.В., Скарнович М.О., Бормотов Н.И., Потешкина А.Л., Овчинникова А.С., Косогова Т.А., Магеррамова А.В., Маркович Н.А., Филиппова Е.И. Ингибитор репликации коронавируса SARS-CoV-2 на основе водного экстракта гриба *Inonotus obliquus* // Пат. РФ N 2741714C1; опубл. 28.01.2021 в Бюл. №4.
26. Казачинская Е.И., Чепурнов А.А., Кононова Ю.В., Шелемба А.А., Романюк В.В., Магомедов М.Г., Шестопалов А.М. Ингибирующая активность чайных композиций и их составляющих ингредиентов на репликацию SARS-COV-2 *in*

vitro // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 2. С. 76–90. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-76-90
27. Mhatre S., Naik S., Patravale V. A molecular docking study of EGCG and theaflavin digallate with the druggable targets of SARS-CoV-2 // Comput Biol Med. 2021. N 129. Article number: 104137. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2020.104137
28. Mhatre S., Srivastava T., Naik S., Patravale V. Antiviral activity of green tea and black tea polyphenols in prophylaxis and treatment of COVID-19: a review // Phytomedicine. 2021. V. 85. Article number: 153286. DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153286
29. Ishimoto K., Hatanaka N., Otani S., Maeda S., Xu B., Yasugi M., Moore J.E., Suzuki M., Nakagawa S., Yamasaki S. // Lett Appl Microbiol. 2022. V. 74. N 1. P. 2–7. DOI: 10.1111/lam.13591
30. Чепурнов А.А., Шаршов К.А., Казачинская Е.И., Кононова Ю.В., Казачкова Е.А., Хрипко О.П., Юрченко К.С., Алексеев А.Ю., Воевода М.И., Шестопалов А.М. Антигенные свойства изолята коронавируса SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020, выделенного от пациента в Новосибирске // Журнал инфектологии. 2020. Т. 12. N 3. С. 42–50. DOI: 10.22625/2072-6732-2020-12-3-42-50
31. Kazachinskaia E.I., Chepurnov A.A., Shcherbakov D.N, Kononova Yu.V., Shanshin D.V., Romanova V.D., Khripko O.P., Saroyan T.A., Gulyaeva M.A., Voevoda M.I., Shestopalov A.M. IgG Study of Blood Sera of Patients with COVID-19 // Patogens. 2021. V. 10. N 11. Article number: 1421. DOI: 10.3390/patogens10111421
32. Case J.B., Bailey A.L., Kim A.S., Chen R.E., Diamond M.S. Growth, detection, quantification, and inactivation of SARS-CoV-2 // Virology. 2020. N 548. P. 39–48. DOI: 10.1016/j.virol.2020.05.015
33. Hassan S.T.S., Berchova-Bimova K., Šudomova M., Malanik M., Smejkal K., Rengasamy K.R.R. In Vitro Study of Multi-Therapeutic Properties of *Thymus bovei* Benth. Essential Oil and Its Main Component for Promoting Their Use in Clinical Practice // J. Clin. Med. 2018. N 7. Article number: 283. DOI: 10.3390/jcm7090283
34. Фисенко В.П. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / под ред. Минздрав РФ, ЗАО «ИИА «Ремедиум, М. 2000. 398 с.
35. Tolah A.M., Altayeb L.M, Alandijany T.A., Dwivedi V.D., El-Kafrawy S.A., Azhar E.I. Computational and In Vitro Experimental Investigations Reveal Anti-Viral Activity of Licorice and Glycyrrhizin against Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 // Pharmaceuticals (Basel). 2021. V. 14. N 12. Article number: 1216. DOI: 10.3390/ph14121216
36. Teplyakova T.V, Pyankov O.V., Safatov A.S., Ovchinnikova A.S., Kosogova T.A, Skarnovich M.O., Filippova E.I., Poteshkina A.L. Water Extract of the Chaga Medicinal Mushroom, *Inonotus obliquus* (Agaricomycetes), Inhibits SARS-CoV-2 Replication in Vero E6 and Vero Cell Culture Experiments // Int J Med Mushrooms. 2022. V. 24. N 2. P. 23–30. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2021042012
37. Shahzad F., Anderson D., Najafzadeh M. The Antiviral, Anti-Inflammatory Effects of Natural Medicinal Herbs and Mushrooms and SARS-CoV-2 Infection // Nutrients. 2020. V. 12. N 9. Article number: 2573. DOI: 10.3390/nu12092573
38. Vicidomini C., Roviello V., Roviello G. Molecular Basis of the Therapeutical Potential of Clove (*Syzygium aromaticum* L.) and Clues to Its Anti-COVID-19 Utility // *Molecules*. 2021. V. 26. N 7. Article number: 1880. DOI: 10.3390/molecules26071880
39. Зайковская А.В., Гладышева А.В., Карташов М.Ю., Таранов О.С., Овчинникова А.С., Шиповалов А.В., Пьянков О.В. Изучение в условиях *in vitro* биологических свойств штаммов коронавируса SARS-CoV-2, относящихся к различным генетическим вариантам // Проблемы особо опасных инфекций. 2022. N 1. С. 94–100. DOI: 10.21055/0370-1069-2022-1-94-100
40. Liu H., Ye F., Sun Q., Liang H., Li C., Li S., Lu R., Huang B., Tan W., Lai L. *Scutellaria baicalensis* extract and baicalein inhibit replication of SARS-CoV-2 and its 3C-like protease in vitro CoV-2 // J Enzyme Inhib Med Chem. 2021. V. 36. N 1. P. 497–503. DOI:10.1080/14756366.2021.1873977
41. Zannella C., Giugliano R., Chianese A., Buonocore C., Vitale G.A., Sanna G., Sarno F., Manzin A., Nebbioso A., Termolino P., Altucci L., Massimiliano G., de Pascale D., Franci G. Antiviral Activity of *Vitis vinifera* Leaf Extract against SARS-CoV-2 and HSV-1 // Viruses. 2021. V. 13. N 7. Article number: 1263. DOI: 10.3390/v13071263
42. Mohamed F.F., Anhlan D., Schöfbänker M., Schreiber A., Classen N., Hensel A., Hempel G., Scholz W., Kühn J., Hrincius E.R., Ludwig S. *Hypericum perforatum* and Its Ingredients Hypericin and Pseudohypericin Demonstrate an Antiviral Activity against SARS-CoV-2 // Pharmaceuticals (Basel). 2022. V. 15. N 5. Article number: 530. DOI: 10.3390/ph15050530
43. Trujillo-Correa A.I., Quintero-Gil D.C., Diaz-Castillo F., Quiñones W., Robledo S.M., Martinez-Gutierrez M. In vitro and in silico anti-dengue activity of compounds obtained from Psidium guajava through bioprospecting // BMC Complement Altern Med. 2019. V. 19. N 1. Article number: 298. DOI: 10.1186/s12906-019-2695-1
44. Мазуркова Н.А., Кукушкина Т.А., Высочина Г.И., Ибрагимова Ж.Б., Лобанова И.Е., Филиппова Е.И., Мазурков О.Ю., Макаревич Е.В., Шишкина Л.Н., Агафонов А.П. Изучение противогерпетической активности экстрактов манжетки обыкновенно (Alchemilla vulgaris L.) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2016. N 1. С. 118–127. URL: https://www.pharmjournal.ru/jour/article/view/230?locale=ru_RU (дата обращения: 01.10.2022)
45. Мазурков О.Ю. Противовирусная активность, безвредность и биодоступность субстанции кандидатного противооспенного препарата НИОХ-14. Дисс. к.б.н., Кольцово, 2020. URL: http://www.vector.nsc.ru/userfiles/files/diss/mazurkov/dmazurkov.pdf (дата обращения: 01.10.2022)
46. García-Lledó A., Gómez-Pavón J., Castillo J.G.D., Hernández-Sampelayo T., Martín-Delgado M.C., Sánchez F.J.M., Martínez-Sellés M., García J.M.M., Guillén S.M., Rodríguez-Artalejo F.J., Ruiz-Galiana J., Cantón R., Ramos P.D.L., García-Botella A., Bouza E. Pharmacological treatment of COVID-19: an opinion paper // Rev Esp Quimioter. 2022. V. 35. N 2. P. 115–130. DOI: 10.37201/req/158.2021
47. da Rocha Matos A., Caetano B.C., de Almeida Filho J.L., de Carvalho Martins J.S.C., de Oliveira M.G.P., das Chagas Sousa T., Horta M.A.P., Siqueira M.M., Fernandez J.H. Identification of Hypericin as a Candidate Repurposed Therapeutic Agent for COVID-19 and Its Potential Anti-SARS-CoV-2 Activity // Front Microbiol. 2022. N 13. Article number: 828984. DOI: 10.3389/fmicb.2022.828984
48. Prateeksha G., Rana T.S., Ashthana A.K., Barik S.K., Singh B.N. Screening of cryptogamic secondary metabolites as putative inhibitors of SARS-CoV-2 main protease and ribosomal binding domain of spike glycoprotein by molecular docking and molecular dynamics approaches // J Mol Struct. 2021. N 1240. Article number: 130506. DOI: 10.1016/j.molstruc.2021.130506
49. Peng L., Hu Y., Mankowski M., Ren P., Chen R.E., Wei J., Zhao M., Li T., Tripler T., Ye L., Chow R.D., Fang Z., Wu C., Dong M.B., Cook M., Wang G., Clark P., Nelson B., Klein D., Sutton R., Diamond M.S., Wilen C.B., Xiong Y., Chen S. Monospecific and bispecific monoclonal SARS-CoV-2 neutralizing antibodies that maintain potency against B.1.617 // Nat Commun. 2022. V. 13. N 1. Article number: 1638. DOI: 10.1038/s41467-022-29288-3

50. Логвиненко Л.А., Шевчук О.М., Кравченко Е.Н. Интродукционное изучение некоторых видов полыни коллекции ароматических и лекарственных растений Никитского ботанического сада // Аграрный вестник Урала. 2019. N 4(183). С. 59–63. DOI: 10.32417/article_5cf9f5c5bfb246.48831055
51. Zhao Z., Li Y., Zhou L., Zhou X., Xie B., Zhang W., Sun J. Prevention and treatment of COVID-19 using Traditional Chinese Medicine: a review // Phytomedicine. 2021. N 85. Article number: 153308. DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153308

REFERENCES

1. Bora K.S., Sharma A. The genus *Artemisia*: a comprehensive review. *Pharmaceutical Biology* , 2011, vol. 49, no. 1, pp. 101–109. DOI: 10.3109/13880209.2010.497815
2. Hussain A.A. phylogenetic perspective of antiviral species of the genus *Artemisia* (Asteraceae-Anthemideae): A proposal of anti SARS-CoV-2 (COVID-19) candidate taxa. *J Herb Med*., 2022, no. 36, article number: 100601. DOI: 10.1016/j.hermed.2022.100601
3. Leonova T.G. Wormwood – Artemisia L. Flora of the European part of the USSR. St. Petersburg: The Science, 1994, vol. VII, pp. 150–174. (In Russian)
4. Sharifi-Rad J., Herrera-Bravo J., Semwal P., Painuli S., Badoni H., Ezzat Shahira M., Farid M.M., Merghany R.M., Aborehab N.M., Salem M.A, Sen S., Acharya K., Lapava N., Martorell M., Tynybekov B., Calina D., Cho W.C. *Artemisia* spp.: An Update on Its Chemical Composition, Pharmacological and Toxicological Profiles. *Oxid Med Cell Longev*. 2022, iss. 2022, article number: 5628601. DOI: 10.1155/2022/5628601
5. Red List. URL: https://www.iucnredlist.org/search/list?taxonomies=115307&searchType=species (Date of application 1.10.2022)
6. Su X.Z., Miller L.H. The discovery of artemisinin and the Nobel Prize in Physiology or Medicine. *Science China Life Sciences*., 2015, no. 58, pp. 1175–1179. DOI: 10.1007/s11427-015-4948-7
7. Agrawal P.K., Agrawal C., Blunden G. *Artemisia* Extracts and Artemisinin-Based Antimalarials for COVID-19 Management: Could These Be Effective Antivirals for COVID-19 Treatment? *Molecules*., 2022, vol. 27, no. 12, article number: 3828. DOI: 10.3390/molecules27123828
8. Cao R., Hu H., Li Yu., Wang X., Xu M., Liu J., Zhang H., Yan Y., Zhao L., Li W., Zhang T., Xiao D., Guo X., Li Y., Yang J., Hu Z., Wang M., Zhong W. Anti-SARS-CoV-2 Potential of Artemisinins In Vitro. *ACS Infect Dis*. 2020, vol. 6, no. 9, pp. 2524–2531. DOI: 10.1021/acsinfecdis.0c00522
9. Nie C., Trimpert J., Moon S., Haag R., Gilmore K., Kaufer B.B., Seeberger P.H. In vitro efficacy of Artemisia extracts against SARS-CoV-2. *Virol J*., 2021, vol. 18(1), article number:182. DOI: 10.1186/s12985-021-01651-8
10. Nair M.S., Huang Y., Fidock D.A., Polyak S.J., Wagoner J., Towler M.J., Weathers P.J. Artemisia annua L. extracts inhibit the in vitro replication of SARS-CoV-2 and two of its variants. *J Ethnopharmacol*., 2021, no. 274, article number: 114016. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114016
11. Nair M.S., Huang Y., Fidock D.A., Towler M.J., Weathers P.J. Artemisia annua L. hot-water extracts show potent activity in vitro against Covid-19 variants including delta. *J Ethnopharmacol*., 2022, no. 284, article number: 114797. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114797
12. Nair M.S., Huang Y., Weathers P.J. SARS-CoV-2 omicron variants succumb *in vitro* to *Artemisia annua* hot water extracts. *BioRxiv*. Preprint. 2022. DOI: 10.1101/2022.07.22.501141
13. Dogan K., Erol E., Orhan M.D., Degirmenci Z., Kan T., Gungor A., Yasa B., Avsar T., Cetin Y., Durdagi S., Guzel M. Instant determination of the artemisinin from various Artemisia annua L. extracts by LC-ESI-MS/MS and their in-silico modelling and in vitro antiviral activity studies against SARS-CoV-2. *Phytochem Anal*., 2022, vol. 33, no. 2, pp. 303–319. DOI: 10.1002/pca.3088
14. Zhurinov M.Zh., Miftakhova A.F., Shustov A.V., Keyer V., Solodova E.V. Inhibitory activity of extracts against coronavirus. Eurasian Journal of Applied Biotechnology. 2022, no. 3, pp. 25–31. (In Russian)
15. Kupferschmidt K. WHO relaunches global drug trial with three new candidates *Science.* 2021, vol. 373, no. 6555, pp. 606–607. DOI: 10.1126/science.373.6555.606
16. Wang D., Shi C., Alamgir K., Kwon S., Pan L., Zhu Y., Yang X. Global assessment of the distribution and conservation status of a key medicinal plant (*Artemisia annua* L.): The roles of climate and anthropogenic activities. *Sci Total Environ*., 2022, no. 821, article number: 153378. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153378
17. Konovalov D.A., Khamilonov A.A. Biologically active compounds of Artemisia annua. Essential oil. *Pharmacy & Pharmacology*, 2016, vol. 4, no. 4, pp. 4–33. (In Russian) DOI: 10.19163/2307-9266-2016-4-4-4-33
18. Zhigzhitzhapova S.V., Dylenova E.P., Gulyaev S.M, Randalova T.E., Taraskin V.V., Tykheev Z.A., Radnaeva L.D. Composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia annua* L Nat Prod Res. 2020, vil. 34(18), pp. 2668–2671. DOI: 10.1080/14786419.2018.1548461
19. Office of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare in the Republic of Dagestan. Available at: https://05.rospotrebnadzor.ru/371/-/asset_publisher/m7XL/content/%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8B%D0%BD%D1%8C-%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%BA%D0%B0%D1%8F (accessed 1.10.2022) (In Russian)
20. State Register of Medicines. Available at: http://grls.rosminzdrav.ru. (accessed 04.10.2022) (In Russian)
21. The order of the Rosstandart of the All-Russian classifier of products. Available at: https:/normative.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=56864 (accessed 1.10.2022). (In Russian)
22. Shalaeva T.M. Features of flavonoid accumulation in wormwood (Artemisia L.) of the forest-steppe zone of Western Siberia. // Abstract of the cand. diss. Novosibirsk, 2007. 18 p. Electronic library of dissertations. Available at: https://www.dissercat.com/content/osobennosti-nakopleniya-flavonoidov-v-polynyakh-artemisia-l-lesostepnoi-zony-zapadnoi-sibiri/read (accessed 1.10.2022). (In Russian)
23. Evseeva S.B., Sysuev B.B. Plant raw material extracts as components of cosmetic products and formulations for topical administration the products range, the production characteristics (review). *Pharmacy & Pharmacology*, 2016, no. 3, pp. 4–37. (In Russian) DOI: 10.19163/2307-9266-2016-4-3-4-37
24. Krasnoborov I.M. *Polyn' – Artemisia L. Opredelitel' rastenii Novosibirskoi oblasti* [Wormwood - Artemisia L. Determinant of plants of the Novosibirsk region]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2000, pp. 335–339. (In Russian)
25. Teplyakova T.V., Pyankov O.V., Skarnovich M.O., Bormotov N.I., Poteshkina A.L., Ovchinnikova A.S., Kosogova T.A., Magerramova A.V., Markovich N.A., Filippova E.I. An inhibitor of SARS-CoV-2 coronavirus replication based on an aqueous extract of the fungus *Inonotus obliquus*. Patent of the Russian Federation, no. 2741714C1. (In Russian)
26. Kazachinskaia E.I., Chepurnov A.A., Kononova Y.V., Shelemba A.A., Romanyuk V., Magomedov M.G., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of tea compositions and their constituent ingredients on SARS-COV-2 replication in vitro. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 76–90. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-76-90
27. Mhatre S., Naik S., Patravale V. A molecular docking study of EGCG and theaflavin digallate with the druggable targets of

SARS-CoV-2. *Comput Biol Med*., 2021, no. 129, article number:104137. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2020.104137
28. Mhatre S., Srivastava T., Naik S., Patravale V. Antiviral activity of green tea and black tea polyphenols in prophylaxis and treatment of COVID-19: A review. *Phytomedicine*, 2021, vol. 85, article number: 153286. DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153286
29. Ishimoto K., Hatanaka N., Otani S., Maeda S., Xu B., Yasugi M., Moore J.E., Suzuki M., Nakagawa S., Yamasaki S. Tea crude extracts effectively inactivate severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. *Lett Appl Microbiol*., 2022, vol. 74, no. 1, pp. 2–7. DOI: 10.1111/lam.13591
30. Chepurnov A.A., Sharshov K.A., Kazachinskaya E.I., Kononova Yu.V., Kazachkova E.A., Khripko O.P., Yurchenko K.S., Alekseev A.Yu., Voevoda M.I., Shestopalov A.M. Antigenic properties of sARs-CoV-2/human/RUs/nsk-FRCFtM-1/2020 coronavirus isolate from a patient in novosibirsk. *Journal Infectology*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 42–50. (In Russian) DOI: 10.22625/2072-6732-2020-12-3-42-50
31. Kazachinskaia E.I., Chepurnov A.A., Shcherbakov D.N, Kononova Yu.V., Shanshin D.V., Romanova V.D., Khripko O.P., Saroyan T.A., Gulyaeva M.A., Voevoda M.I., Shestopalov A.M. IgG Study of Blood Sera of Patients with COVID-19. *Patogens*, 2021, vol. 10, no. 11, article number: 1421. DOI: 10.3390/patogens10111421
32. Case J.B., Bailey A.L., Kim A.S., Chen R.E., Diamond M.S. Growth, detection, quantification, and inactivation of SARS-CoV-2. *Virology*, 2020, no. 548, pp. 39–48. DOI: 10.1016/j.virol.2020.05.015
33. Hassan S.T.S., Berchova-Bimova K., Šudomova M., Malanik M., Smejkal K., Rengasamy K.R.R. In Vitro Study of Multi-Therapeutic Properties of *Thymus bovei* Benth. Essential Oil and Its Main Component for Promoting Their Use in Clinical Practice. *J. Clin. Med*., 2018, no. 7, article number: 283. DOI: 10.3390/jcm7090283
34. Fisenko V.P. *Rukovodstvo po eksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniyu novykh farmakologicheskikh veshchestv* [Guidelines for the experimental (preclinical) study of new pharmacological substances]. Moscow. 2000, 398 p. (In Russian)
35. Tolah A.M., Altayeb L.M, Alandijany T.A., Dwivedi V.D., El-Kafrawy S.A., Azhar E.I. Computational and In Vitro Experimental Investigations Reveal Anti-Viral Activity of Licorice and Glycyrrhizin against Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2021, vol. 14, no. 12, article number: 1216. DOI: 10.3390/ph14121216
36. Teplyakova T.V., Pyankov O.V., Safatov A.S., Ovchinnikova A.S., Kosogova T.A, Skarnovich M.O., Filippova E.I., Poteshkina A.L. Water Extract of the Chaga Medicinal Mushroom, Inonotus obliquus (Agaricomycetes), Inhibits SARS-CoV-2 Replication in Vero E6 and Vero Cell Culture Experiments. *Int J Med Mushrooms*., 2022, vol. 24, no. 2, pp. 23–30. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2021042012
37. Shahzad F., Anderson D., Najafzadeh M. The Antiviral, Anti-Inflammatory Effects of Natural Medicinal Herbs and Mushrooms and SARS-CoV-2 Infection. *Nutrients*. 2020, vol. 12, no. 9, article number: 2573. DOI: 10.3390/nu12092573
38. Vicidomini C., Roviello V., Roviello G. Molecular Basis of the Therapeutical Potential of Clove (*Syzygium aromaticum* L.) and Clues to Its Anti-COVID-19 Utility. *Molecules*, 2021, 26, vol. 26, no. 7, article number: 1880. DOI: 10.3390/molecules26071880
39. Zaykovskaya A.V., Gladysheva A.V., Kartashov M.Yu., Taranov O.S., Ovchinnikova A.S., Shipovalov A.V., P'yankov O.V. *In vitro* Study of Biological Properties of SARS-CoV-2 Coronavirus Strains Related to Various Genetic Variants. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2022, no. 1, pp. 94–100. (In Russian) DOI: 10.21055/0370-1069-2022-1-94-100
40. Liu H., Ye F., Sun Q., Liang H., Li C., Li S., Lu R., Huang B., Tan W., Lai L. *Scutellaria baicalensis* extract and baicalein inhibit replication of SARS-CoV-2 and its 3C-like protease in vitro CoV-2. *J Enzyme Inhib Med Chem*., 2021, vol. 36, no. 1, pp. 497–503. DOI: 10.1080/14756366.2021.1873977
41. Zannella C., Giugliano R., Chianese A., Buonocore C., Vitale G.A., Sanna G., Sarno F., Manzin A., Nebbioso A., Termolino P., Altucci L., Massimiliano G., de Pascale D., Franci G. Antiviral Activity of *Vitis vinifera* Leaf Extract against SARS-CoV-2 and HSV-1. *Viruses*, 2021, vol. 13, no. 7, article number: 1263. DOI: 10.3390/v13071263
42. Mohamed F.F., Anhlan D., Schöfbänker M., Schreiber A., Classen N., Hensel A., Hempel G., Scholz W., Kühn J., Hrincius E.R., Ludwig S. *Hypericum perforatum* and Its Ingredients Hypericin and Pseudohypericin Demonstrate an Antiviral Activity against SARS-CoV-2. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2022, vol. 15, no. 5, article number: 530. DOI: 10.3390/ph15050530
43. Trujillo-Correa A.I., Quintero-Gil D.C., Diaz-Castillo F., Quiñones W., Robledo S.M., Martinez-Gutierrez M. In vitro and in silico anti-dengue activity of compounds obtained from Psidium guajava through bioprospecting. *BMC Complement Altern Med*., 2019, vol. 19, no. 1, article number: 298. DOI: 10.1186/s12906-019-2695-1
44. Mazurkova N.A., Kukushkina T.A., Vysochina G.I., Ibragimova Zh.B., Lobanova I.E., Filippova E.I., Mazurkov O.Yu., Makarevich E.V., Shishkina L.N., Agafonov A.P. Study of antiherpetic activity of lady's Mantle (*Alchemilla vulgaris* L.) extracts. *Drug development & registration*, 2016, no. 1, pp. 118–127. Available at: :https://www.pharmjournal.ru/jour/article/view/230?locale=ru_RU (accessed 1.10.2022) (In Russian)
45. Mazurkov O.Yu. Antiviral activity, harmlessness and bioavailability of the substance of the candidate anti-inflammatory drug NIOCH-14: PhD Thesis. Koltsovo. 2020. Available at: http://www.vector.nsc.ru/userfiles/files/diss/mazurkov/dmazurkov.pdf (accessed 01.10.2022) (In Russian)
46. García-Lledó A., Gómez-Pavón J., Castillo J.G.D., Hernández-Sampelayo T., Martín-Delgado M.C., Sánchez F.J.M., Martínez-Sellés M., García J.M.M., Guillén S.M., Rodríguez-Artalejo F.J., Ruiz-Galiana J., Cantón R., Ramos P.D.L., García-Botella A., Bouza E. Pharmacological treatment of COVID-19: an opinion paper *Rev Esp Quimioter*. 2022, vol. 35, no. 2, pp. 115–130. DOI: 10.37201/req/158.2021
47. da Rocha Matos A., Caetano B.C., de Almeida Filho J.L., de Carvalho Martins J.S.C., de Oliveira M.G.P., das Chagas Sousa T., Horta M.A.P., Siqueira M.M., Fernandez J.H. Identification of Hypericin as a Candidate Repurposed Therapeutic Agent for COVID-19 and Its Potential Anti-SARS-CoV-2 Activity. *Front Microbiol.*, 2022, no. 13, article number: 828984. DOI: 10.3389/fmicb.2022.828984
48. Prateeksha G., Rana T.S., Ashthana A.K., Barik S.K., Singh B.N. Screening of cryptogamic secondary metabolites as putative inhibitors of SARS-CoV-2 main protease and ribosomal binding domain of spike glycoprotein by molecular docking and molecular dynamics approaches. *J Mol Struct*., 2021, no. 1240, article number: 130506. DOI: 10.1016/j.molstruc.2021.130506
49. Peng L., Hu Y., Mankowski M., Ren P., Chen R.E., Wei J., Zhao M., Li T., Tripler T., Ye L., Chow R.D., Fang Z., Wu C., Dong M.B., Cook M., Wang G., Clark P., Nelson B., Klein D., Sutton R., Diamond M.S., Wilen C.B., Xiong Y., Chen S. Monospecific and bispecific monoclonal SARS-CoV-2 neutralizing antibodies that maintain potency against B.1.617. *Nat Commun.*, 2022, vol. 13, no. 1, article number: 1638. DOI: 10.1038/s41467-022-29288-3
50. Logvinenko L.A., Shevchuk O.M., Kravchenko E.N. Introduction study of some species of the Holitone of the collection of aromatic and medicinal plants of the Nikita Botanical Gardens. *Agrarnyi vestnik Urala*. 2019, no. 4(183), pp. 59–63. (In Russian) DOI: 10.32417/article_5cf9f5c5bfb246.48831055

51. Zhao Z., Li Y., Zhou L., Zhou X., Xie B., Zhang W., Sun J.Prevention and treatment of COVID-19 using Traditional Chinese Medicine: A review. *Phytomedicine*, 2021, no. 85, article number: 153308. DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153308

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена И. Казачинская внесла идею исследования, оформила литературный обзор, провела сбор растительного сырья в природе и эксперименты по исследованию ингибирующей активности, а также обработала результаты. Валерия Д. Романова провела сбор растительного сырья в природе и экстракцию, тестирование цитотоксичности растительных препаратов, провела поиск литературы. Алла В. Иванова работала с сухим растительным сырьем по разделению на отдельные части (стебли, соцветия, листья), провела экстракцию. Александр А. Чепурнов наработал SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020. Зумруд А. Муртазалиева участвовала в составлении литературного обзора и редактировании рукописи до подачи в редакцию. Юлия В. Кононова культивировала клетки *Vero* и *VeroE6*, провела титрование вируса и подготовку аликвот с определенным инфекционным титром, провела тестирование цитотоксичности растительных препаратов. Дмитрий Н. Шауло провел определение видов полыни в лаборатории «Гербарий» Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. Владимир В. Романюк руководил экспедицией и провел определение видов полыни в природе в местах произрастания. Александр М. Шестопалов руководил организационной и материальной частью лабораторного исследования. Все вышеуказанные авторы участвовали в обсуждении полученных результатов в формате научной дискуссии. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena I. Kazachinskaia presented the idea of the study, designed a literary review, collected plant raw materials in nature and conducted experiments to study inhibitory activity and also processed the results. Valeriya D. Romanova collected plant raw materials in nature and made extractions, tested the cytotoxicity of herbal preparations and conducted a literature search. Alla V. Ivanova worked with dry plant raw materials by dividing them into separate parts (stems, inflorescences, leaves) and carried out extraction. Alexander A. Chepurnov cultivated SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020. Zumrud A. Murtazalieva participated in the preparation of the literature review and edited the manuscript before submission to the Editor. Yulia V. Kononova cultured *Vero* and *Vero E6* cells, titrated the virus and prepared aliquots with a certain infectious titer and tested the cytotoxicity of herbal preparations. Dmitri N. Shaulo identified the types of wormwood in the «Herbarium» laboratory of the Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch, Russian Academy of Science, Novosibirsk. Vladimir V. Romanyuk led the expedition and identified the types of wormwood in nature in the places where they grew. Alexander M. Shestopalov led the organizational and material aspects of the laboratory research. All authors participated in the discussion of the results obtained in the format of a scientific discussion. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Елена И. Казачинская / Elena I. Kazachinskaia https://orcid.org/0000-0002-1856-6147
Валерия Д. Романова / Valeriya D. Romanova https://orcid.org/000-0002-0485-4818
Алла В. Иванова / Alla V. Ivanova https://orcid.org/0000-0001-9102-6756
Александр А. Чепурнов / Alexander A. Chepurnov https://orcid.org/0000-0002-5966-8633
Зумруд А. Муртазалиева / Zumrud A. Murtazalieva https://orcid.org/0000-0001-9131-677X
Юлия В. Кононова / Yulia V. Kononova https://orcid.org/0000-0002-3677-3668
Дмитрий Н. Шауло / Dmitri N. Shaulo https://orcid.org/0000-0002-1835-8532
Владимир В. Романюк / Vladimir V. Romanyuk https://orcid.org/0000-0002-6860-9168
Александр М. Шестопалов / Alexander M. Shestopalov https://orcid.org/0000-0002-9734-0620

Оригинальная статья / Original article
УДК 911 (252.5)
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-130-139

Современные представления о постцелинном географическом пространстве Евразии и России в свете современных земельных реформ

Сергей В. Левыкин, Александр А. Чибилев, Юрий А. Гулянов, Илья Г. Яковлев, Григорий В. Казачков
Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

Контактное лицо
Сергей В. Левыкин, доктор географических наук, профессор РАН, Институт степи УрО РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +73532776247
Email stepevedy@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-0949-9939

Формат цитирования
Левыкин С.В., Чибилев А.А., Гулянов Ю.А., Яковлев И.Г., Казачков Г.В. Современные представления о постцелинном географическом пространстве Евразии и России в свете современных земельных реформ // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 130-139. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-130-139

Получена 11 ноября 2021 г.
Прошла рецензирование 27 января 2022 г.
Принята 16 июля 2022 г.

Резюме

Цель. Анализ последствий целинного аграрно-социального мегапроекта 1954–1963 гг. и современных земельных реформ. Разработка предложений к стратегии дальнейшего развития постцелинного пространства России.

Материал и методы. Исторические источники, данные полевых географических исследований и опросные сведения. Конвергентный принцип, картографический, сравнительно-исторический и сравнительно-типологический анализ, экспертная оценка и логические обобщения.

Результаты. Развито представление о совокупных последствиях крупнейших аграрно-социальных мегапроектов: целинного 1954–1963 гг., Земельных реформ в России и Казахстане в 1990-е годы. Рассмотрены современные социально-экономические и экологические проблемы постцелинного пространства. Дана дифференцированная оценка потенциала самовосстановления степей. На примере постцелинного пространства Оренбургской области показано системное значение сформировавшихся степных ядер, дан ряд рекомендаций по их рациональному использованию.

Заключение. Постцелинное пространство России характеризуется рядом острых агроэкологических и природоохранных проблем, заключающихся в слабом развитии адаптивного животноводства и кормопроизводства с сохранением приоритета высоко рискованного производства зерновых культур на богарных землях. Экстенсивные подходы в земледелии, основанные на безвозвратной мобилизации природных ресурсов и экспансии на поля почвозатратных коммерческих культур, сопровождаются деградацией почвенного покрова. В сложившихся условиях сохранение и восстановление титульных биологических объектов степей, и более эффективная реализация потенциала развития постцелинного пространства нуждаются в безотлагательных стратегических инициативах правительства РФ.

Ключевые слова
Степная зона, целина, земельная реформа, мегапроекты, адаптация, животноводство, земледелие, степное ядро.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Advanced views regarding the post-virgin land geographical space of Eurasia and Russia in the light of current land reforms

Sergey V. Levykin, Alexander A. Chibilev, Yuriy A. Gulyanov, Ilia G. Yakovlev and Grigoriy V. Kazachkov
Institute of Steppe, Urals Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg Federal Research Center,
Urals Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal contact
Sergey V. Levykin, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Russian Academy of Sciences, Institute of Steppe, Urals Branch, Russian Academy of Sciences, 11 Pionerskaya St, Orenburg, Russia 460000.
Tel. +73532776247
Email stepevedy@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-0949-9939

How to cite this article
Levykin S.V., Chibilev A.A., Gulyanov Yu.A., Yakovlev I.G., Kazachkov G.V. Advanced views regarding the post-virgin land geographical space of Eurasia and Russia in the light of current land reforms. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 130-139. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-130-139

Received 11 November 2021
Revised 27 January 2022
Accepted 16 July 2022

Abstract
Aim. To analyse the consequences of the virgin lands (1954-1963) agrarian-social megaproject, and of current land reforms. To elaborate contributions to the Russian post-virgin land space development strategy.
Material and methods. Historical records and sources, field geographical observations data and survey information have been used. The convergence principle, cartographic, comparative historical and comparative typological analyses, expert assessment and the logical method of generalizations have been applied.
Results. A notion concerning the cumulative consequences of the largest agrarian-social megaprojects, such as the Virgin Land campaign of 1954-1963 and land reforms in Russia and Kazakhstan in the 1990s, has been developed. The actual socio-economical and ecological problems of post-virgin land areas have been examined. A differentiated assessment of the self-reconstruction potential of the steppe is given. The value of a system of formed steppe cores is demonstrated through the example of post-virgin land space in the Orenburgskaya oblast and a series of recommendations on these rational utlisation of these cores is proposed.
Conclusion. The post-virgin land space in Russia is characterised by a series of acute agroecological and conservational problems, such as poor development of adaptive animal husbandry and fodder production and priority accorded high risk dry crop farming. The realisation in practice of agronomy extensive approaches based on irreversible natural resources mobilization and on soil consumptive commercial crops expansion are accompanied by topsoil degradation. Under current conditions, the conservation and restoration of title (key) steppe biological objects and the more effective realisation of post-virgin land space developmental potential both require urgent strategic initiatives by the Russiann Federation Government.

Key Words
Steppe zone, Virgin Land campaign, land reform, megaprojects, adaptation, animal husbandry, crop farming, steppe core.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Экспертная оценка последствий крупнейших российских мегапроектов XX в., среди которых для судеб степей Евразии решающее значение сыграла целинная компания 1954–1963 гг., определившая современное развитие постцелинного пространства России, имеет высокую актуальность.

Наиболее благоприятные для земледелия степные центральные регионы Европейской территории России осваивались постепенно начиная с XVIII в., а более засушливые южные и восточные территории распахивались скачкообразно, в основном в течение XX в. в рамках крупных проектов Российской Империи и СССР. Общеизвестны серия «пшеничных горячек» второй половины XIX века, Столыпинская аграрная реформа (1906–1911), Сальская целина (1930-е гг.) и Целинный мегапроект (1954–1963). Последний проект, как самый масштабный, в наибольшей степени определил специфику пространственного развития обширной территории, включая ареалы каштановых и светло-каштановых почв и способствовал развитию экологического кризиса конца 1980-х гг., казавшегося необратимым. В тот период степь всё чаще упоминалась как уже навсегда утраченный ландшафт, с большим трудом удавалось выявить последние участки степных экосистем в труднодоступных местах, и в последний момент придать им природоохранный статус.

В позднее советское время, несмотря на соответствующие проекты, так и не состоялась агроэкологическая оптимизация целинного пространства. Вместо этого оно трансформировалось в постцелинное на территории двух независимых государств – России и Казахстана, которые одновременно были вынуждены проводить радикальные социально-экономические реформы.

Земельная реформа в России, проведенная в 1990-х гг. и выполнившая роль контрпроекта по отношению к Целине, предоставила возможность наблюдать и изучать крупные массивы вторичных степных экосистем, причём преимущественно в Заволжско-Уральском степном регионе. Пространство, сформированное целинным мегапроектом под влиянием Земельной реформы 1990-х гг., трансформировалось в постцелинное, фактически реализуя эксперимент глобального масштаба по самовосстановлению степей. Этот эксперимент заключался в серии массовой распашки десятков миллионов гектар степей и поддержании их в распаханном состоянии (своего рода «сукцессионной коме») на протяжении 40 лет, а затем, столь же массовом и быстром оставлении в залежь без фитомелиорации. Его можно расценивать как исторический и географический феномен, при любой дальнейшей судьбе степей уже оставивший бесценное научное и природоохранное наследие.

Полученные новые сведения предоставили возможность по-новому сравнить специфику постцелинного пространства с североамериканским аналогом, в т.ч. в контексте развития охраны степей и прерий. Результаты сравнений имеют определённое значение в развитии теории географии и степеведения и актуальны для разработки и реализации новых крупномасштабных аграрных, природоохранных и углеродных проектов, в том числе современных, предусматривающих декарбонизацию природопользования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились по конвергентному принципу на основе степецентрического подхода с использованием исторических источников, с применением методов полевых географических исследований, сравнительно-исторического и сравнительно-типологического анализа, опросных данных, методик экспертных оценок и логических обобщений.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Специфика реализации проектов, направленных на распашку целинных земель, их масштабы и техническое оснащение способствовали тому, что в восточном секторе степей Евразии к середине XX в. ещё сохранялись десятки миллионов гектаров нераспаханных целинных и залежных земель на полнопрофильных почвах; десятки тысяч гектаров целины сохранялось на землях коневодческих хозяйств, сформированных для военных нужд; значительную долю пашни составляли посевы многолетних трав. В начале 1930-х гг. на эти земельные резервы обратила внимание советская аграрная наука в лице ученых Н.И. Вавилова и Н.М. Тулайкова, которые обосновали распашку 11–11,7 млн. га чернозёмных почв на востоке степной зоны. Т.Д. Лысенко оппонировал им, предлагая делать ставку на создание более продуктивных сортов зерновых [1]. В 1941 году идея целины приобрела особую актуальность: в связи с временной утратой житниц страны, руководство поручило Институту географии АН СССР в трёхмесячный срок обосновать новую целину в Северном Казахстане. Экспедиция под руководством директора Института географии А.А. Григорьева уже в августе 1941-го г. приступила к полевым исследованиям, а в октябре того же года, правительству был предоставлен первый отчёт. Работы продолжались до 1943 г. В результате была обоснована возможность распашки 13 млн. га целинных земель с наилучшим биоклиматическим потенциалом, то есть позиции географии оказались близки позициям аграрных наук [2].

Недостаток ресурсов и засуха 1946 г. обусловили государственный приоритет и поддержку развития адаптивного малозатратного степного животноводства, в т.ч. коневодства в послевоенный период. В ответ на засуху 1946 года оперативно вводится в исполнение т.н. «Сталинский план преобразования природы», разработанный ещё в 1938 г. Этот аграрно-социальный мегапроект был ориентирован на лесостепь и степь Европейской территории России, но затронул Предуралье и Зауралье, а также Кулундинскую степь в Алтайском крае. Проект был нацелен не на увеличение посевных площадей под зерновыми, а на смягчение воздействия неблагоприятных погодных условий, повышение культуры земледелия и развитие водных мелиораций. В рамках Сталинского плана была создана непрерывная сеть ветрозащитных лесополос по берегам крупных рек; интенсивно развивались полезащитная лесомелиорация, зарегулирование местного стока; площадь посевов многолетних трав заняла до четверти пашни [3].

Одновременно как на всесоюзном, так и на региональном уровнях предпринимаются усилия по развитию адаптивного степного животноводства, в т.ч. коневодства. В октябре 1949 г. принято Постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) от 15.10.1949 № 4747 «О плане развития коневодства в колхозах, совхозах и конных заводах по областям, краям и республикам в 1950-1951 годах», в Оренбургской области в ноябре того же года принято Постановление Оренбургского облисполкома и бюро обкома ВКП (б) «О развитии коневодства в колхозах, совхозах и конных заводах в 1950–1951 гг.». Ещё во время Великой Отечественной войны ставится задача выведения адаптивных пород способных с минимальными затратами освоить огромные кормовые угодья целинных регионов России и Казахстана. Эта стратегическая задача была решена выведением и апробацией адаптивной породы крупного рогатого скота, известной как казахская белоголовая, которая показывала рентабельные привесы, используя исключительно кормовую базу целинных и залежных земель восточного сектора степей. Важность этой инновации была признана присуждением Сталинской премии 1950 года заместителю директора Чкаловского НИИ молочно-мясного скотоводства К.А. Акопяну и его сотрудникам [4]. В этот период в том же учреждении было разработано и апробировано методическое руководство по рациональному использованию степных пастбищ, предусматривающее пастбищеобороты и различные варианты прикорма. Оно так же было удостоено Сталинской премии в 1951 г. [5].

К началу 1950-х советская аграрная наука разработала и уникальную адаптивную породу крупного рогатого скота, приспособленную эффективно освоить кормовые ресурсы степей, сохраняя их в целинном виде, и адаптивную систему степных пастбищеоборотов, способную долговременно поддерживать рентабельное поголовье. Необходимо подчеркнуть, что в начале 1950-х гг. Сталинские премии присуждались за усилия по поиску возможностей рационального использования целинных степных земель как кормовых. Однако, спустя несколько лет, после смены политического руководства высшие государственные награды и поощрения присуждались уже за прямо противоположные действия – за массовую распашку тех же самых земель.

В целом, идея распашки целины хотя и не принадлежала Н.С. Хрущёву, с которым прочно ассоциируется, но именно его волевым решением обоснованные наукой планы были перевыполнены более чем три раза. Поэтому важным предметом исследований является уточнение причин и мотиваций многократного превышения не только научно обоснованных, но и установленных показателей распашки. По мере изучения исторических вопросов этого проекта, мы пришли к выводу, что он оказался не столько волюнтаристским, сколько стратегическим, решавшим целый комплекс проблем и вызовов за сельскохозяйственными рамками, которые решались масштабной (мегапроектной) переброской техники, ресурсов и людей в восточный сектор степной зоны СССР [6].

Целинный мегапроект (1954–1963) свершился как наиболее масштабный и относительно объёма распашки (в целом в СССР было распахано свыше 41 млн. га, из них 16 млн. га в РСФСР, 25 млн. га в КазССР), и по срокам реализации (основные земли, свыше 36 млн. га, были распаханы всего за три года, что намного превысило первоначальные планы) [7; 8]. В РСФСР больше всего целинных земель было распахано в Алтайском крае (2,9 млн. га) и Оренбургской области (1,8 млн. га) [9]. Такие масштабы новой распашки обуславливались, с одной стороны, стратегической необходимостью, с другой – принципиальным неприятием новым руководством страны травопольной системы земледелия, представлявшейся нерациональным использованием пространства.

С позиций степеведения целинный мегапроект можно рассматривать как *государственную инициативу по тотальной трансформации естественных степных фитоценозов с целью развития богарного зернового хозяйства.* Ликвидация степных фитоценозов носила системный характер: распашка последних степных участков, в основном на склонах, в староосвоенных степных регионах, в т.ч. в Украине; распашка степных заповедников и научных стационаров, в т.ч.

- сокращение охраняемых степных угодий в заповеднике Аскания-Нова;
- распашка многолетних трав (ликвидация травопольной системы земледелия);
- распашка земель военных конных заводов (практически полностью распахана территория более ста конезаводов);
- распашка сенокосов и пастбищных угодий в существовавших хозяйствах;
- распашка целинных земель с созданием новых хозяйств.

В свойственном тому времени гигантизме адаптивное животноводство и коневодство на естественных пастбищах представлялось архаичным, отсталым, не соответствующим эпохе. Это идеологическое наследие целины, особенно гипертрофированный в то время приоритет пашни в землеустройстве, её «неприкасаемость» для перевода в непахотные категории земель, прочно закрепилось в сознании как «целинный синдром», сохраняющийся и в наше время.

Согласно масштабам и реальным целям, Целина была комплексным стратегическим мегапроектом, по декларируемым целям – аграрно-социальным, согласно управлению – государственно-административным, относительно кадрового состава исполнителей – преимущественно молодёжным.

Как и все мегапроекты, Целинный, мобилизуя учёных, тоже способствовал развитию фундаментальных географических исследований в степной зоне. Проблема заключалась в том, что о количестве пахотопригодных земель имелись, главным образом, общие сведения. Специфика восточного сектора степной зоны Евразии в том, что массивы полнопрофильных суглинистых почв чередуются с их солонцовыми и каменистыми вариантами. Необходимо было в кратчайшие сроки не только найти наиболее подходящие участки, но и выделить их в натуре. Так как степная растительность является наилучшим индикатором почвенного покрова, целинная эпопея позволила хот бы отрывочно изучить растительный покров степей в районах нового земледельческого освоения. В сжатые сроки удалось выборочно обследовать некоторые массивы пахотопригодных

земель и, самое главное – оставить для потомков описание утраченных степных угодий [10].

Негативные последствия целинного мегапроекта проявились фактически сразу по его завершению и были признаны даже инициаторами. В интервью газете «Нью Йорк Таймс» от 23.02.1964 г. Н.С. Хрущёв признал, что часть бывших целинных земель пострадавших от эрозии будет переведена в пастбища, а государственные усилия будут перенаправлены в более благоприятные для земледелия регионы [11]. Возможно, это было намерением завершить прерванный «Сталинский план» и могло бы стать таковым, однако, именно в этот момент в стране снова произошла смена руководства. В результате вместо принципиальной оценки последствий целинного мегапроекта наступил период его инерционного развития. К середине 1970-х гг. было распахано ещё более 5 млн. га каштановых почв с одновременной реализацией части «Сталинского плана» без принципиального для степей приоритета травосеяния и консервации малопродуктивной пашни.

Территория, охваченная советским мегапроектом по распашке степей – это *целинное пространство,* которое существовало от начала кампании (1954) до распада СССР (1991). На протяжении всего этого периода, на этом пространстве искусственно поддерживалось землеустройство и землепользование, сформированное по административной государственной инициативе.

Фундаментальным свойством целинного пространства, с точки зрения географической теории [12–14], было несоответствие требований и планов природному потенциалу угодий, возникшему в результате распашки 25 млн. га потенциально малопродуктивных земель на различных подтипах каштановых почв. Превышение научно обоснованных пределов осуществлялось не только по требованиям руководства, но и по личной инициативе рядовых целинников и руководителей на местах. Несоответствие технологической оснащённости и людских ресурсов биоклиматическому потенциалу так и не было ликвидировано до самого конца существования целинного пространства. Фактическая урожайность практически нигде не приблизилась к биопотенциальной (тоже относительно низкой), в позднее советское время дано эколого-экономическое обоснование сокращения пашни в два раза на целинном пространстве Северного Казахстана [15].

С социально-экономических позиций проблемными свойствами целинного пространства были *предельно устойчивые и стабильные объёмы пахотных земель с тенденцией медленного роста при неустойчивости и широкой амплитуде колебаний (в разы) урожайности и валовых сборов в зависимости от благоприятности погодных условий года.* При засухах хозяйства несли огромные убытки вплоть до полного списания посевов, а в особо урожайные годы происходили большие потери зерна из-за нехватки ресурсов для уборки и надёжного хранения. Поэтому высокие урожаи, как ни парадоксально, являлись почти столь же тяжёлым вызовом как неурожай.

Целинное пространство характеризовалось высокой агроэкологической и социально-экономической напряжённостью, приводившей к большим потерям и недобору урожая, а также глубокому ландшафтно-экологическому кризису степей [16]. Сокращение этой напряжённости было необходимо ещё в позднесоветское время, но не было проведено. Необходимы было привести в соответствие:

- структуру агроландшафтов и распределение посевных площадей биоклиматическому потенциалу и тенденциям его изменения;
- агроэкологическую и природоохранную политику уровню развития и экологической культуры передовых стран мира;
- объёмы пашни демографической ситуации, финансовым возможностям и технической оснащённости сельского хозяйства;
- уровень внедряемых агротехнологий биоклиматическому потенциалу и тенденциям его изменения;
- зернового хозяйства нулевому или положительному балансу почвенного гумуса, в т.ч. путём отказа от чёрного пара в сухом земледелии.

В конце 1980-х гг. руководством СССР обсуждалась проблема масштабной консервации малопродуктивных земель на целинном пространстве. В степных регионах были проведены работы по инвентаризации пашни с выделением малопродуктивных участков для консервации. В Оренбургской области было выявлено 283 тыс. га таких земель. Основываясь на итогах этой работы, местные органы власти обратились в Совет Министров СССР с просьбой о разрешении на консервацию, но неизвестно ни одного степного региона, где такая консервация земель была бы официально проведена.

К концу 1980-х в СССР сформировался социальный заказ на рыночный оборот земель, с реализацией которого сельские жители надеялись на повышение эффективности земледелия. Также появилась необходимость охраны природы, с которым наука связывала надежды на сохранение и восстановление почв и наиболее пострадавших степных экосистем. В этот период происходит активизация развития Оренбургской школы степеведения и реализуется идея учреждения Института Степи.

Приватизация сельхозугодий, начавшаяся в 1992 г., как это ни парадоксально, носила не столько рыночный или тем более агроэкологический приоритет, сколько приоритет справедливости в распределении земель, в качестве каковой признавалось равномерное распределение между всеми сельскими жителями. При таком приоритете не могло быть и речи о каком-либо сокращении официальной пашни. Следствием распределения по такой системе стала специфическая российская разновидность земельной собственности – земельный пай, представлявший собой право на дальнейшее оформление в частную собственность доли земли советского сельхозпредприятия. Сложный путь от права до реального владения был по ходу реформы осложнён и, таким образом, пай сделался скорее виртуальным. Для многих сельских жителей это стало скорее обременением, чем благим приобретением, а в институциональном отношении земельный пай законсервировал позднесоветскую структуру сельхозугодий, т.к. смена пропорций угодий разного вида неизбежно ущемляла права обладателей паёв. При таком подходе возникли новые проблемы перевода пашни в другой вид сельскохозяйственных угодий, среди которых:

- крайне затруднительное изменение вида использования;

- осложнение рыночного оборота земель;
- невостребованность: заброс пашни без предварительной фитомелиорации;
- стихийная самоконсервация пашни с самовосстановлением степей.

Попытка справедливой приватизации сельхозугодий (насколько приватизация сельскохозяйственных земель возможна в России в принципе) вылилась в приватизацию позднесоветской структуры сельхозугодий. Такой подход мало соответствовал надеждам на оптимизацию хозяйства в рыночных условиях, т.к. позднесоветская структура не отвечала ни биоклиматическим, ни агроэкологическим параметрам, а тем более не была сбалансирована с точки зрения размещения населения и технологических возможностей. На территориях с наименьшим агроклиматическим потенциалом, особым риском богарного земледелия и меняющимся климатом, сам земельный пай и вся эта структура оказались обузой для владельцев, затруднением для построения земельного рынка и официальным тормозом для оптимизации степного землепользования. Такая ситуация в степном землепользовании способствовала процессам самовосстановления степных экосистем.

Существовавшая структура сельхозугодий вступила в противоречие с экономическими обстоятельствами и поэтому, сохранившись официально, на практике оказалась нарушенной. Резкое сокращение посевных площадей произошло не сразу с введением паевой системы, а после засух 1996 и 1998 годов, когда остались без семян и других ресурсов большое количество хозяйств степной зоны. Массовое сокращение пашни в России пришлось на рубеж тысячелетий и по нашим оценкам охватило не менее 35–40 млн. га. В Казахстане в тот же период посевные площади сократились почти в три раза. Вместе, это сопоставимо и даже больше площади всей поднятой в 1950-е гг. целины. Например, в Оренбуржье в 1999 г. отмечалось почти двукратное сокращение посевных площадей, т.е. с 6 до 3 млн. га.

В начале XXI века в результате реализации ряда национальных аграрных проектов возникла сохраняющаяся до сих пор устойчивая тенденция к повторной распашке залежей. Тем не менее, по разным оценкам только в России залежные земли ещё занимают от 16 до 35 млн. га, преимущественно в Нечерноземье. Из степных регионов, в Оренбургской области около 0,7 млн. га.

В настоящее время Правительства России и Казахстана прилагают усилия для возвращения заброшенной пашни в оборот. Наблюдается тенденция доминирования крупных сельскохозяйственных вертикально интегрированных компаний, в связи, с чем возникла проблема адаптации миллионов владельцев паёв к новым условиям сельскохозяйственного производства.

Таким образом, ландшафтные последствия целинного мегапроекта оказались обратимыми только при реализации сопоставимого по масштабам контрпроекта на тех же территориях, каковым стала приватизация советских сельхозугодий – земельная реформа 1990-х гг. При массовом и единовременном забросе пашни без фитомелиорации при небольшой вероятности стечения необходимых условий возникает ряд очагов для раскрытия потенциала самовосстановления степей. Уникальность последовательности Целинного проекта и Земельной реформы состоит в беспрецедентной масштабности, скорости реализации и пространственном совпадении обоих проектов. Оценка последствий этих мегапроектов позволяет на практике установить потенциал самовосстановления степей.

Фактически мы наблюдаем сценарий развития событий «Назад к природе», но в силу закона исторической необратимости это неосуществимо. Трактовать наблюдаемое как «Вперёд к природе» тоже невозможно, так как отсутствует осознанное движение в данном направлении [17]. Деградация сельского хозяйства как условие «Назад к природе» имела место, только в данном случае в результате деградации одной природно-антропогенной системы быстро саморазвивается другая природно-антропогенная, но принципиально более близкая к степи система. Переход этого сценария во «Вместе с природой» с адаптивностью хозяйства и содействию природным самовосстановительным процессам, с нашей точки зрения, является условием устойчивого развития бывшего целинного пространства [18].

Невостребованность пахотных угодий неизбежно распространилась и на полезащитные лесополосы, что не могло не сказаться на их состоянии. Массовый распад лесополос можно рассматривать в качестве агроэкологического вызова. В тоже время, нельзя не отметить, что в ряде случаев на месте распавшихся лесополос быстро восстанавливается степная растительность, в т.ч. краснокнижные виды. Это тоже своеобразный агроэкологический, юридический и нравственный вызов, т.к. в этих случаях восстановление лесополос будет сопряжено с уничтожением мест обитания краснокнижных видов степей. Кроме того, последствия невостребованности сказались и на искусственных водоёмах, большинство мелких прудов было спущено, их днища зарастают древесно-кустарниковой и полукустарниковой растительностью.

Распад единого нетронутого степного пространства на российское и казахстанское, тридцать лет развития России и Казахстана как независимых государств проводивших земельные реформы, позволяют констатировать переход советского целинного пространства после 1991 г. в новое образование, которое стало одним из объектов мировой науки [19–24]. Наши исследования этого нового пространства дают основания трактовать его с позиций степеведения как постцелинное с сохранением приоритета богарного земледелия на лучших землях, с шансом степей на самовосстановление на малопродуктивной и невостребованной пашне. Установка «хлеб любой ценой» постепенно трансформируется в «вырастить хлеб рентабельно», что снижает напряжённость этого пространства. В аграрном и социальном отношении это пространство более стабильно, т.к. валовые сборы становятся более устойчивы и предсказуемы, но остаются нестабильными посевные площади. Активно внедряются новые технологии, происходит техническое переоснащение земледелия. Происходит постепенный отказ от «чёрного пара», внедряются технологии no-till. При этом ещё сохраняется реальный шанс на самовосстановление степных экосистем и реализацию их потенциала самореабилитации.

Несмотря на активное содействие России и Казахстана распашке залежных земель, залежи

(вторичные степи) всё ещё сохраняются, прежде всего, на постцелинном пространстве Южного Урала, Зауралья и Тургая. Наметилась тенденция к сокращению амплитуды колебаний урожайности и валовых сборов. В тоже время, дополнительную напряжённость для землепользователей создаёт учащение числа засух на Южном Урале и в Зауралье. Например, очередная засуха в вегетационный период 2021 г. в Оренбуржье привела к недобору минимум 2–2,5 млн. т. зерна (50–60% плана), а ущерб оценивается примерно в 3 млрд. руб. В Казахстане недобор вследствие засухи 2021 г. оценивается в 5-6 млн. т. зерна (20–25% плана). В целом, эффективность и темпы адаптации степного землепользования на постцелинном пространстве отстают от тенденций климатических изменений.

По итогам проведённых исследований считаем, что выраженность этого потенциала определяется системой специфических агроструктурных и ландшафтных факторов, тенденциями изменения климата и землепользования. Этот потенциал возникает при совпадении во времени и пространстве следующих условий:

- наличие степных генетических рефугиумов, прежде всего в виде холмов и увалов, овражно-балочной сети;
- преобладание почв тяжёлого механического состава;
- наличие территориального резерва экспансии степей;
- пахотная передышка от пяти лет и более;
- минимум преград переносу семян ветром в виде природных и антропогенных лесных элементов;
- благоприятное для ветрового переноса семян взаимное расположение степного генетического рефугиума и территориального резерва экспансии степей.

Снижению потенциала самовосстановления степей способствуют спокойный выровненный рельеф, однородный плоский ландшафт, отсутствие степных генетических рефугиумов, относительно гумидная фаза климатического цикла (в лесостепи и на лёгких почвах в степи провоцирует самооблесение), преобладание почв лёгкого механического состава, обилие преград для распространения семян ветром в виде лесных каркасов и системы озёр, стремление землепользователей распахать залежи, жёсткие требования к целевому использованию пахотных земель.

По нашим оценкам, наивысший потенциал самовосстановления характерен для степей центральной части Евразии, прежде всего на постцелинном пространстве Южного Урала, Предуралья и Зауралья. Полевые исследования 2021 г. в Оренбургском Зауралье на примере Светлинского степного ядра показали, что на фоне аномальной засухи именно там совпали наиболее полная реализация потенциала самовосстановления степей. Это ядро занимает не менее 350 тыс. га, из которых 250 тыс. га – непахотопригодные земли на корах выветривания, солонцах и солонцово-степных комплексах, а так же порядка 100 тыс. га самовосстановившихся вторичных степных экосистем. По нашим оценкам, в этом ядре концентрируются крупнейшие в регионе ресурсы сурка-байбака, свыше 100 тыс. особей. Популяция стрепета имеет устойчивую тенденцию к росту. Спецификой землепользования, наряду с земледелием, является развитие степного охотничьего хозяйства, территория которого охватывает свыше 80% района. В целом это позитивно сказывается на воспроизводстве степных биологических ресурсов, прежде всего охотничьих. На миграционных путях промысловых (охотничьих) видов авифауны поддерживаются посевы зерновых в т.ч. в биотехнических целях. Охотхозяйственная деятельность способствует процветанию популяции сурка-байбака и сибирской косули, которые активно расселяются за пределами ядра.

В целом, наивысший расцвет степных ядер на постцелинном пространстве в пределах Оренбургской области пришёлся на 2015–2020 гг. Начиная с 2020 г. активизировалась распашка залежных земель, прежде всего в Предуралье. По нашим наблюдениям, распаханы крупные массивы вторичных степных экосистем в Первомайском, Илекском, Беляевском, Соль-Илецком и Акбулакском районах. За 2019 и 2020 годы фрагментировалось Предуральское степное ядро, бывшее одним из крупнейших и рекомендовавшееся ранее в качестве приоритетного объекта для агроэкологического каркаса.

Меньшая возможность реализации потенциала самовосстановления сохраняется в Южной части Общего Сырта, в основном в Озинковском районе Саратовской области и Первомайском районе Оренбургской области, где выявлены крупные ядра самовосстановившихся вторичных степей. На постцелинном пространстве Западной Сибири, в т.ч. в Кулундинской степи Алтайского края, самовосстановительный потенциал наиболее низок вследствие выровненности рельефа, однородности ландшафта с преобладанием плакоров, максимальной доли пашни, наличия естественных и искусственных лесных каркасов, многочисленности бессточных озёр и озёрных западин. Этот потенциал несколько выше на Приобском плато и в предгорьях Алтая, где отмечены очаги самовосстановления тырсовых степей.

На всём постцелинном пространстве лесостепь Западной Сибири обладает наивысшим земледельческим потенциалом, что способствует развитию культуры земледелия. При этом залежные земли нельзя трактовать как вторичные степи, а скорее, как наиболее продуктивные. Без сенокошения луговые залежи обладают высоким потенциалом самооблесения, которое наблюдается на неиспользуемых участках. При повторном вовлечении залежей в пахотное использование проводятся активные мелиоративные работы по раскорчёвке древесно-кустарниковой растительности.

Комплексное изучение степных ядер на постцелинном пространстве убеждает, что они наряду с системой ООПТ в наибольшей степени способствуют сохранению и воспроизводству титульных степных видов растений и животных, прежде всего краснокнижных. По комбинациям титульных видов можно выделить: красноковыльно-сурковые, ковылково-сурковые, ковылково-стрепетовые, ковылково-стрепето-сурковые, ковыльно-сурково-косулиные, и т.п. ядра.

Степные ядра, помимо их природоохранного и охотхозяйственного значения потенциально обладают высокой ценностью как кормовые угодья адаптивного животноводства, в т.ч. коневодства. В этой связи можно актуализировать идею развития системы конно-сурковых степных хозяйств, ранее существовавших на землях коневодческих хозяйств [25]. На постцелинном

пространстве имеется определённый потенциал для диверсификации животноводства и развития таких новых для России направлений как бизоноводство, в т.ч. с использованием прибрежной тростниковой растительности степных озёр в качестве дополнительной кормовой базы. Более того, актуальность таких земель будет возрастать по мере разработки и реализации проектов депонирования углерода, потенциал которого у степей достаточно высоко оценен специалистами, но пока не востребован практиками [26]. Все эти возможности могут быть реализованы в формате новационных аграрно-социальных и аграрно-природоохранных проектов развития неономадизма – адаптивного животноводства на новом технологическом витке [27].

На основе изучения североамериканского опыта по сохранению и реставрации прерий считаем, что проблемы охраны степей Евразии на постцелинном пространстве могут эффективно решаться путём развития государственно-частного партнёрства в формате региональных и федеральных программ и национальных проектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целинный мегапроект, его последствия и следствия радикальных экономических реформ оказывали и продолжают оказывать определяющее влияние на пространственное развитие восточного сектора степей Евразии. Степные ландшафты Евразии в результате аграрно-социальных мегапроектов окончательно превратились в агроландшафты.

Развитие научных взглядов, прежде всего с позиций степеведения, позволяет рассматривать целинный проект как средство решения целого ряда стратегических государственных задач. В то же время, его последствия для степей оказались катастрофическими, т.к. это была не только распашка бескрайних мало используемых кормовых угодий Западной Сибири и Казахстана, но и практически всех технологически пахотопригодных степных участков и посевов многолетних трав, включая заповедники, научные стационары, коневодческие хозяйства, и т.д.

Тотальность распашки и последующие 40 лет поддержки сложившегося зернового хозяйства в России и Казахстане сформировали на территории реализации целинного мегапроекта специфическое географическое пространство. Оно характеризовалось противоречиями хозяйства и природных возможностей, что приводило к социально-экономической и экологической напряжённости, не оставлявшей шансов на восстановление степных экосистем. Под влиянием радикальных экономических реформ, особенно земельных, это пространство трансформировалось в *постцелинное*, которое является актуальным объектом исследования для мировой науки и специализированного Института степи в системе РАН [28]. Оно характеризуется рядом острых агроэкологических и природоохранных проблем, заключающихся в слабом развитии адаптивного животноводства и кормопроизводства с сохранением приоритета высоко рискованного производства зерновых культур на богарных землях. Экстенсивные подходы в земледелии, основанные на безвозвратной мобилизации природных ресурсов и экспансии на поля почвозатратных коммерческих культур, сопровождаются деградацией почвенного покрова.

Земельная реформа 1990-х гг. способствовала стихийному самовосстановлению степной растительности на залежах и деградирующих элементах лесомелиоративного каркаса. Активизация динамики степных ландшафтов и раскрытие их самовосстановительного потенциала можно рассматривать как уникальный природно-антропогенный эксперимент. Итоги Целины и Земельной реформы остаются предметом дискуссии и высоко политизированы, но их вклад в развитие фундаментальных наук, прежде всего географии, огромен и недооценен. Между тем, такие мегапроекты являются единственной реальной наблюдательной базой, позволяющей предвидеть последствия будущих проектов и должны изучаться в динамике [29]. Аналогичные явления характерны для постиндустриальных стран, где их изучение весьма актуально.

Наши исследования по выделению степных ядер на постцелинном пространстве показали их высокое природоохранное и хозяйственное значение. Следовательно, пока сохраняются такие ядра, возникшие во многом стихийно, они являются огромным вкладом России и Казахстана в восстановление ресурсов титульных степных видов [30] и депонирование углерода. Это поистине глобальный природно-заповедный фонд, который можно рассматривать и в качестве углеродных полигонов.

При сложившихся обстоятельствах сохранение и восстановление титульных биологических объектов степей и реализация потенциала развития постцелинного пространства были бы наиболее эффективны в рамках реализации новых стратегических инициатив Правительства РФ.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-17-00069).

ACKNOWLEDGMENT

This research is funded by a grant of the Russian Science Foundation (project N 20-17-00069).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Рычков А.В. Освоение целины и поиск новых внедренческих форм // Омский научный вестник. 2013. N 5(122). С. 26–29.

2 Забелин И.М. Путешествие вглубь науки. Москва: Мысль, 1976. 78 с.

3 Левыкин С.В., Казачков Г.В., Яковлев И.Г., Грудинин Д.А., Норейка С.Ю. В.В. Докучаев и план преобразования природы степей: идейное и практическое наследие, перспективы развития // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. N 4(72). С. 8–11.

4 Гончаров Н.И. Исследователи. Как создавалась казахская белоголовая порода скота. Оренбург: ИПК «Газпромпечать» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2006. 182 с.

5 Евсеев В.И. Пастбища юго-востока. Чкалов: Книжное издательство, 1954. 340 с.

6 Левыкин С.В., Казачков Г.В., Чибилёва В.П. Современная парадигма целины: распашка новых степей или агровозрождение Нечерноземья? Оценка с позиций конструктивной модели степи // Проблемы региональной экологии. 2015. N 2. С. 170–177.

7 Развитие сельского хозяйства в основных районах освоения целинных и залежных земель. Москва: Республиканский информационно-издательский центр, 1994. 32 с.
8 Республика Казахстан: 50-лет начала освоения целинных и залежных земель. Под ред. Б. Тортаева. Алматы: Агентство Республики Казахстан по статистике, 2003. 127 с.
9 40 лет освоению целинных и залежных земель Оренбургской области (1954–1993). Оренбург: Оренбургское областное управление статистики, 1994. 78 с.
10 Растительность степей Северного Казахстана // Труды ботанического института. Геоботаника. Выпуск 13. Москва, Ленинград: Издательство Академии Наук СССР, 1961. 526 с.
11 Einaudi G. Khrushchev reported planning to give up Virgin-Land Farms. New York Times, p. 2. February 23 1964.
12 Родоман Б.Б. География, районирование, картоиды: Сборник трудов. Смоленск: Ойкумена, 2007. 368 с.
13 Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера: Сборник статей. Смоленск: Ойкумена, 2002. 336 с.
14 Семёнов-Тян-Шанский В.П. Район и страна. Москва: Пеликан, 2017. 314 с.
15 Аханов Ж.У., Соколенко Э.А. Агроэкологический потенциал северного Казахстана // Вестник Академии Наук Казахской ССР. 1990. N 4. С. 48–58.
16 Чибилёв А.А., Левыкин С.В., Казачков Г.В. Степное землепользование и перспективы его модернизации в современных условиях // Вызовы XXI века: природа, общество, пространство. Ответ географов стран СНГ. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012. С. 156–182.
17 Розенберг А.Г., Рянский Ф.Н., Розенберг Г.С. Охрана окружающей среды и устойчивое развитие // Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета. 2009. N1. С.68–86.
18 Чибилёв А.А. Заповедная Россия: истоки, современность, будущее. Москва, Екатеринбург, Оренбург: Институт степи ОФИЦ УрО РАН, Русское географическое общество: Постоянная Природоохранительная комиссия, 2020. 40 с.
19 Brinkert A., Hölzel N., Sidoriva 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. DOI: 10.1007/s10531-015-1020-7
20 Kamp J., Koshkin M.A., Bragina T.M., Katzner T.E., Milner-Gulland E.J., Schreiber D., Sheldon R., Shmalenko A., Smelansky 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. DOI: 10.1007/s10531-016-1083-0
21 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. V. 10. Article number: 054012. DOI: 10.1088/1748-9326/10/5/054012
22 Pazur R., Prishchepov 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. 30(2). P. 407–425. *DOI: 10.1007/s10980-020-01174-7*
23 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. DOI: 10.1016/j.worlddev.2012.09.015
24 Prishchepov A.V., Myachina K.V., Kamp J., Smelansky I., Dubrovskaya S., Ryakhov R., Grudinin D., Yakovlev I., Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes // Land Degradation & Development. 2021. V. 32. Iss. 1. P. 1–16. DOI: 10.1002/ldr.3976
25 Губарь В.В., Дукельская Н.М., Корзинкина Е.М., Теплов В.П. Экология сурка и сурочий промысел. Москва, Ленинград: Внешторгиздат, 1935. 97 с.
26 Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Жиенгалиев А.Т., Кудеяров В.Н. Углеродный бюджет степных экосистем России // Доклады Академии Наук. 2019. Т. 485. N 6. С. 732–735. DOI: 10.31857/S0869-56524856732-735
27 Акыш М., Туякбаев М. Новые номады и Великая степь. Как восстановить мобильное пастбищное животноводство Казахстана и сделать его эффективным и прибыльным. Екатеринбург: Издательские решения, 2019. 128 с.
28 Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Екатеринбург: Наука, 1992. 172 с.
29 Зворыкин К.В. Новые подходы к изучению земной природы // Географические исследования в Московском Государственном Университете. Традиции – перспективы. Москва: Издательство Московского Государственного Университета, 1976. С. 35–41.
30 Чибилёв А.А. Степная Евразия: региональный обзор природного разнообразия. Москва, Оренбург: печатный дом «ДИМУР», 2016. 323 с.

REFERENCES

1. Rychkov A.V. Virgin Lands Pioneering and New Implementation Forms Searching. Omskii nauchnyi vestnik [Omsk Scientific Herald]. 2013, no. 5(122), pp. 26–29. (In Russian)
2. Zabelin I.M. Puteshestvie v glub' nauki [Travel Deep into the Science]. Moscow, Mysl' Publ., 1976, 78 p. (In Russian)
3. Levykin S.V., Kazachkov G.V., Yakovlev I.G., Grudinin D.A., Noreika S.Yu. V.V. Dokuchaev and the Steppe Nature Transformation Plan: Ideological and Practical Heritage, Development Prospects. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Izvestia Orenburg State Agrarian University]. 2018, no. 4(72), pp. 8–11. (In Russian)
4. Goncharov N.I. *Issledovateli. Kak sozdavalas' kazakhskaya belogolovaya poroda skota* [Researchers. How the Kazakhskaya belogolovaya cattle breed was bred]. Orenburg, Gazprompechat' of Orenburggazpromservis Publ., 2006, 182 p. (In Russian)
5. Evseev V.I. *Pastbishcha yugo-vostoka* [Pastures of the South-East]. Chkalov, 1954, 340 p. (In Russian)
6. Levykin S.V., Kazachkov G.V., Chibilyova V.P. The New Paradigm of the Tselina: Ploughing New Steppes or Agrarian Reconstruction of the Non-Blach Earth Region. Assessment from the Standpoint of the Constructive Steppe Model. Problemy regional'noi ekologii [Regional Environmental Issues]. 2015, no. 2, pp. 170–177. (In Russian)
7. *Razvitie sel'skogo khozyaistva v osnovnykh raionakh osvoeniya tselinnykh i zalezhnykh zemel'* [The Rural Economy Development in Main Districts of Virgin Lands Pioneering]. Moscow, Republican informational and publishing center, 1994, 32 p. (In Russian)
8. Tortayev B., ed. *Respublika Kazakhstan: 50-let nachala osvoeniya tselinnykh i zalezhnykh zemel'* [The Republic of Kazakhstan: 50 Years from the Start of Virgin and Fallow Lands Pioneering]. Almaty, Republic of Kazakhstan statistic agency Publ., 2003, 127 p. (In Russian)
9. *40 let osvoeniyu tselinnykh i zalezhnykh zemel' Orenburgskoi oblasti (1954–1993)* [40 Years from Orenburgskaya Oblast Virgin and Fallow Lands Pioneering] Orenburg, 1994, 78 p. (In Russian)
10. The Northern Kazakhstan Steppes Vegetation. In: *Trudy botanicheskogo instituta. Geobotanika* [Works by the Botany Institute. Geobotany]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1961, iss. 13, 526 p. (In Russian)

11. Einaudi G. Khrushchev reported planning to give up Virgin-Land Farms. *New York Times*, p. 2. February 23, 1964.
12. Rodoman B.B. *Geografiya, raionirovanie, kartoidy: Sbornik trudov* [Geography, Regionalization, Cartoids: Collected works]. Smolensk, Oikumena Publ., 2007, 368 p. (In Russian)
13. Rodoman B.B. *Polyarizovannaya biosfera: Sbornik statei* [The Polarized Biosphere: Collected articles]. Smolensk, Oikumena Publ., 2002, 336 p. (In Russian)
14. Semenov-Tyan-Shanskii V.P. *Raion i strana* [District and Country]. Moscow, Pelikan Publ., 2017, 314 p. (In Russian)
15. Akhanov Zh.U., Sokolenko E.A. Agroecological Potential of the Northern Kazakhstan. Vestnik Akademii Nauk Kazakhskoi SSR [Kazakhskaya SSR Academy of Sciences Herald]. 1990, no. 4, pp. 48–58. (In Russian)
16. Chibilev A.A., Levykin S.V., Kazachkov G.V. Steppe Land Use and Prospects of Its Modernization under Modern Conditions. In: *Vyzovy XXI veka: priroda, obshchestvo, prostranstvo. Otvet geografov stran SNG* [Challenges of the XXI Century: Nature, Society and Space. Respond of Geographers of CIS]. Moscow, KMK Publ., 2012, pp. 156–182. (In Russian)
17. Rozenberg A.G., Ryanskii F.N., Rozenberg G.S. Environment Conservation and Sustainable Development. Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta [Bulletin of Nizhnevartovsk State Humanities University]. 2009, no. 1, pp. 68–86. (In Russian)
18. Chibilev A.A. *Zapovednaya Rossiya: istoki, sovremennost', budushchee* [Protected Russia: origins, present, future]. Moscow, Ekaterinburg, Orenburg, 2020, 40 p. (In Russian)
19. Brinkert A., Hölzel N., Sidoriva 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. DOI: 10.1007/s10531-015-1020-7
20. Kamp J., Koshkin M.A., Bragina T.M., Katzner T.E., Milner-Gulland E.J., Schreiber D., Sheldon R., Shmalenko A., Smelansky 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. DOI: 10.1007/s10531-016-1083-0
21. 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, vol. 10, article number: 054012 DOI: 10.1088/1748-9326/10/5/054012
22. Pazur R., Prishchepov 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. 30(2), pp. 407–425. *DOI: 10.1007/s10980-020-01174-7*
23. 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. DOI: 10.1016/j.worlddev.2012.09.015
24. Prishchepov A.V., Myachina K.V., Kamp J., Smelansky I., Dubrovskaya S., Ryakhov R., Grudinin D., Yakovlev I., Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes. *Land Degradation & Development*, 2021, vol. 32, iss. 1, pp. 1–16. DOI: 10.1002/ldr.3976
25. Gubar V.V., Dukelskaya N.M., Korzinkina Ye.M., Teplov V.P. *Ekologiya surka i surochii promysel* [Marmot Ecology and Hunting]. Moscow, Leningrad, Vneshtorgizdat Publ., 1935, 97 p. (In Russian)
26. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Zhiengaliyev A.T., Kudeyarov V.N. Carbon Budgets in the Steppe Ecosystems of Russia. *Doklady Akademii Nauk*, 2019, vol. 485, no. 6, pp. 732–735. (In Russian) DOI: 10.31857/S0869-56524856732-735
27. Akysh M., Tuyakbayev M. *Novye nomady i Velikaya step'. Kak vosstanovit' mobil'noe pastbishchnoe zhivotnovodstvo Kazakhstana i sdelat' ego effektivnym i pribyl'nym* [New Nomads and the Great Steppe. How to Reconstruct the Mobile Ranching in Kazakhstan and to Make It Effective and Profitable]. Ekaterinburg, Izdatel'skie resheniya Publ., 2019, 128 p. (In Russian)
28. Chibilev A.A. *Ekologicheskaya optimizatsiya stepnykh landshaftov* [Steppe Landscapes Ecological Optimization]. Ekaterinburg, Nauka Publ., 1992, 172 p. (In Russian)
29. Zvorykin K.V. New Approaches to Study the Nature on the Earth. *Geograficheskie issledovaniya v Moskovskom Gosudarstvennom Universitete. Traditsii – perspektivy* [Geographical Researches in Moscow State Universiry. Traditions – Prospects]. Moscow, MSU Publ., 1976, pp. 35–41. (In Russian)
30. Chibilev A.A. *Stepnaya Evraziya: regional'nyi obzor prirodnogo raznoobraziya* [Steppe Eurasia: a regional review of natural diversity]. Moscow, Orenburg, "DIMUR" Publ., 2016, 323 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСКТВА

Авторы в равной степени осуществляли сбор научного материала, анализ и интерпретацию результатов исследования, подготовку, написание и корректировку 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 CONTRIBUTION

The authors equally carried out the collection of scientific material, analysis and interpretation of research results, preparation, writing and correction of the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Сергей В. Левыкин / Sergey V. Levykin https://orcid.org/0000-0003-0949-9939
Александр А. Чибилев / Alexander A. Chibilev https://orcid.org/0000-0002-6214-1437
Юрий А. Гулянов / Yuriy A. Gulyanov https://orcid.org/0000-0002-5883-349X
Илья Г. Яковлев / Ilia G. Yakovlev https://orcid.org/0000-0003-0497-8586
Григорий В. Казачков / Grigoriy V. Kazachkov https://orcid.org/0000-0001-6779-8334

Оригинальная статья / Original article
УДК 556.51:556.16
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-140-152

Гидрологический режим трансграничной реки Ульдза и бессточных Торейских озер в условиях антропогенного воздействия

Марина А. Кашницкая[1], Михаил В. Болгов[2]
[1]Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Москва, Россия
[2]Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

Контактное лицо
Марина А. Кашницкая, ученый секретарь, Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»; 123242 Россия, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, д. 7.
Тел. +74992520356
Email Marina-Sosnina1993@yandex.ru
ORID https://orcid.org/0000-0001-7312-3296

Формат цитирования
Кашницкая М.А., Болгов М.В. Гидрологический режим трансграничной реки Ульдза и бессточных Торейских озер в условиях антропогенного воздействия // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 140-152. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-140-152

Получена 11 августа 2022 г.
Прошла рецензирование 14 сентября 2022 г.
Принята 20 сентября 2022 г.

Резюме

Цель. Оценить изменение гидрологического режима Торейских озер на основе вероятностного прогноза параметров водного баланса данных водоемов, в том числе с учетом антропогенного влияния.

Материалы и методы. В исследовании использованы материалы государственной наблюдательной сети Росгидромета, данные дистанционного зондирования Земли, материалы исследований научных организаций и другие источники информации, находящиеся в открытом доступе. Применялись методы статистического анализа данных, математического моделирования, гидрологических расчетов, включая водобалансовый метод, а также методы обработки и дешифрирования спутниковой информации.

Результаты. При реализации планируемого водохозяйственного проекта, сопровождаемого дополнительным безвозвратным потреблением воды, в Монголии последствия для водного режима Торейских озер могут быть значительными, особенно в маловодную фазу цикла водности, когда понижение уровня в озере Барун-Торей составит в среднем 70 см, в Зун-Торей – 80 см. При этом отмается более быстрое высыхание озер, в среднем на 2–3 года ранее.

Выводы. Экологические системы региона «Даурия» характеризуются процессом циклической сукцессии и преимущественно адаптированы к современному климатическому циклу увлажненности. Для этих экосистем принципиально важны какие-либо изменения внешних факторов, так как они способны привести к необратимости природных процессов в них. На основе результатов, полученных в настоящем исследовании, возможно провести комплексный анализ антропогенного влияния на состояние Торейских озер и близкорасположенных экосистем.

Ключевые слова
Торейские озера, водный баланс озер, бессточные водоемы, многолетние колебания, трансграничная река, река Ульдза.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Hydrological regime of the transboundary Uldza River and terminal Torey Lakes under conditions of anthropogenic impact

Marina A. Kashnitskaya[1] and Mikhail V. Bolgov[2]
[1]Planeta Scientific-Research Centre for Space Hydrometeorology, Moscow, Russia
[2]Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Principal contact
Marina A. Kashnitskaya, Academic Secretary, Planeta Scientific-Research Centre for Space Hydrometeorology, 7 Bolshoy Predtechensky St, Moscow, Russia 123242.
Tel. +74992520356
Email Marina-Sosnina1993@yandex.ru
ORID https://orcid.org/0000-0001-7312-3296

How to cite this article
Kashnitskaya M.A., Bolgov M.V. Hydrological regime of the transboundary Uldza River and terminal Torey Lakes under conditions of anthropogenic impact. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 140-152. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-140-152

Received 11 August 2022
Revised 14 September 2022
Accepted 20 September 2022

Abstract
Aim. Assess the change in the hydrological regime of the Torey Lakes based on a probabilistic forecast of the parameters of the water balance of these reservoirs, taking into account anthropogenic influence.
Material and Methods. The study used materials from the state observation network of Roshydromet, Earth remote sensing data, research materials from scientific organisations and other sources of information that are in the public domain. Methods of statistical data analysis, mathematical modeling, hydrological calculations, including the water balance method and methods of processing and decoding satellite information were used.
Results. With the implementation of the planned water management project, accompanied by additional non-returnable water consumption in Mongolia, the consequences for the water regime of the Torey Lakes can be significant, especially in the low-water phase of the water cycle, when the level decrease in the Barun-Torey Lake will average 70 cm and in Zun-Torey – 80 cm. Through this project, the faster drying of the lakes, on average 2–3 years earlier, will be avoided.
Conclusions. The ecological systems of the Dauria region are characterized by a process of cyclic succession and are mainly adapted to the contemporary climatic moisture cycle. For these ecosystems, any changes in external factors are fundamentally important, since they can lead to the irreversibility of natural processes. Based on the results obtained in this study, it is possible to conduct a comprehensive analysis of the anthropogenic impact on the state of the Torey Lakes and nearby ecosystems.

Key Words
Torey lakes, water balance of lakes, terminal reservoirs, long-term fluctuations, transboundary river, Uldza river.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее исследование содержит материалы и результаты диссертационной работы Кашницкой Марины Алексеевны, выполненной под научным руководством Болгова Михаила Васильевича [1; 2].

В аридной климатической зоне Восточного Забайкалья на границе с Монголией расположено множество бессточных озер с глубинами до 5 м. В последний многоводный период климатической водности их количество составило 1245 водоемов, а в маловодный период – 124. Самыми крупными озерами данной территории являются Торейские озера – система водоемов, состоящая из озер Барун-Торей и Зун-Торей, соединённых между собой протокой.

Торейские озера и примыкающая к ним территория образуют экологический регион «Даурский», для которого характерна чрезвычайная динамичность природных процессов, обусловленная изменениями климата. За два последних столетия Торейские озера неоднократно высыхали и наполнялись с периодичностью около 30 лет [3]. Вследствие непрерывной смены гидрологических циклов на территории Торейских озер обеспечиваются условия обитания, подходящие для птиц с различными требованиями к окружающей среде. На одном участке в зависимости от стадии гидрологического цикла могут гнездиться утки, потом – кулики, затем – жаворонки [4], что говорит о крайне высоком значении состояния Торейских озер для общего видового разнообразия флоры и фауны в Даурском экологическом регионе. Благодаря этому на базе Торейских озер в 1987 году был создан государственный природный заповедник «Даурский», целью которого явилось сохранение природных комплексов Даурии и мирового биоразнообразия, а в 1994 году был создан российско-монгольско-китайский заповедник «Даурия». Кроме этого Торейские озера являются объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО – «Ландшафты Даурии» [5] и имеют статус водно-болотных угодий международного значения в соответствии с Рамсарской конвенцией [6] в частности благодаря тому, что через Торейские озера проходит Восточно-Азиатско-Австралийский путь миграции десятков видов перелётных птиц.

В результате спутникового мониторинга Земли на территории Монголии в июле 2020 года обнаружено строительство плотины в начальной стадии на реке Ульдза, являющейся основным притоком Торейских озер. Строительство началось без согласования с представителями Российской Федерации. На изображении высокого пространственного разрешения, полученном с космического аппарата Аист-2Д 14 июля 2022 года, отчетливо прослеживается русло реки Ульдза, его изменение и создаваемая плотина (рис. 1). Из открытых источников информации известно, что строительство данного водохранилища предусмотрено проектом «План управления бассейном реки Ульдза-Гол», в результате которого планируется создание водохранилищ в бассейне реки, регулирующих ее сток. Данный проект является составной частью монгольской программы «Хух морь». Программа предусматривает перераспределение стока наиболее полноводных северомонгольских рек, трансграничных с Россией, на засушливый юг и юго-восток Монголии (регион Гоби). Кроме того, предусмотрена их стыковка с водными ресурсами Автономной Внутренней Монголии – сопредельного с Монголией обширного региона Китая [7].

По предварительным оценкам создание данного водохранилища и впоследствии изъятие воды из реки, необходимого для его заполнения, а также испарение с его водной поверхности, может привести к увеличению продолжительности маловодных периодов и сокращению многоводных, а также, в целом, к более низким отметкам уровня воды в Торейских озерах. Нарушение гидрологических циклов водности реки и озер приведет к неблагоприятным экологическим последствиям, заключающимся в затруднение миграции водных организмов и реколонизация пересыхающих водоемов, изменение продуктивности водоемов, изменение миграционных потоков и мест гнездования птиц с волнообразным сокращением их численности [9], что впоследствии может привести к утрате статуса Торейских озер как объекта Всемирного наследия.

Для анализа воздействия антропогенной нагрузки на Даурский экологический регион необходимо выявить влияние сокращения притока реки Ульдза на гидрологический режим Торейских озер на основе восстановления и моделирования водного баланса озер, что в настоящее время возможно выполнить с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

Территория исследования

Озеро Барун-Торей представляет собой бессточный водоем неправильной формы, вытянутой с севера на юг. Глубина озера Барун-Торей относительно небольшая – около 4 м, длина 50,5 км, средняя ширина 11,1 км, площадь водной поверхности достигает 600 км^2. На восточном берегу озеро Барун-Торей соединяется протокой с озером Зун-Торей. Поступление воды из озера Барун-Торей в Зун-Торей начинается при уровне воды в Барун-Торее 596,1 м БС. Озеро Зун-Торей имеет меньшие размеры, но при этом более глубокое: максимальная глубина озера Зун-Торей составляет около 7 м, длина озера – 22,6 км, средняя ширина 13 км при площади водной поверхности – 300 км^2. В озеро Барун-Торей впадают трансграничные реки Ималка и Ульдза со среднегодовыми расходами 0,43 и 5,46 м^3/с, соответственно (рис. 2).

Река Ульдза берет начало в восточных отрогах хребта Хэнтэй и протекает преимущественно по степным равнинам северо-восточной части Монголии, впадает в озеро Барун-Торей, образовывая обширную дельту, на территории Российской Федерации в Забайкальском крае. Длина реки составляет 425 км, из них 409 км расположены в Монголии. В Российской Федерации находится лишь устьевая часть реки длиной 16 км. Площадь водосбора – 26 900 км^2, 95% из которых приходится на Монголию. Река Ульдза имеет определяющее значение в водном балансе Торейских озер и природы Даурского степного экологического региона.

Река Ималка берет начало на хребте Эрмана в Монголии. Длина реки составляет 156 км, из которых 96 км протекают по территории Монголии. Верховье и устье данной реки находятся в Российской Федерации. Площадь водосбора – 1480 км^2, из которых 43% приходится на территорию Забайкальского края. Средний годовой сток в устье 0,018 км^3. Река периодически пересыхает и ежегодно перемерзает.

Рисунок 1. Район расположения строительства плотины на реке Ульдза
(Источником спутниковых данных является РКЦ «Прогресс» (https://www.samspace.ru) [8],
их обработка выполнена в НИЦ «Планета»)

Figure 1. Location of the construction of the dam on the Uldza River
(The source of satellite data is the Progress RCC (https://www.samspace.ru) [8];
their processing was performed at the Planeta Research Centre)

Водный режим рек Ульдза и Ималка характеризуются неравномерным распределением стока в течение года. Это обусловлено особенностями питания, в котором преобладает дождевой тип. В зимние месяцы в связи с промерзанием рек до дна сток отсутствует. Его возобновление происходит в начале апреля. Со второй декады апреля до середины мая проходит весеннее половодье. В связи с тем, что высота снежного покрова в этом районе невелика и значительная его часть испаряется к моменту вскрытия рек, весеннее половодье обычно уступает по объему летним паводкам. В многоводные и средней водности годы межень часто отмечается с середины мая до конца июня. В летний период наблюдаются дождевые паводки, наиболее высокие из них формируются в период с июля по сентябрь. Они отличаются как по количеству пиков, так и по величине расхода воды. Осенняя межень начинается в ноябре, затем реки промерзают, сток рек прекращается. На долю летне-осеннего периода приходится большая часть стока – около 85–95% в многоводные и маловодные года, в годы средней водности – 70%.

Климат исследуемого региона

Юг-Восточное Забайкалье, включая территорию бассейна Торейских озер, расположено в области резко континентального климата в зоне недостаточного увлажнения. По результатам, изложенным в работе [10], с середины XX века по настоящее время на исследуемой территории наблюдается потепление по данным станций наземной наблюдательной сети Росгидромета (Акша, Александровский Завод, Кайластуй, Сретенск, Борзя, Соловьевск, Газимурский Завод, Нерчинский Завод, Мангут). Однако в последние три десятилетия отмечено замедление роста температуры воздуха. В период с 1951 по 1990 год рост средней годовой температуры составлял в среднем 0,26°C/10 лет, а в период с 1990 по 2019 год – 0,09°C/10 лет. Вследствие роста температуры воздуха наблюдается уменьшение увлажненности территории Торейских озер, которое произошло в результате повышения испарения [11]. В изменении атмосферных осадков прослеживается четко выраженная внутривековая цикличность. В анализируемом периоде авторы выделяют два таких цикла: с 1955 по 1982 год и

с 1983 по 2011 год. Атмосферные осадки, превышающие многолетнюю норму, наблюдались с 1955 по 1963 и с 1983 по 1998 гг., а в периоды 1964–1982 гг. и 1999–2011 гг. преобладали годы с осадками ниже нормы.

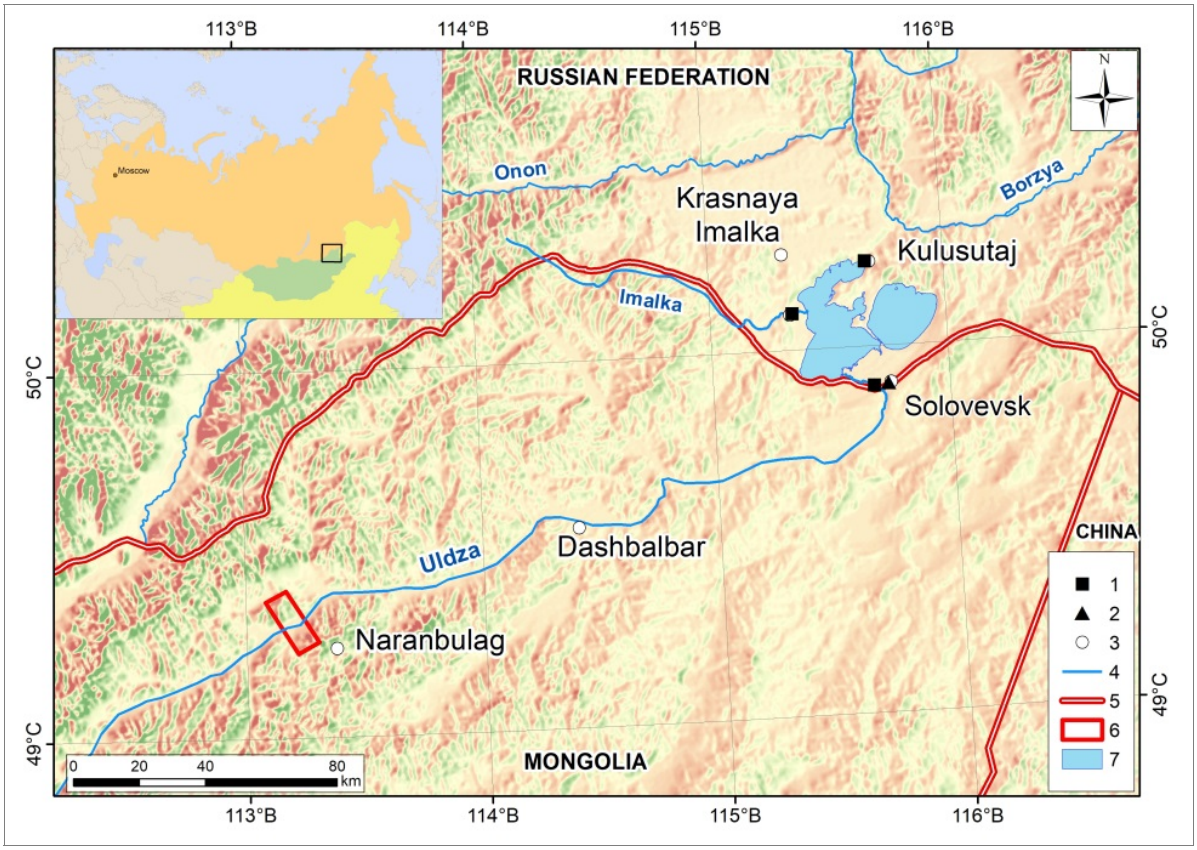


Рисунок 2. Схема расположения Торейских озер и проектируемого водохранилища
(1 – гидрологические посты, 2 – метеорологические станции, 3 – Населенные пункты, 4 – реки, 5 – государственные границы, 6 – гидротехническое сооружение, 7 – Торейские озера)
Figure 2. Map of the location of the Torey Lakes and the projected reservoir
(1 – hydrological posts, 2 – meteorological stations, 3 – settlements, 4 – rivers, 5 – state borders, 6 – hydraulic structure, 7 – Torey Lakes)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наземные систематические гидрологические наблюдения за озером Барун-Торей проводилось в период 1965–1978 гг. Вследствие интенсивного уменьшения акватории озера в 1979–1980 гг., а в 1981–1982 гг. пересыхания обширной прибрежной зоны озера (до 8–15 км) наблюдения за уровнем и температурой воды были прекращены. Поэтому объективным и независимым источником информации о состоянии Торейских озер на сегодняшний день являются спутниковые данные, позволяющие определять морфометрические и гидрологические характеристики озер, в том числе площадь водного зеркала.

В период с 1989 по 2020 гг., когда наземные наблюдения за озёрами не проводились, гидрологический режим Торейских озер восстановлен с использованием цифровой модели рельефа местности и данных дистанционного зондирования Земли космических аппаратов серий Landsat и Sentinel-2 с пространственным разрешением 30 и 10 м, соответственно, за безледоставный период. Проанализированы все доступные мультиспектральные спутниковые изображения – 113 спутниковых сцен. Используемые спутниковая информация находятся в открытом доступе (earthexplorer.usgs.gov) и имеет стандартный уровень обработки Level 1. Учитывая линейные размеры Торейских озер, исходные спутниковые данные являются приемлемыми для исследования.

С помощью автоматизированного метода обработки спутниковых данных – спектрального индекса MNDWI, наиболее точно определяющего границу «суша-вода» на исследуемой территории [12–16], получены значения площади водной поверхности Торейских озер за период с 1989 по 2020 гг.

Анализ информации космических аппаратов, включая вычисление площади водной поверхности Торейских озер посредством расчета MNDWI, производились в web-сервисе Bera-Science, который является составной частью Цента коллективного пользования ИКИ-Мониторинг [17–19]. Площади водной поверхности Торейских озер, полученные за один год, усреднялись для того, чтобы нивелировать сезонную изменчивость озер внутри года.

В результате сопоставления площадей Торейских озер, полученных по данным ДЗЗ, с графиками зависимости уровня воды озер от их площади водной поверхности и объема H=f(S), H=f(W), построенными по ЦМР, восстановлен уровенный

режим Торейских озер за период с 1989 по 2020 гг. (рис. 3).

Для восстановления гидрологического режима Торейских озер за период 1965–2018 гг. авторы настоящей статьи разработали модель водного баланса Торейских озер на языке программирования Payton с использованием возможностей проекта Jupyter Notebook [20; 21]. В основу модели положено решение уравнения водного баланса для бессточных водоемов за годовой интервал времени:

$$P+Y-E-Z=\Delta H,$$

где P – осадки на водную поверхность, Y – суммарный приток рек Ималка и Ульдза в озеро Барун-Торей, E – испарение, Z – дополнительные потери, учитывающие рассеивание стока. Исходные данные для расчета составляющих водного баланса приняты по данным наблюдений на станциях сети Росгидромета (оз. Барун-Торей – с. Кулусутай (1965–1978 гг.), р. Ульдза – с. Соловьевск (1965–2018 гг.), р. Ималка – н.п. Красная Ималка (1965–2018 гг.), с. Соловьевск (1965–2019 гг.)). Испарение рассчитано по методике ГГИ [22].

При решении уравнения водного баланса Торейских озер учитывалась особенность расположения данных озер и нижнего течения реки Ульдза в зоне «рассеивания» стока [23], в которой потери воды на фильтрацию из русел и испарение существенно превышают местный сток. Поэтому, по сравнению с соседними водосборами, маловодные периоды в притоке к озеру носят более выраженный, затяжной характер, что также отражается на водном балансе самого озера, увеличивая потери на фильтрацию при росте уровня воды.

Для калибровки модели водного баланса Торейских озер использовались данные об уровнях водоемов, полученные в результате наземных измерений (1965–1978 гг.), восстановленные по спутниковой информации (1989–2020 гг.) и график изменения уровня озера Барун-Торей, полученный Обязовым В.А. за период 1965–2009 гг. [24]. В процессе калибровки модели установлены поправочные коэффициенты, которые заключаются в увеличении испарения на 5% и уменьшении притока на 28%, что хорошо объясняется характерной для исследуемой территории потерей воды на рассеивание стока.

Моделирование гидрологического режима Торейских озер за период большой продолжительности осуществлено с помощью имитационного моделирования с использованием Марковской цепи первого порядка.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным предложенной модели водного баланса в многолетнем изменении уровня Торейских озер прослеживается цикличность (рис. 2). В 1965 г. отмечался высокий уровень озер. В последующие годы происходило уменьшение уровня воды с достижением минимальных значений в 1982–1983 гг. Затем наблюдалось наполнение озер с достижением максимального значения уровня в Барун-Торее в 1999 г., а в Зун-Торее в 1998 г. Затем на озерах отмечалось уменьшение уровня воды, которое происходит до настоящего времени. По спутниковым данным в период 2009–2020 гг. регулярно отмечалось практически полное высыхание котловины озера Барун-Торей, а с 2017 – озера Зун-Торей. Информация, получаемая с космических аппаратов, позволяет отслеживать наполнение котловины озер, обусловленное выпадением атмосферных осадков. Относительно стабильное наполнение озера Барун-Торей началось в сентябре 2020 г. [25; 26].

Для количественной оценки влияния антропогенной нагрузки на водные ресурсы бассейна Торейских озер проанализирована проектируемая водохозяйственная система на реке Ульдза, так как ее функционирование является основной частью антропогенной нагрузки на исследуемые озера. На официальном сайте о государственных закупках в техническом задании, размещенном в проектной документации к тендеру, заявлены следующие характеристики возводимого водохранилища на реке Ульдза: высота – 12 м, длина около 700 м, объем 27 млн. м^3, площадь до 10 км^2, функция – экологическое восстановление реки путем стабилизации стока [27]. В работе [28] рассчитаны санитарные попуски для проектируемого водохранилища (0,018 км^3/год) и дана информация о том, что ниже по течению реки Ульдза от проектируемого водохранилища построена ирригационная система площадью около 2100 га. Применяя данные норм водопотребности, разработанные для сельского хозяйства, получены значения безвозвратного потребления воды на орошение сельскохозяйственного поля [29]. Численность поголовья крупного рогатого скота в районе расположения проектируемого водохранилища получена по данным Монгольского статистического управления, а безвозвратные изъятия воды на их нужды рассчитаны с помощью норм расхода воды на поение крупного рогатого скота [30] (табл. 1). Для модельных расчетов рассмотрены два сценария изменения водохозяйственной обстановки в бассейне Торейских озер (табл. 1) отдельно рассматривался ряд наполнений озера в маловодные по притоку периоды.

Оценка последствий реализации комплекса водохозяйственных мероприятий в бассейне реки Ульдза на гидрологический режим Торейских озёр осуществлена с помощью имитационных экспериментов на основе расчета рядов уровней Торейских озер за продолжительный период 10 тыс. лет в соответствие с представленными сценариями. Для этого в качестве исходных данных использованы данные об осадках, испарении и притоке за период 1965–2018 гг. Так как в бассейне Торейских озер значимая корреляционная связь между притоком, осадками и испарением с водной поверхности отсутствует (табл. 2), то данные процессы смоделированы как независимые последовательности. В результате анализа параметров распределения основных гидрологических характеристик (табл. 3) принято решение моделировать искусственные ряды осадков и испарения методом имитационного моделирования с помощью Марковской цепи первого порядка. Для моделирования притока использована схема, учитывающая маловодную и многоводную фазы цикла водности Торейских озер. Для каждой фазы определены параметры распределения (табл. 4) и методом имитационного моделирования с использованием Марковской цепи первого порядка получены независимые искусственные ряды значений. Образование ряда данных притока за период большой продолжительности осуществлено путем комбинации этих двух последовательностей.

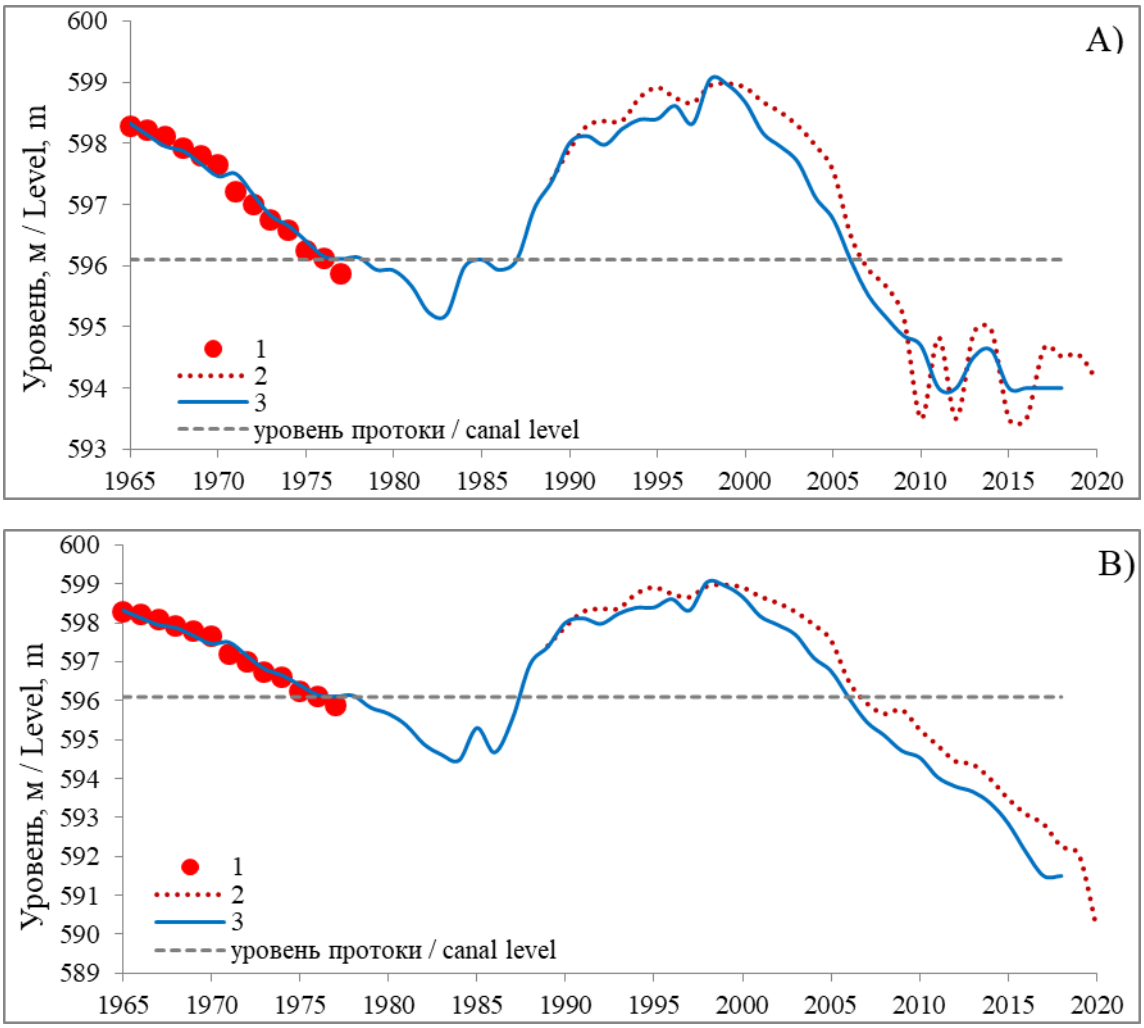


Рисунок 3. Изменения уровней озер Барун-Торей (A) и Зун-Торей (B), восстановленные по данным ДЗЗ (2) и модели водного баланса (3). Графики дополнены данными наземных наблюдений (1)
Figure 3. Changes in the levels of Lakes Barun-Torey (A) and Zun-Torey (B) reconstructed from remote sensing data (2) and a water balance model (3). Graphs are supplemented with data from ground-based observations (1)

Таблица 1. Возможные сценарии изменения водохозяйственной обстановки в бассейне Торейских озер
Table 1. Possible scenarios for changing the water management situation in the Torey Lakes basin

Вариант расчета Calculation option	**Условия функционирования водохозяйственной системы и оценка безвозвратных потерь** Conditions for the functioning of the water management system and assessment of irretrievable losses
Вариант № 1 Option № 1	Естественные условия Natural conditions
Вариант № 2 Option № 2	Водохранилище наполнено. Водные ресурсы затрачиваются на фильтрацию и испарение с поверхности водохранилища. Дополнительные расходы осуществляются для поддержания санитарных попусков в размере 0,018 км^3/год; для орошения сельскохозяйственных полей площадью 2100 га с учетом нормы орошения равной 1630 м^3/га и возвратных вод; для нужд скотоводческого хозяйства в количестве 26,7 тыс. голов крупного рогатого скота при норме суточного потребления 51,3 л/сут. The reservoir is full. Water resources are spent on filtration and evaporation from the surface of the reservoir. Additional expenditures are made so as to maintain sanitary releases in the amount of 0.018 km3/year; for irrigation of agricultural fields with an area of 2100 hectares, taking into account the irrigation rate equalling up to 1630 m3/ha and return waters; for the needs of livestock farming in the amount of 26.7 thousand heads of cattle at a daily consumption rate of 51.3 l/day
Вариант № 3 Option № 3	Расчет уровней производится для маловодной фазы цикла. Учитываются изъятия воды, предусмотренные во втором варианте Levels are calculated for the low-water phase of the cycle. Water withdrawals provided for in the second option are taken into account

Таблица 2. Матрица парных коэффициентов корреляции между параметрами водного баланса Торейских озер за период 1965–2018 гг.
Table 2. Matrix of paired correlation coefficients between the parameters of the water balance of the Torey Lakes for the period 1965–2018

	Осадки Precipitation	**Приток** Inflow	Испарение Evaporation
Осадки / Precipitation	1		
Приток / Inflow	0,5	1	
Испарение / Evaporation	-0,4	-0,3	1

Таблица 3. Параметры распределения вероятностей основных гидрологических характеристик за период с 1965 по 2018 гг. в бассейне Торейских озер
Table 3. Parameters of the probability distribution of the main hydrological characteristics for the period from 1965 to 2018 in the basin of the Torey Lakes

Гидрологическая характеристика Hydrological characteristic	**Параметры распределения** Distribution Options			
	Среднее Mean	**Cv**	**Cs**	**r(1)**
Приток к Торейским озерам / Inflow to the Torey Lakes	186,4*10^6 m^3	1,39	2,02	0,60
Осадки на поверхность озер / Precipitation on the surface of lakes	291,7 mm	0,27	0,27	0,01
Испарение с поверхности озер / Evaporation from the surface of lakes	573,6 mm	0,17	1,13	0,25

Таблица 4. Параметры распределения вероятностей рядов годового притока Торейских озер за разные фазы цикла водности
Table 4. Probability distribution parameters of the series of annual inflows of the Torey Lakes for different phases of the water cycle

Приток Торейских озер Inflow to the Torey Lakes	**Параметры распределения** Distribution Options				
	N, лет N years	**Среднее, м^3** Mean, m^3	**Cv**	**Cs/Cv**	**r(1)**
Весь ряд данных / Full data series	54	186,4*10^6	1,39	1,45	0,60
Многоводный период / High water period	16	490,0*10^6	0,60	1,1	0,00
Маловодный период / Low water period	38	58,4*10^6	1,13	1,1	0,85

Смоделированные таким образом ряды осадков, испарения и комбинированный ряд данных притока были поданы на вход разработанной водобалансовой модели, осуществлен расчет уровенного режима Торейских озер за период большой продолжительности, в том числе в соответствие с представленными сценариями. На рисунке 4 рассчитанные уровни воды Торейских озер представлены на графиках кривых обеспеченностей, по которым легко определяются уровни воды данных водоемов заданной обеспеченности.

Анализ результатов имитационных экспериментов показывает, что при реализации монгольской стороной новых водохозяйственных проектов, сопровождаемых дополнительными безвозвратными потерями стока, уровень воды в Торейских озерах будет ниже, чем при естественных условиях. Уменьшение уровня воды составит в озере Барун-Торей в среднем 0,4 м (составляет 8,5% от значений максимального уровня), в Зун-Торее – 0,5 м (7,7%). Наибольшее влияние изъятий воды будет проявляться в периоды маловодной фазы водности: в озере Барун-Торей понижение уровня составит в среднем 0,7 м (14,9%), в Зун-Торее – 0,8 м (12,3%). При этом наблюдается более быстрое высыхание озер, в среднем на 2–3 года. После окончания маловодной фазы наполнение озер происходит в тот же год, что и при естественных условиях.

Обсуждение возможных экологических последствий строительства водохранилища на реке Ульдза на экологический регион «Даурский»

Сотрудниками международного биосферного заповедника «Даурский» и Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН неоднократно анализировались изменения, происходящие во флоре и фауне Даурского региона при понижении уровня Торейских озер [4; 31–36]. Так, обмеление Торейских озер сопровождается высыханием других мелких водоемов, расположенных в экорегионе «Даурский» – обширные озерно-степные регионы Монголии, Китая, находящиеся южнее Торейских озер, и междуречья Онона и Аги – с юга. Кроме этого, на исследуемой территории понижение уровней водных объектов наблюдается при наступлении климатических засух, за которыми следуют изменения растительного покрова, выражающиеся в его оскудении, приводящие в свою очередь к уменьшению численности и видового разнообразия животного населения на всех уровнях экосистемы региона Торейских озер, включая перелетных птиц. Другим следствием уменьшения уровня Торейских озер является увеличение минерализации воды, она становится горько-соленой, и это приводит к изменению численности и видового состава гидробионтов. Происходит сокращение околоводной растительности, в частности тростника, обеспечивающей кормовую базу и место обитания уток, лысух и других видов птиц.

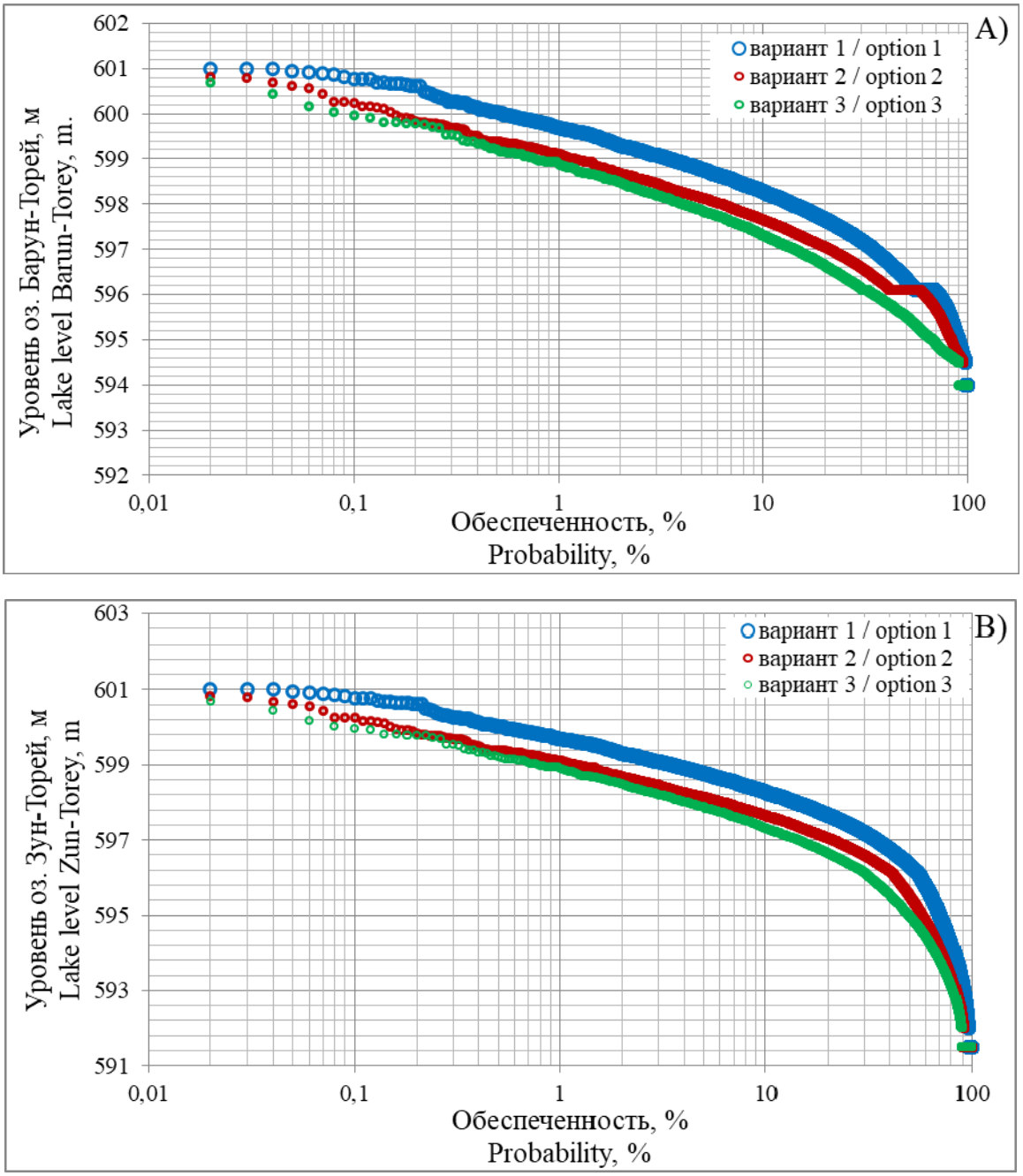


Рисунок 4. Кривые обеспеченности уровней озер Барун-Торей (А) и Зун-Торей (В) в соответствие со сценариями развития водохозяйственной деятельности
Figure 4. Curves of levels of Lakes Barun-Torey (A) and Zun-Torey (B) in accordance with scenarios for the development of water management actions

Увеличение продолжительности маловодной фазы гидрологического цикла Торейских озер способно привести к изменению миграционных путей водоплавающих птиц. Например, в период 1999–2009 гг. численность уток в степной зоне Забайкальского края, в том числе в регионе Торейских озер, сократилась в 59 раз, когда миграционный путь сместился на восток к Предгорью Большого Хингана и на запад – в район Хэнтэя [37].

Наполнение Торейских озер в начале многоводной фазы сопровождается появлением мелководных островов, которые в дальнейшем затапливаются при подъеме уровня воды. Затапливается заросшее степной растительностью дно озер, которое преобразовывается в идеальное место для гнездования и вскармливания многих птиц. При среднем уровне Торейских озер сотрудниками заповедника «Даурский» отмечается оптимальное соотношение минерализации и объема воды, при котором наблюдался максимальный и разнообразный запас кормовой базы для животных [31]. Поэтому в годы средней водности кратно возрастает численность птиц, в частности сухоносов, лебедей, даурских журавлей, стерехов и др.

В работе [38] сделан вывод о том, что естественное динамическое состояние экологических систем региона «Даурия» определяется как состояние циклических сукцессий, отличительной особенностью которых является возврат экосистем к условиям, близким к исходным через определенные промежутки

времени [39]. При этом авторы уточняют, что увеличение влияния каких-либо факторов на экосистему способно привести к необратимости природных процессов в ней. Известно [38], что растительность и животное население Даурского региона преимущественно адаптированы к современному климатическому циклу увлажненности продолжительностью 30 лет. На сегодняшний день вопрос о надежной количественной оценке степени влияния прогнозируемого уменьшения уровня Торейских озер и стока трансграничной реки Ульдза на флору и фауну Даурского региона остается открытым.

ВЫВОДЫ

Торейские озера представляют собой уникальный водный объект, являясь сложной гидрологической системой замкнутых озер, входят в состав объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. Под влиянием климатических колебаний изменяется водных режим исследуемых озер: с периодичностью около 30 лет водоёмы высыхают, а затем наполняются. Циклический характер водного режима Торейских озер обеспечил на берегах и островах водоемов благоприятные условия для обитания различных видов птиц, в том числе, занесенных в Красную книгу. Однако, наземные наблюдения за гидрологическим режимом Торейских озер прекращены в 1980 г. В настоящее время строится гидротехническое сооружение на трансграничной реке Ульдза, питающей данные озера, реализация деятельности которого может привести к сложным и необратимым последствиям для всего экологического региона Торейских озер.

В целях оценки влияния планируемых водохозяйственных мероприятий на монгольской части реки Ульдза на гидрологический режим Торейских озер разработана модель водного баланса Торейских озер, которая адекватно восстанавливает уровни воды в данных озерах. По литературным сведениям и информации, находящейся в открытом доступе, проанализирована возможная хозяйственная деятельность на строящемся водохранилище, предложены сценарии развития водохозяйственной обстановки в бассейне Торейских озер, включая рассмотрение этого влияния отдельно на маловодный период Торейских озер.

Анализ результатов имитационных экспериментов показал, что при реализации монгольской стороной планируемого водохозяйст-венного проекта, сопровождаемого дополнительным безвозвратным потреблением воды, последствия для водного режима Торейских озер могут быть значительными, особенно в маловодную фазу цикла водности, когда понижение уровня в озере Барун-Торей составит в среднем 0,7 м, в Зун-Торее – 0,8 м. При этом по модельным расчетам отмается более быстрое высыхание озер, в среднем на 2–3 года ранее.

Экологические системы региона «Даурия» характеризуются процессом циклической сукцессии и преимущественно адаптированы к современному климатическому циклу увлажненности. Для этих экосистем принципиально важны какие-либо изменения внешних факторов, так как они способны привести к необратимости природных процессов в них. На основе полученных результатов возможно провести комплексный анализ антропогенного влияния на состояние Торейских озер и близкорасположенных экосистем.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Результаты исследования получены при поддержке Российско-китайского гранта РФФИ №21-55-53017 «Linkages between surface-groundwater interaction and riparian evapotranspiration processes under climate variability: a comparative analysis between arid and humid environments» и опубликованы при поддержке гранта РГО «Международная конференция «Трансграничные геоэкологические проблемы и вопросы природопользования в бассейне рек Внутренней Евразии в связи с изменением климата».

ACKNOWLEDGMENT

The results of the study were obtained with the support of the Russian-Chinese grant of the Russian Foundation for Basic Research No. 21-55-53017 "Linkages between surface-groundwater interaction and riparian evapotranspiration processes under climate variability: a comparative analysis between arid and humid environments" and published with the support of the RGS grant "International Conference" Transboundary Geoecological Problems and Issues of Nature Management in the Basin of the Rivers of Inner Eurasia in Connection with Climate Change.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашницкая М.А. Гидрологический режим бессточных озер в степной зоне Забайкалья (на примере Торейских озер). Дис. … канд. геогр. наук. Москва, 2022. 126 с.
2. Кашницкая М.А. Гидрологический режим бессточных озер в степной зоне Забайкалья (на примере Торейских озер). Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук. Москва, 2022. 19 с.
3. Обязов В.А. Связь колебаний водности озер степной зоны Забайкалья с многолетними гидрометеорологическими изменениями на примере Торейских озер // Известия Русского географического общества. 1994. Т. 126. N 5. С. 48–54.
4. Кирилюк О.К. Даурия и Аргунь вчера и сегодня. Будет ли завтра? // Степной бюллетень. 2009. N 27. С. 22–24.
5. Буторин А.А. Ландафты Даурии – новый российский объект Всемирного наследия // Вестник Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО. 2017. N 32. С. 83–88.
6. Torey Lakes. URL: https://rsis.ramsar.org/ris/683 (дата обращения:16.04.2021)
7. На российско-монгольской границе может возникнуть зона экологического бедствия // Сайт Института географии РАН, 2021. URL: http://www.igras.ru/news/2864 (дата обращения 15.05.2021)
8. РКЦ «Прогресс». URL: https://www.samspace.ru (дата обращения 14.07.2022)
9. Симонов Е.А., Кирилюк В.Е. Ход «Синим конем»: трансграничные риски стратегий климатической адаптации и «климатических обязательств» на примере Монголии // Материалы международной конференции СВО ВЕКЦА «Трансграничное водное сотрудничество в странах ВЕКЦА: извлеченные уроки и направления будущего развития». Ташкент, Узбекистан, 2021. С. 46–61.
10. Обязов В.А., Кирилюк В.Е., Кирилюк А.В. Торейские озера как индикатор многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 3. Вып. 3. С. 204–232. DOI: 10.34753/HS.2021.3.3.204
11. Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Курганович К.А. Характеристика увлажненности территории бессточных озер Торейской равнины с использованием метеорологических данных // Вестн. Забайкал. Гос. Ун-та.

2019. Т. 25. N 3. С. 22–30. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30
12. Кашницкая М.А. Исследование динамики площадей водной поверхности озёр степной зоны Восточного Забайкалья на основе данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. N 3. С. 242–253. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-242-253
13. Курганович К.А., Носкова Е.В. Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер юго-востока Забайкалья, по данным дистанционного зондирования // Вестник Забайкальского государственного университета. 2015. N 6 (121). С. 16–24.
14. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of the Environment. 2014. N 140. P. 23–35.
15. Gao B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of the Environment. 1996. V. 58. P. 257–266.
16. Rokni K., Ahmad A., Selamat A., Hazini S. Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery // Remote Sensing of the Environment. 2014. N 6. P. 4173–4189.
17. Лупян Е.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. N 5. С. 263–284.
18. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. N 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170
19. Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14. N 1. P. 77.
20. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Бессточные Торейские озера: можно ли дать прогноз изменений гидрологического режима? // Метеорология и гидрология. 2021. N 5. С. 95–98. DOI: 10.3103/S1068373921050095
21. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022612620. «Water balance model of the Torey lakes»: № 2022612170: заявл. 17.02.2022; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-Исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета».
22. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 85 с.
23. Болгов М.В. Дождевые паводки водотоков Монгольской народной республики // Метеорология и гидрология. 1985. N 8. С. 83–88.
24. Обязов В.А. Изменение климата и гидрологического режима рек и озер в Даурском экорегионе // Проблема адаптации к изменению климата в бассейне рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты. Чита: Экспресс-издательство, 2012. С. 24–45.
25. Кашницкая М.А. Водный режим Торейских озер в условиях антропогенного влияния // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2022. Т. 39. С. 44–55. DOI: 10.26516/2073-3402.2022.39.45
26. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Оценка влияния строительства гидротехнического сооружения на гидрологический режим трансграничной реки Ульдза (Российская Федерация и Монгольская Народная Республика) // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана», Новочеркасск, 20–25 сентября, 2021. С. 179–185.
27. Улз голын урсцыг нэмэгдүүлэх "Онон-Улз". URL: https://www.tender.gov.mn/en/invitation/detail/1570643029346 (дата обращения: 15.05.2021)
28. Кирилюк В.Е., Обязов В.А., Шаликовский А.В., Курганович К.А., Босов М.А., Никитина О.И., Горошко О.А. Предварительная оценка влияния на экосистему Торейских озер плотины, строящейся на трансграничной реке Ульдза в Монголии // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана», Новочеркасск, 20–25 сентября, 2021. С. 185–191.
29. Укрупненные нормы водопотребности для орошения по природно-климатическим зонам СССР. М.: Минводхоз, 1984. 346 с.
30. Ведомственные нормы технологического проектирования: ВНТП-Н-97. Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения. М.: Союзводпроект, 1997.
31. Кирилюк В.Е., Горошко О.А., Сараева Л.И., Синица С.М., Бородина Т.И., Ткаченко Е.Э., Бриних В.А. Биосферный заповедник «Даурский». Чита: Экспресс-издательство, 2009. 104 с.
32. Куклин А.П., Цыбекмитова Г.Ц., Горлачева Е.П. Состояние водных экосистем озер Онон-Торейской равнины за 1983-2011 годы (Восточное Забайкалье) // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. N 3 (56). С. 16–26.
33. Ткачук Т.Е., Жукова О.В. Результаты мониторинга растительности на стационарном геоботаническом профиле в Даурском заповеднике // Природоохранное сотрудничество: Россия, Монголия, Китай. 2010. N 1. С. 290–294.
34. Bazarova B.B., Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Kuklin A.P., Matafonov P.V., Tsybekmitova G.Ts., Gorlacheva E.P., Itigilova M.Ts., Afonin A.V., Butenko M.N. Long-term fluctuations of the aquatic ecosystems in the Onon-Torey plain (Russia) // Acta Ecologica Sinica. 2019. V. 39. N 2. P. 157–165.
35. Bazhenov Yu.A. Population of Small Mammals in the Vicinity of the Torey Lakes (Southeast Transbaikalia) during the Dry Climatic Phase: Dynamics and Connection with Precipitation // Contemporary Problems of Ecology. 2019. V. 12. N 1. P. 23–33.
36. Kirilyuk V.E., Obyazov V.A, Tkachuk T.E., Kirilyuk O.K. Influence of climate change on vegetation and wildlife in the Daurian Eco-region. – Eurasian steppes. Ecological problems and livelihoods in a changing world. Springer. Dordrecht. 2012. P. 397–424.
37. Горошко О.А. Влияние многолетних климатических циклов на орнитокомплексы Даурии // Материалы научной конференции «Эволюция биогеохимических систем (факторы, процессы, закономерности) и проблемы природопользования» и симпозиума «Геоэкологические, экономические и социальные проблемы природопользования» посв. 30-летию ИПРЭК СО РАН». Чита, 27–30 сентября, 2011 г. С. 141–143.
38. Кирилюк В.Е., Ткачук Т.Е., Кирилюк О.К. Влияние изменений климата на местообитания и биоту в Даурии //

Проблема адаптации к изменению климата в бассейне рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты. Чита: Экспресс-издательство, 2012. С. 46–62.
39. Исаков Ю.А. Казанская Н.С., Тишков А.А. Зональные закономерности динамики экосистем. Москва: Наука, 1986. 150 с.

REFERENCES

1. Kashnitskaya M.A. *Gidrologicheskii rezhim besstochnykh ozer v stepnoi zone Zabaikal'ya (na primere Toreiskikh ozer)*. Diss. kand. geog. nauk [Hydrological regime of terminal lakes in the steppe zone of Transbaikalia (on the territory of the Torey lakes). Candidate of Geographical Sciences dissertation]. Moscow, 2022, 126 p.
2. Kashnitskaya M.A. *Gidrologicheskii rezhim besstochnykh ozer v stepnoi zone Zabaikal'ya (na primere Toreiskikh ozer). Avtoref. Dis. Kandid. Geogr. Nauk* [Hydrological regime of terminal lakes in the steppe zone of Transbaikalia (on the territory of the Torey lakes). Abst. Dissert. Cand. Geogr. Sci.]. Moscow, 2022, 19 p.
3. Obyazov V.A. Relationship between fluctuations in the water content of lakes in the steppe zone of Transbaikalia and long-term hydrometeorological changes on the example of the Torey lakes. Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Izvestiya of the Russian Geographical Society]. 1994, vol. 126, no. 5, pp. 48–54. (In Russian)
4. Kirilyuk O.K. Dauria and Argun yesterday and today. Will there be tomorrow? Stepnoi byulleten' [Steppe Bulletin]. 2009, no. 27, pp. 22–24. (In Russian)
5. Butorin A.A. Landshafty Daurii – novyi rossiiskii ob"ekt Vsemirnogo naslediya. Landscapes of Dauria – a new Russian World Heritage Site. Vestnik Komissii RF po delam YuNESKO [Bulletin of the Commission of the Russian Federation for UNESCO]. 2017, no. 32, pp. 116–143. (In Russian)
6. Torey Lakes. Available at: https://rsis.ramsar.org/ris/683 (accessed 16.04.2021)
7. *Na rossiisko-mongol'skoi granitse mozhet vozniknut' zona ekologicheskogo bedstviya* [An ecological disaster zone may arise on the Russian-Mongolian border]. Available at: http://www.igras.ru/news/2864 (accessed 15.05.2021)
8. RCC "Progress". Available at: https://www.samspace.ru (accessed 07.14.2022)
9. Simonov E.A., Kirilyuk V.E. Khod «Sinim konem»: transgranichnye riski strategii klimaticheskoi adaptatsii i «klimaticheskikh obyazatel'stv» na primere Mongolii [The “Blue Horse” move: transboundary risks of climate adaptation strategies and “climate commitments” on the example of Mongolia]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii SVO VEKTsA «Transgranichnoe vodnoe sotrudnichestvo v stranakh VEKTsA: izvlechennye uroki i napravleniya budushchego razvitiya», Tashkent, Uzbekistan, 2021* [Proceedings of the NWO EECCA International Conference “Transboundary Water Cooperation in the EECCA Countries: Lessons Learned and Directions for Future Development”. Tashkent, Uzbekistan, 2021]. Tashkent, 2021, pp. 46-61. (In Russian)
10. Obyazov V.A., Kirilyuk V.E., Kirilyuk A.V. Torey lakes as an indicator of long-term changes in moisture content in Southeastern Transbaikalia and Northeastern Mongolia. *Gidrosfera. Dangerous processes and phenomena,* 2021, vol. 3, no. 3, pp. 204–232. (In Russian) DOI: 10.34753/HS.2021.3.3.204
11. Noskova E.V., Vakhnina I.L., Kurganovich K.A. Moisture characteristics of the territory of endorheic lakes of the Torey Plain using meteorological data. *Vestn. Transbaikal. State. University*, 2019, vol. 25, no. 3, pp. 22–30. (In Russian) DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30
12. Kashnitskaya M.A. The study of the dynamics of the water surface areas of lakes the steppe zone of the Eastern Trans-Baikal area on the basis of remote sensing of the Earth. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 242–253. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-242-253
13. Kurganovich K.A., Noskova E.V. The use of water indices to assess the change in the area of the water surface of the steppe soda lakes in the southeast of Transbaikalia, according to remote sensing data. *Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of the Transbaikal State University]. 2015, no. 6 (121), pp. 16–24. (In Russian)
14. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of the Environment. 2014, no. 140, pp. 23–35.
15. Gao B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of the Environment. 1996, vol. 58, pp. 257–266.
16. Rokni K., Ahmad A., Selamat A., Hazini S. Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery. Remote Sensing of the Environment. 2014, no. 6, pp. 4173–4189.
17. Lupyan E.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskii A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Center for Collective Use of Systems for Archiving, Processing and Analysis of Satellite Data of IKI RAS for Solving the Problems of Studying and Monitoring the Environment. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in Remote Sensing of the Earth from Space]. 2015, vol. 12, no. 5, pp. 263–284. (In Russian)
18. Lupyan E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Mazurov A.A., Marchenkov V.V., Matveev A.M., Radchenko M.V., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Experience in the operation and development of a center for collective use of systems for archiving, processing and analysis of satellite data (TsKP "IKI-Monitoring"). *Current problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 151–170. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170
19. Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System. Remote Sensing. 2022, vol. 14, no. 1, pp. 77.
20. Kashnitskaya M.A., Bolgov M.V. Closed Torey lakes: is it possible to predict changes in hydrological regime? *Russian Meteorology and Hydrology*, 2021, vol. 46, pp. 341–344. (In Russian) DOI: 10.3103/S1068373921050095
21. Kashnitskaya M.A., Bolgov M.V. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM «Water balance model of the Torey lakes»* [Certificate of state registration of the computer program "Water balance model of the Torey lakes"]. Certificate RF, no. 2022612620, 2022.
22. *Ukazaniya po raschetu ispareniya s poverkhnosti vodoemov* [Guidelines for calculating evaporation from the surface of water bodies]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969, 85 p. (In Russian)
23. Bolgov M.V. Rain floods of the watercourses of the Mongolian People's Republic. Meteorologiya i gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]. 1985, no. 8, pp. 83–88. (In Russian)
24. Obyazov V.A. *Izmenenie klimata i gidrologicheskogo rezhima rek i ozer v Daurskom ekoregione* [Climate Change and Hydrological Regime of Rivers and Lakes in the Daurian Ecoregion]. Chita, Express Publ., 2012, pp. 24–45. (In Russian)
25. Kashnitskaya M.A. The water regime of the Torey Lakes under anthropogenic influence. *The bulletin of Irkutsk state university. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 39, pp. 45–55. (In Russian) DOI: 10.26516/2073-3402.2022.39.45

26. Kashnitskaya M.A., Bolgov M.V. Otsenka vliyaniya stroitel'stva gidrotekhnicheskogo sooruzheniya na gidrologicheskii rezhim transgranichnoi reki Ul'dza (Rossiiskaya Federatsiya i Mongol'skaya Narodnaya Respublika) [Assessment of the impact of the construction of a hydraulic structure on the hydrological regime of the transboundary river Uldza (Russian Federation and the Mongolian People's Republic)]. *Materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transgranichnye vodnye ob"ekty: ispol'zovanie, upravlenie, okhrana», Novocherkassk, 20–25 sentyabrya 2021* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Transboundary Water Bodies: Use, Management, Protection", Novocherkassk, 20–25 September 2021]. Novocherkassk, 2021, pp. 179–185. (In Russian)
27. *Ulz golyn urstsyg nemegdγγlekh "Onon-Ulz"* [Ulz golyn urstsyg nemegdγγlekh "Onon-Ulz"]. Available at: https://www.tender.gov.mn/en/invitation/detail/1570643029346 (accessed 15.05.2021)
28. Kirilyuk V.E., Obyazov V.A., Shalikovskii A.V., Kurganovich K.A., Bosov M.A., Nikitina O.I., Goroshko O.A. Predvaritel'naya otsenka vliyaniya na ekosistemu Toreiskikh ozer plotiny, stroyashcheisya na transgranichnoi reke Ul'dza v Mongolii [Preliminary assessment of the impact on the ecosystem of the Torey lakes of the dam being built on the transboundary river Uldza in Mongolia]. *Materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transgranichnye vodnye ob"ekty: ispol'zovanie, upravlenie, okhrana», Novocherkassk, 20–25 sentyabrya 2021* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Transboundary Water Bodies: Use, Management, Protection", Novocherkassk, 20–25 September 2021]. Novocherkassk, 2021, pp. 185–191. (In Russian)
29. *Ukrupnennye normy vodopotrebnosti dlya orosheniya po prirodno-klimaticheskim zonam SSSR* [Enlarged norms of water demand for irrigation in the natural and climatic zones of the USSR]. Moscow, Minvodkhoz Publ., 1984, 346 p. (In Russian)
30. *Vedomstvennye normy tekhnologicheskogo proektirovaniya: VNTP-N-97. Normy raskhodov vody potrebitelei sistem sel'skokhozyaistvennogo vodosnabzheniya* [Departmental norms of technological design: VNTP-N-97. Norms of water consumption of consumers of agricultural water supply systems]. Moscow, Soyuzvodproekt Publ., 1997. (In Russian)
31. Kirilyuk V.E., Goroshko O.A., Saraeva L.I., Sinitsa S.M., Borodina T.I., Tkachenko E.E., Brinikh V.A. *Biosfernyi zapovednik «Daurskii»* [Biosphere Reserve "Daursky"]. Chita, Express Publ., 2009, 104 p. (In Russian)
32. Kuklin A.P., Tsybekmitova G.Ts., Gorlacheva E.P. Gorlacheva E.P. The state of aquatic ecosystems of the lakes of the Onon-Torey Plain for 1983–2011 (Eastern Transbaikalia). *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems]. 2013, vol. 19, no. 3 (56), pp. 16–26. (In Russian)
33. Tkachuk T.E., Zhukova O.V. The results of vegetation monitoring on a stationary geobotanical profile in the Daursky Reserve. *Prirodookhrannoe sotrudnichestvo: Rossiya, Mongoliya, Kitai* [Nature Protection Cooperation: Russia, Mongolia, China]. 2010, no. 1, pp. 290–294. (In Russian)
34. Bazarova B.B., Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Kuklin A.P., Matafonov P.V., Tsybekmitova G.Ts., Gorlacheva E.P., Itigilova M.Ts., Afonin A.V., Butenko M.N. Long-term fluctuations of the aquatic ecosystems in the Onon-Torey plain (Russia). Acta Ecologica Sinica. 2019, vol. 39, no. 2, pp. 157–165. (In Russian)
35. Bazhenov Yu.A. Population of Small Mammals in the Vicinity of the Torey Lakes (Southeast Transbaikalia) during the Dry Climatic Phase: Dynamics and Connection with Precipitation. Contemporary Problems of Ecology. 2019, vol. 12, no. 1, pp. 23–33.
36. Kirilyuk V.E., Obyazov V.A, Tkachuk T.E., Kirilyuk O.K. Influence of climate change on vegetation and wildlife in the Daurian Eco-region. Eurasian steppes. Ecological problems and livelihoods in a changing world. Springer. Dordrecht. 2012, pp. 397–424.
37. Goroshko O.A. Vliyanie mnogoletnikh klimaticheskikh tsiklov na ornitokompleksy Daurii [Influence of long-term climatic cycles on the ornithocomplexes of Dauria]. *Materialy nauchnoi konferentsii «Evolyutsiya biogeokhimicheskikh sistem (faktory, protsessy, zakonomernosti) i problemy prirodopol'zovaniya» i simpoziuma «Geoekologicheskie, ekonomicheskie i sotsial'nye problemy prirodopol'zovaniya» posv. 30-letiyu IPREK SO RAN». Chita, 27–30 sentyabrya 2011* [Proceedings of the scientific conference «Evolution of biogeochemical systems (factors, processes, patterns) and problems of nature management " and the symposium "Geoenvironmental, economic and social problems of nature management" dedicated to. 30th Anniversary of IPREC SB RAS». Chita, 27–30 September 2011]. Chita, 2011, pp. 141–143. (In Russian)
38. Kirilyuk V.E., Tkachuk T.E., Kirilyuk O.K. *Vliyanie izmenenii klimata na mestoobitaniya i biotu v Daurii* [Impact of climate change on habitats and biota in Dauria]. Chita, Express Publ., 2012, pp. 46–62. (In Russian)
39. Isakov Yu.A. Kazanskaya N.S., Tishkov A.A. *Zonal'nye zakonomernosti dinamiki ekosistem* [Zonal patterns of ecosystem dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 150 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Марина А. Кашницкая и Михаил В. Болгов собрали, обобщили и проанализировали данные, написали рукопись. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Marina A. Kashnitskaya and Mikhail V. Bolgov collected, summarized, analysed the data and wrote the manuscript. Both authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Марина А. Кашницкая / Marina A. Kashnitskaya https://orcid.org/0000-0001-7312-3296
Михаил В. Болгов / Mikhail V. Bolgov https://orcid.org/0000-0003-3193-6488

Оригинальная статья / Original article
УДК 991.2+551.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-153-173

Гидролого-морфологические особенности и геоэкологическое состояние территорий долины равнинной части реки Кумы и их значение в системе цивилизационного развития Центрального Предкавказья периода XVIII–XXI веков

Евгений Г. Мишвелов[1], Загир В. Атаев[2,3,4], Артем И. Корниенко[1]
[1]Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия
[2]Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия
[3]Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Махачкала, Россия
[4]Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия

Контактное лицо
Евгений Г. Мишвелов, доктор биологических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Северо-Кавказский федеральный университет; 355000 Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.
Тел. +79614973994
Email mishvelov@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-2004-9429

Формат цитирования
Мишвелов Е.Г., Атаев З.В., Корниенко А.И. Гидролого-морфологические особенности и геоэкологическое состояние территорий долины равнинной части реки Кумы и их значение в системе цивилизационного развития Центрального Предкавказья периода XVIII–XXI веков // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 153-173. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-153-173

Получена 14 сентября 2022 г.
Прошла рецензирование 5 октября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. В настоящей работе основной целью ставился ретроспективный анализ геоэкологического состояния и проблем природно-территориальных комплексов (ПТК) долины равнинной части р. Кумы в контексте гидролого-морфологической динамики для периода с XVIII века по настоящее время.

Материалы и методы. В работе проведен анализ состояния природных компонентов ландшафтов региона, для чего применены топографические, отраслевые и кадастровые карты, цифровая модель рельефа, космоснимки. Использованы открытые данные министерств, ведомств, архивные и фондовые материалы. Степень антропогенной трансформации природно-территориальных комплексов вычислялась на основании коэффициента экологической стабильности ландшафтов.

Результаты. На примере равнинной части реки Кумы для периода XVIII – XXI вв. проанализированы геоэкологические особенности долинных ПТК. Исследования показали, что на современном этапе меандрирование остается важным условием землепользования в долине р. Кумы в части сельскохозяйственных земель и селитебных территорий. Построены картосхемы землепользования модельного участка в долине р. Кумы, позволяющие оценить эффективность хозяйственного использования полей стариц.

Заключение. Последние двести лет долинные ПТК остаются значимыми для поселенческих целей и сопутствующей им хозяйственной деятельности. Современный пояс меандрирования в совокупности с полями стариц создают особые средоформирующие условия функционирования стабилизирующих компонентов ландшафта, в первую очередь пойменного леса как интегрального базового фактора сохранения регионального биоразнообразия. Рекомендовано при организации устойчивого использования земельного фонда речных долин для целей территориального планирования учитывать региональные особенности размещения меандр и стариц.

Ключевые слова
Река, долина, пойма, меандр, старица, гидролого-морфологические факторы, хозяйственная деятельность, геоэкологическое состояние.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Hydrological and morphological features and geoecological condition of the territories of the plains area of the Kuma River valley and their significance in the system of civilizational development of the Central Pre-Caucasus in the 18th–21st centuries

Evgeny G. Mishvelov[1], Zagir V. Ataev[2,3,4] and Artem I. Kornienko[1]
[1]North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
[2]Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia
[3]Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia
[4]Kabardino-Balkar Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia

Principal contact
Evgeny G. Mishvelov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Ecology and Nature Management, North Caucasus Federal University; 1 Pushkin St, Stavropol, Russia 355000.
Tel. +79614973994
Email mishvelov@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-2004-9429

How to cite this article
Mishvelov E.G., Ataev Z.V., Kornienko A.I. Hydrological and morphological features and geoecological condition of the territories of the plains area of the Kuma River valley and their significance in the system of civilizational development of the Central Pre-Caucasus in the 18th–21st centuries. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 153-173. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-153-173

Received 14 September 2022
Revised 5 October 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. In this work, the main aim was a retrospective analysis of the geo-ecological state and problems of natural territorial complexes (NTC) of the valley of the plains area of the Kuma River in the context of hydrological and morphological dynamics for the period from the 18th century to the present.
Material and Methods. The paper analyses the state of the landscape's natural components in the region, for which topographic, sectoral and cadastral maps, digital relief model, satellite images were used. Openly available data of ministries, departments, archival and stock materials were used. The degree of anthropogenic transformation of the natural-territorial complexes was calculated based on the coefficient of ecological stability of landscapes.
Result. Using the example of the plains area of the Kuma River for the period of the 18th-21st centuries, the geo-ecological features of valley NTC were analysed. Studies have shown that at the present stage meandering remains an important condition for land use in the Kuma River valley in terms of both agricultural land and residential areas. Cartographic schemes of land use of a modelled plot in the valley of the Kuma River were constructed, allowing the assessment of the efficiency of the economic use of the fields of oxbow lakes.
Conclusion. For the last two hundred years, valley NTC have remained significant for settlement purposes and related economic activities. The modern meandering belt together with the fields of the older such features create special environment forming conditions for the functioning of the stabilising components of the landscape, floodplain forest being a basic integral factor in the preservation of regional biodiversity. It is recommended that when organising the sustainable use of the land resources of river valleys for the purposes of territorial planning, the regional features of placement of meanders and oxbow lakes be taken into account.

Key Words
River, valley, floodplain, meander, oxbow lake, hydrological and morphological factors, economic activity, geo-ecological condition.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Современное цивилизационное развитие своими корнями связано с долинами равнинных рек, в каком-то смысле, все великие древние цивилизации – это «речные цивилизации», благополучие которых и проблемы зависели от возможности развивать сельское хозяйство на территориях плодородных пойм. Такие составляющие гидрологического цикла как половодье, паводок тысячелетиями участвовали в формировании почвенного плодородия, но могли приносить и беду человеку при наводнениях. Не случайно в древнекитайском письме слово «несчастье» долгое время записывалось в виде иероглифа – , изображавшего вышедшую из берегов реку [1]. Отмеченные обстоятельства обусловили на определенном этапе развитие научного интереса к проблемам гидрографии, гидрологии, геоморфологии и геоэкологии, связанных с функционированием водотоков.

Вопросы морфологии русла реки как особого фактора рельефообразования в отечественной научной литературе разрабатывались два последних столетия, начиная с работы А.Н. Краснова [2], описавшего свободные и врезанные излучины, отметив, что первые формируются, «если река течет по рыхлой породе». В последующие периоды гидрологи и географы развивали представления о факторах и механизмах руслообразования в темпорально-хорологическом аспекте [3–21].

Изучению вопросов геоморфологии речных долин с позиций геоэкологии также посвящено немало работ. Маккавеев Н.И. в своей монографии [12] отмечал, что долинные геосистемы во все времена относились к территориям с наивысшей концентрацией населения Земли. Например, в ряде публикаций по вопросам освоения Удмуртии и его влиянии на гидрологию бассейнов рек отмечалось, что при антропогенном сведении 50–60% леса и активизации хозяйственной деятельности на территории речных бассейнов ряда южных районов Удмуртии в 60–90-х гг. XIX в. происходило резкое увеличение поступления продуктов бассейновой эрозии в русла и как результат – увеличение речного стока наносов, переформатирование высокой и низкой пойм [22–24]. Вопросам ретроспективы геоэкологической трансформации р. Ташла и ее поймы посвящены работы Новосельцевой А.П. [25], Дорониной М.А. [26], Каторгина И.Ю. и др. [27]. Вопросы оценки и моделирования процессов речного бассейна в условиях антропогенного воздействия обсуждаются в работах Smith [28]; Szilagyi, Parlange [29]; Чернова А.В. [30]; Tucker, Hancock [31]; Кащавцевой А.Ю. [32]; Лисецкого Ф.Н. и др. [33]; Василевского П.Ю. [34]; Чалова С.Р. [35].

Современный инструментарий географии, геологии, гидрологии и экологии позволяет под определенным углом осветить проблемы развития долинных ПТК равнинных рек в процессе освоения их человеком, что и анализируется в настоящей работе на примере р. Кумы, расположенной преимущественно в Центральном Предкавказье (рис. 1). Данная территория активно осваивалась Россией только последние два – три века, при этом, и в настоящее время совокупность природно-климатических факторов обеспечивала благоприятные предпосылки для сельскохозяйственной деятельности, что и сегодня выводит регион на флагманские позиции системы социально-экономического развития страны.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе представлены данные о гидролого-морфологических особенностях и геоэкологическом состоянии территорий равнинной части долины р. Кумы региона Центрального Предкавказья. Основное внимание уделено долине р. Кумы между с. Отказным до г. Буденновска и модельному участку долины р. Кумы между с. Отказным и с. Нины (рис. 1).

Использовались снимки с сайта Геологической службы США, а также топографические карты различного масштабного ряда. Обработка снимков осуществлялась в программном комплексе MapInfo Professional 12.0 и QGIS 3.24.1.

Обработка цифровой модели рельефа (ЦМР) осуществлялась средствами QGIS 3.24.1 и Global Mapper v22.1, числовые характеристики грив были получены с помощью инструментария QGIS 3.24.1. Профили рельефа местности построены с помощью Global Mapper v22.1. Русло реки и старицы были выделены с использованием спутниковых снимков сверхвысокого разрешения GeoEye-1, данные ЦМР – ALOS PALSAR, SRTM, предоставляемые USGS и NASA.

Идентификация отдельных категорий земель осуществлялась с использованием таких ресурсов как Федеральная государственная информационная система территориального планирования (https://fgistp.economy.gov.ru/), Публичная кадастровая карта (https://pkk.rosreestr.ru/), а также вышеупомянутые карты и космоснимки.

Источниковой базой исследования служили официальные данные и отчеты региональных министерств и ведомств Ставропольского края, фондовые и архивные материалы, в т.ч. Фонды ГБУК «Ставропольский государственный историко-культурный и природно-ландшафтный музей-заповедник имени Г.Н. Прозрителева и Г.К. Праве», Государственного архива Ставропольского края.

Уровень антропогенной трансформации территорий оценивался на основании коэффициента экологической стабильности ландшафта по методике Б.И. Кочурова [36]. Особенности определения вероятностного пояса меандрирования и методика построения полей стариц даны в тексте раздела «Полученные результаты и их обсуждение».

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для бассейна р. Кумы, расположенного на территории Предкавказья, характерны следующие общие особенности эволюции, отраженные в работе В.А. Шальнева [37]. Исследователь отмечает, что ряд трансгрессий и регрессий Каспийского бассейна на фоне тектонических процессов Большого Кавказа в четвертичный и более ранние периоды существенно повлиял на особенности рельефа юго-восточной части Ставропольского свода, а это в т.ч. территории среднего течения Кумы и ее притоков. К Терско-Кумскому прогибу были приурочены наиболее интенсивные погружения впадин Предкавказья. В период регрессионных стадий хвалынского бассейна, сопровождавшихся существенной трансформацией осушившейся территории под воздействием эрозионных процессов, закладывались песчаные массивы – дельтовые отложения рек, наряду с равнинными супесчаными участками и суглинистыми впадинами. Таким образом, Ачикулакско-Бажиганский массив – древняя дельта р. Кумы и р. Горькой балки, а

Кумский представляет собой результат изменения течения р. Кумы после сокращения хвалынского бассейна. Для этого периода характерно установление умеренного, но сухого климата. При этом в рельефе шло формирование лессовых и аллювиально-лессовых равнин.

Состояние территорий Центрального Предкавказья в период нашей эры по данным Л.И. Лаврова [38] определенным образом связано с антропогенным воздействием разного уровня. От преобладания охоты и собирательства в начале неолита, до пастушеского скотоводства начала I тысячелетия до н.э., ставшего главным занятием населения, существенных воздействий на природные экосистемы не происходило.

Давление на природную среду стало усиливаться в VII в. до н.э. с началом развития кочевого скотоводства в скифско-сарматский период и развитием пахотного земледелия по берегам рек. Ситуация с экологическим состоянием природно-территориальных комплексов (ПТК) и в первую очередь для лесопокрытых и степных территорий усугубляется и совпадает по времени с началом цивилизационного присутствия России в этом регионе.

Территориальный вектор цивилизационного развития и заселения Центрального Предкавказья в XVIII – XIX вв. для России был исторически связан с речными долинами, главным образом рр. Кубань, Терек и Кумы. Помимо приоритетных военно-политических и торговых целей, это обуславливалось благоприятными природно-климатическими условиями таких территорий для ведения традиционного зернового хозяйства. Важнейшим фактором при этом являлась круглогодичная доступность пресной воды.

На примере р. Кумы показано, что на территории ее долины уже к концу XIX в. сформировалась развитая сеть поселений с населением около 130 000 человек. Расстояние между населенными пунктами составляло в среднем 15 км, обуславливая транспортную коммуникационную доступность и относительно высокую плотность населения – 500 человек на 1 км реки. Для сравнения, на современном этапе население исследуемой территории составляет порядка 180000, при плотности 681 человек на 1 км реки.

Главными занятиями первопоселенцев долины р. Кумы в основном из Воронежской, Курской, Орловской, Черниговской и Харьковской губерний России являлись растениеводство и скотоводство, что было обусловлено как высоким спросом на сельскохозяйственную продукцию, являвшимся результатом дислокации в регионе большого количества войск, так и комфортностью природно-климатических условий, в т.ч. продолжительным вегетационным периодом, наличием плодородных разновидностей каштановых почв, нелимитированным доступом к пресной воде, достаточным для нужд населения количеством пойменных лесов.

В то же время расселение значительно ограничивалось негативным действием засух, вредителей, болезней, набегов горцев и разбойников, разливами реки, нередко причинявшими колоссальный ущерб.

Современное состояние ПТК обследованных территорий р. Кумы уместно рассмотреть на примере характеристики Левокумского природно-культурного ландшафта [37; 39]. Анализируемые в настоящей работе территории относятся преимущественно к Левокумскому природно-культурному ландшафту, занимающему юго-восточные склоны Ставропольской возвышенности в среднем течении левобережной части р. Кумы. В данный ландшафт включены значительные территории Арзгирского и Буденновского районов, а также, в меньшей степени, Левокумского и Советского. Коэффициент антропогенных нарушений достаточно высок – 0,8. Распаханность территории анализируемого ландшафта колеблется от 60% на северо-востоке до 80% на юго-западе.

Климат ландшафта сухой, континентальный с жарким летом (июль 24,3–24,7°С) и прохладной зимой (январь – 4,5°С). Среднегодовое количестве осадков 350–365 мм, испаряемость – 800–950 мм, при этом максимум испаряемости приходится на июль–август (150–220 мм).

Важнейшей ландшафтной особенностью являются замена природных растительных компонентов культурными и изменения круговорота воды в летне-весенний период. В строении территории преобладают мощные толщи делювиальных верхнечетвертичных суглинков, а водоразделы заняты эолово-делювиальными суглинками. К долинам рек приурочены аллювиальные отложения. Рельеф представлен в основном низкими равнинами с долинно-балочным расчленениями. Суффозионные формы рельефа преобладают на водораздельных пространствах. Днища речных долин хорошо разработаны со слабо расчлененными верхнечетвертичными террасами. Пойма р. Кумы в среднем и нижнем течении занимает восточные районы ландшафта. Абсолютные высоты изменяются от 250 м на западе до 100 м на востоке.

Густая речная сеть территории представлена р. Кумой с ее левыми притоками: Сухой Карамык, Мокрый Карамык, Томузловка, Мокрая Буйвола. Наиболее полноводным является среднее течение р. Кумы. Средний расход воды у г. Зеленокумска составляет 19,8 $м^3/с$, у г. Буденновска – 15,5 $м^3/с$, а у с. Владимировки – 9,8 $м^3/с$. Годовой сток в районе г. Буденновска составляет 0,3 $км^3$. В период с марта по июнь отмечается максимальный сток. Минимальный приходится на осенне-зимний период. Модуль стока незначителен и составляет от 0,5 до 1 л/с. Река Кума пополняется водами Большого Ставропольского канала. Созданы два водохранилища – Отказненское на р. Куме и Буйвола на р. Мокрой Буйволе. Запасы водоносных горизонтов, приуроченных к толщам акчагыльского и апшеронского ярусов, небольшие. Минерализация воды слабая (0,5–2,0 г/л).

С позиций оценки бассейновой формирующей деятельности основных водотоков следует отметить, что как на Азово-Кубанской равнине, так и на Терско-Кумском междуречье глубина местных базисов эрозии колеблется от 10 до 50 м и уменьшается в западном и восточном направлениях от Ставропольского сводового поднятия, современные тектонические движения здесь имеют характер медленных опусканий, поэтому развития эрозионной сети не происходит, а преобладают процессы аккумуляции [40]. Данное обстоятельство представляется достаточно важным для понимания генезиса региональной руслообразовательной деятельности.

Значительные площади в пойме р. Кумы заняты пойменными лесами. В настоящее время, как растительность сухих степей, так и поймы р. Кумы заменена культурной. На юге преобладают темно-

каштановые почвы, сменяясь к северу на каштановые солонцеватые и светло-каштановые. На днищах долин распространены аллювиальные почвы пойм.

Анализируя по данным официальных Докладов о состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае гидрохимические особенности изученной части бассейна р. Кумы, можно отметить, что вода реки характеризуется присутствием в повышенных количествах меди, нитритов, $БПК_5$. Так, для периода с 2000 по 2019 гг. в створе 2–5 (Отказненское водохранилище) концентрации этих веществ превышали ПДК до 6,5, нитритам – до 5,5, $БПК_5$ – до 3,4, по марганцу загрязнение, например, в 2020 г. достигало 16,9 ПДК, при этом по РД 52.24.643-2002 вода в створе 2–5 характеризовалась как «очень грязная», УКИЗВ = 4,72. Ниже по течению в створе 2–18 (сброс из озера Буйвола в р. Куму) в том же 2020 г. допустимый норматив по марганцу был превышен в 4–7 раз. Согласно РД 52.24.643-2002 вода в озере в створе 2–18 относилась к «3б» классу, «загрязненная», УКИЗВ = 3,12.

Гидролого-морфологическая характеристика равнинной части долины р. Кумы

Река Кума является второй по величине рекой Северного Кавказа. Площадь бассейна 33,5 тысячи квадратного километра, длина реки 802 километра (рис. 1). Кума берет начало ниже зоны оледенения на северных склонах Скалистого хребта, на горе Кумбаши (2100 м над уровнем моря). До станицы Суворовской р. Кума является предгорной рекой с подвижным галечно-песчаным ложем. Далее на территории Минераловодского, Георгиевского, Советского, Буденновского и др. районов она приобретает черты степной равнинной реки.

Ледовые явления на р. Куме начинаются во второй половине декабря, ледостав – в средине января. Максимальная толщина льда зафиксирована у ст. Александрийской 20 января 1950 г. – 0,8 м.

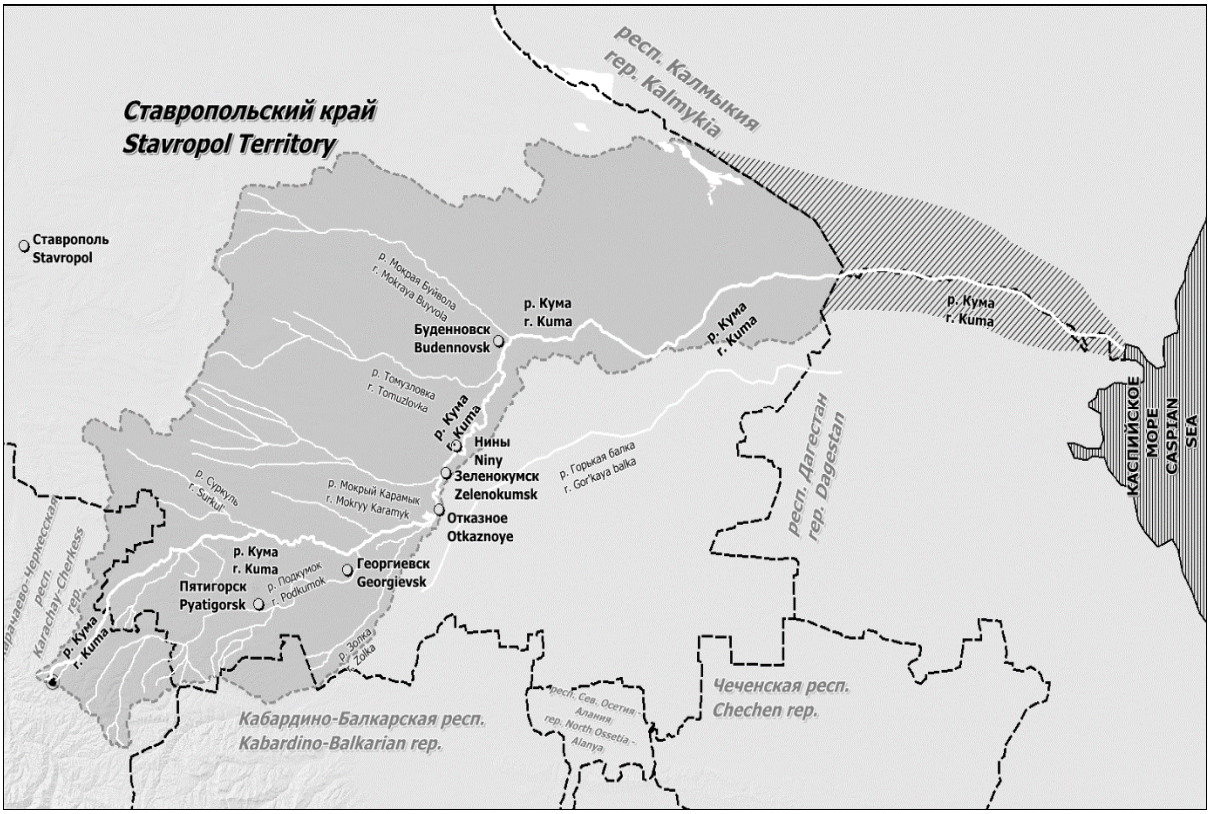


Рисунок 1. Бассейн р. Кумы
Figure 1. Kuma River basin

Река имеет в основном снеговое и дождевое питание. Отсюда происходят особенности водного режима. Снеготаянье в степях приводит к весеннему половодью с продолжительностью в 3–4 месяца. В 1967 году оно длилось 221 день, а в 1971 году – 51 сутки. В это время рекой переносится до 56% годового стока, в некоторое годы эти значения могут повышаться до 85%. Наибольший расход – 192 $м^3/с$ был отмечен в 1970 году у ст-цы Бекешевской [41].

Летнее половодье вызывается обильными дождями предгорий и длится от 5 до 8 месяцев. Наиболее продолжительный паводок зарегистрирован у с. Новозаведенного в 1980 году. Он продолжался с 27 июля по 15 августа. За это время объем стока составил 19,2 млн $м^3$. Рекорд по объему стока отмечен в 1974 году, когда рекой были пронесены 33,7 млн $м^3$. Наибольший расход, составивший 132 $м^3$, отмечался в 1962 году у ст-цы Александрийской.

Воды р. Кумы имеют высокую мутность и несут много взвешенного материала (у с. Новозаведенного в среднем около 670 тысяч тонн в год, у г. Зеленокумска – 100 тысяч тонн, у г. Буденновска – 590 тысяч тонн, у с. Владимировки – 380 тысяч тонн) [41]. Частые разливы и перемещение такого количества взвешенных веществ, несомненно, весьма значимо в формировании высокоплодородных пойменных почв долины реки.

Отмеченный гидрологический режим зачастую сопровождался бедственными паводками и значите-

льными разливами, много раз зафиксированных в различные периоды последних двухсот лет. Историк А.П. Семилуцкий освещает в своей работе для территорий поймы р. Кумы района с. Прасковеи и с. Покойного наводнение 1845 г., автор повествует о том, что в 1851 г. затоплено «…до 80 мельниц, виноградные сады и огороды», а в 1887 г. «…в селе Прасковеи разрушила (ред. вода) до 200 домов… Каждое наводнение приносит крестьянам убытки на сотни тысяч рублей» [42]. О разливах Кумы в 1881 и в 1882 годах повествовал на страницах «Ставропольских губернских ведомостей» известный статист и историк Кавказа И.В. Бентковский, отмечая, что вода не сходила с последних чисел апреля до половины июня.

Исследователь писал о громадном ущербе для населения долины р. Кумы: «Многие жители вынуждены были в каюках или в больших корытах переплывать из двора в двор, и покидать свои дома. Виноградники, очевидно, погибнут, а затопленные саманные дома развалятся. Словом, картины разливов поразительные, опустошения и убытки громадные, положение жителей бедственное...» (цит. по [41]). Существенным фактором регулирования гидрологического режима могло стать Отказненское водохранилище, построенное в 1965 г., при этом проектные и строительные недочеты, а также короткий запланированный период эксплуатации (50 лет) уже к началу двухтысячных в значительной степени уменьшили противопаводкое значение водоема.

Периодические паводки, катастрофические наводнения наблюдались и в последующие периоды, например, в 1978 г. (затоплено 30% площади города Зеленокумска, нанесен значительный экономический ущерб) и в меньшей степени – 2002 г., что подвигло властные структуры на принятие и выполнение специализированных противопаводковых программ [43–45]. На сегодняшний день выполнены существенные объемы работ по спрямлению русла и укреплению берегов.

Регулирование русла р. Кумы не всегда успешно предпринималось и ранее, еще в XIX веке [42; 46]. Искусственная изоляция речных меандр и спрямление русла эффективно проводились уже в шестидесятых годах прошлого века, затем в 2012–2017 и 2020 гг. для целей предотвращение ЧС гидрологического характера и благоустройства города Зеленокумска.

В чем же гидролого-морфологические особенности р. Кумы, во многом обуславливающие геоэкологическое состояние ПТК ее долины, а также успешность и сложность их освоения человеком? Рисунок 2 иллюстрирует изученный равнинный участок территории долины р. Кумы от с. Отказное до г. Буденновска, который представлен вытянутым лентообразным полигоном шириной от 3 до 9 км, имеющим на поперечных профилях ящикообразную форму с небольшими перепадами высот (до 5–15 м) по отношению к нулю днища.

Продольный профиль, представленный на вышеуказанном рисунке, дает представление о характере перепадов уклона реки на различных участках. Для его построения были использованы данные SRTM с пространственным разрешением 30 метров. Линия профиля проведена по руслу реки на участке с. Отказное до г. Будённовск с учетом 2477 точек, из которых с помощью выборки с интервалом в 10 значений, были определены 247 точек. По этим точкам с использованием скользящей средней был построен продольный профиль. Средний уклон составляет 0,4°, перепад высот 80 м (от 168 до 88 м). При этом оказалось, что колебания уклона по профилю незначительны и составляют 0,06–0,11°, что со значительной долей вероятности свидетельствует о сходности русловых процессов на участке с. Отказное до г. Будённовск.

Следует отметить, что при построении поперечных профилей долины реки на графике высот могут быть выделены достаточно крупные вытянутые параллельно границам долины возвышенные образования рельефа дна – гривы или старые прирусловые валы [47], которые могут затруднить выделение границ долины.

Высота таких образований-грив часто равна или меньше высоты, на которой находится бровка коренного склона долины. В отдельных случаях подобные гривы могут даже превышать высоту бровки коренного склона долины. На рисунке 3 показан один из таких случаев (грива А в районе южной окраины г. Зеленокумск).

Наиболее крупное образование из целого ряда фрагментов гривы А имеет площадь 108,3 га, периметр составляет 9796 м, длина – 3180 м, наибольшая ширина – 490 м, наименьшая – 90 м. Общая площадь гривы №1 120,2 га, периметр – 12161 м, длина – 3920 м. При этом наивысшая точка гривы имеет значение 166 м, что почти на метр превышает значение высоты бровки коренного склона долины (165 м) на той же линии профиля (профиль на рис. 3). Дополнительную сложность для исследователя создает современное положение русла реки, которое находится значительно правее гривы. С учетом всех вышеперечисленных факторов подобное образование выглядит на профиле как возможный коренной склон. Именно правый склон гривы при этом может быть неверно идентифицирован исследователем как соответствующий коренной склон долины, а его верхняя точка как элемент бровки коренного склона границы долины.

Верной идентификации подобных образований способствует использование различных ЦМР, которые позволяют с достаточной точностью определить границы гривы. На основе данных ALOS PALSAR, имеющих пространственное разрешение 12,5 м, с помощью инструментария QGIS 3.24.1 и Global Mapper v22.1 нами были построены 3д-модель рельефа и карта высот (грива А на рис. 3), на которых отчетливо видна дискретность гривы, в то время как истинные коренные склоны долины непрерывны. Определять подобные образования можно и с помощью данных SRTM, ASTER GDEM и др., однако следует учитывать, что при меньшем пространственном разрешении точность определения, особенно мелких фрагментов грив будет значительно ниже.

Идентифицировать гриву позволяет и установление местоположения стариц. Русло реки не статично и может перемещаться с течением времени, но только в пределах, ограниченных коренными склонами долины. Обнаружение стариц слева от гривы уже говорит о ее дискретности и изолированности от склона долины. Спутниковые снимки сверхвысокого разрешения позволяют определить местоположение стариц с высокой точностью, на рисунке 3 отчетливо видно, что русло некогда проходило левее гривы (красная стрелка на профиле рис. 3), а значит, грива самостоятельна и не примыкает к склонам долины.

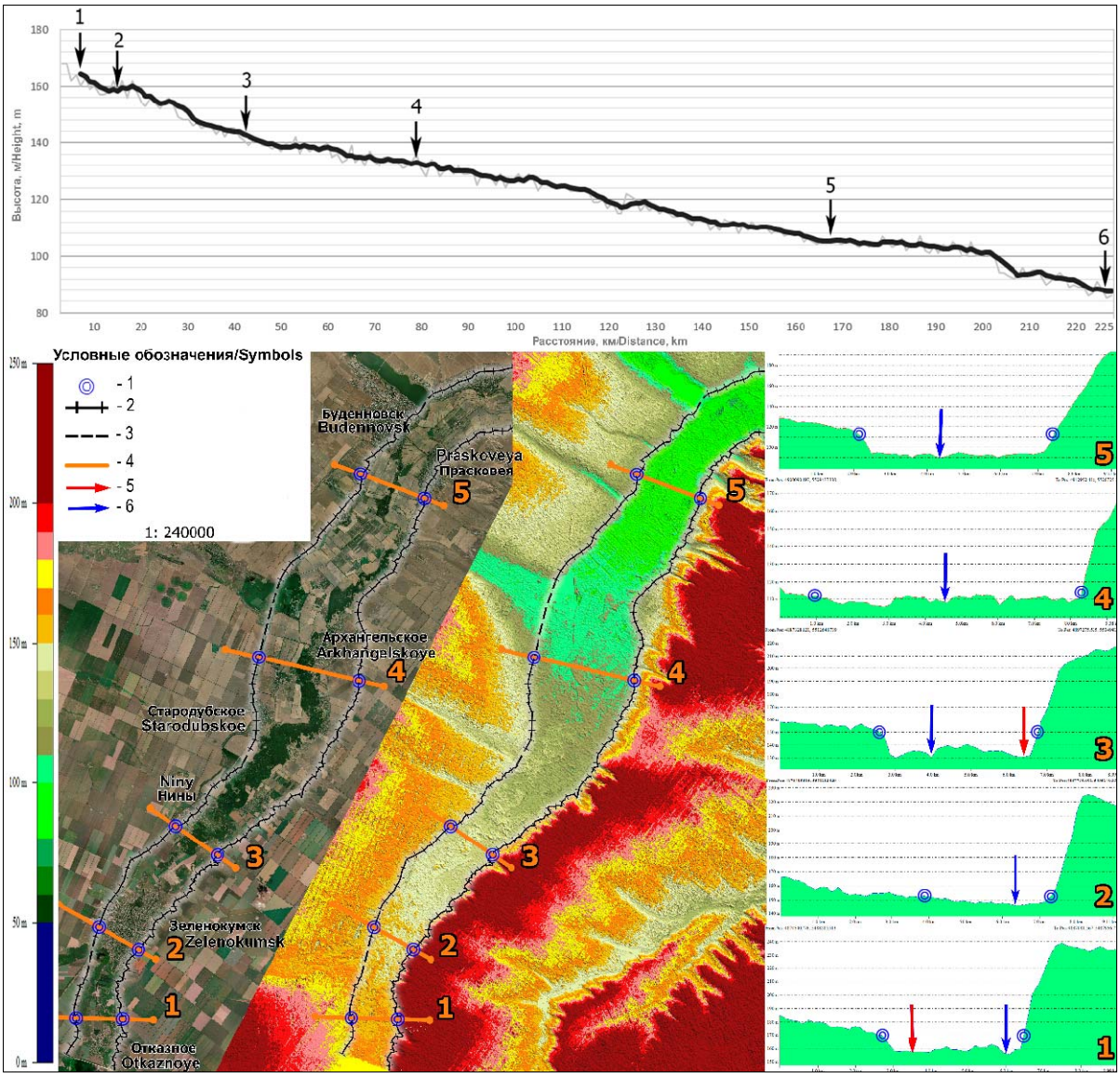


Рисунок 2. Сверху – продольный профиль долины на участке с. Отказное – г. Будённовск: 1 – Отказненское вдхр., 2 – с. Отказное, 3 – г. Зеленокумск, 4 – с. Нины, 5 – с. Архангельское, 6 – г. Буденновск. Снизу – равнинная часть долины р. Кумы от с. Отказное (1) до г. Буденновск (5). Левая часть – долина на подложке из космоснимка, средняя часть – цифровая модель рельефа той же территории по данным SRTM, правая часть – поперечные профили долины

Условные обозначения: 1 – бровка склона долины, 2 – граница долины, 3 – граница долины в районах впадения других водотоков, 4 – линия поперечного профиля, 5 – палеорусло, 6 – современное русло

Figure 2. Above – longitudinal profile of the valley on the site of the Otkaznoye village – Budennovsk: 1 – Otkaznenskoye reservoir, 2 – Otkaznoye village, 3 – Zelenokumsk city, 4 – Niny village, 5 – Arkhangelskoye village, 6 – Budennovsk city. Below – the flat part of the Kuma River valley from Otkaznoye village (1) to Budennovsk city. The left part is a valley on a satellite image substrate, the middle part is a digital relief model of the same territory according to SRTM data, the right part has transverse valley profiles

Symbols: 1 – edge of the valley slope, 2 – border of the valley, 3 – border of the valley in the areas of confluence with other watercourses, 4 – line of the transverse profile, 5 – ancient riverbed, 6 – modern riverbed

Подобные образования не единичны и с некоторой периодичностью встречаются на протяжении всей долины. На рисунке 4 представлен еще один подобный объект в районе с. Нины (грива В в районе с. Нины).

Все фрагменты гривы В образуют некий «архипелаг» (рис. 5). Наибольший из фрагментов гривы В имеет площадь 222,1 га, периметр – 12220 м, длину – 3740 м, наибольшая ширина составляет 1120 м, наименьшая – 40 м. При этом наибольшая высота гривы достигает значений в 154 метра, а низшая точка расположена на высоте порядка 141 метра. Общая площадь всех фрагментов гривы В – 340 га, длина – 9900 м, периметр составляет 20961 м. Высоты, по крайней мере, трех фрагментов гривы в районе с. Нины могут иметь отметки сопоставимые с уровнем высоты бровки долины в этом месте, т.е. 150 м, но дискретность и изолированность фрагментов гривы исключает ее позиционирование как истинного склона и бровки долины. В целом, данная грива В имеет сходные признаки с гривой А.

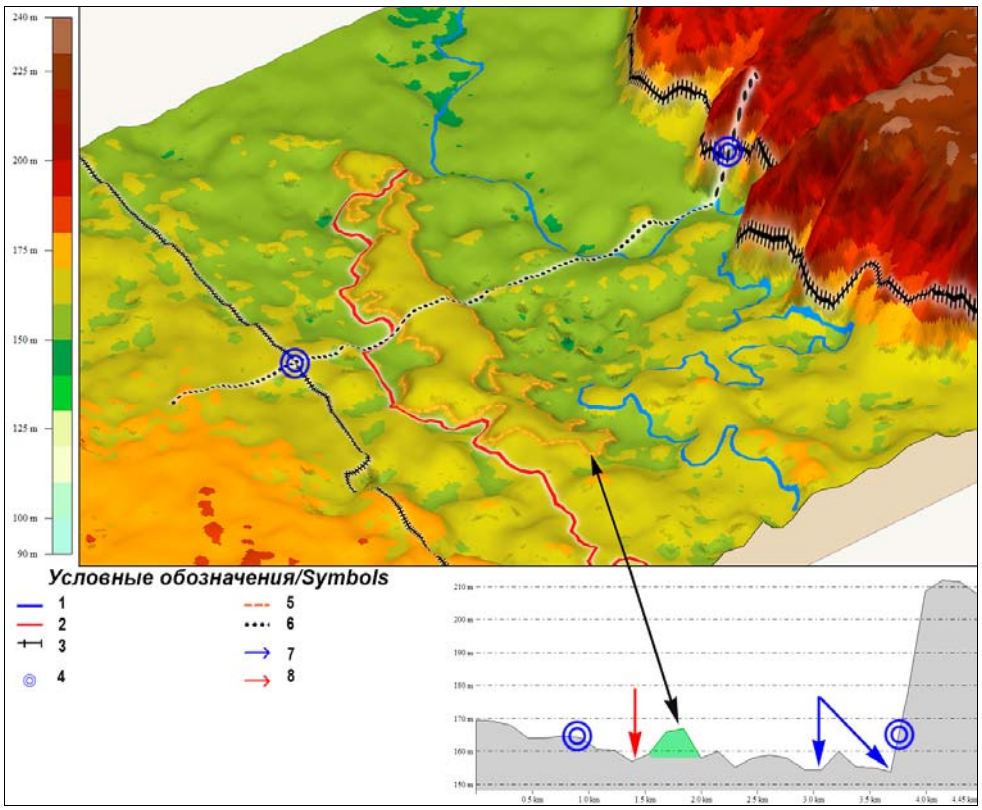


Рисунок 3. Грива А в районе южной окраины г. Зеленокумска для долины р. Кумы
1 – современное русло, 2 – древнее русло, 3 – граница долины, 4 – точка пересечения бровки коренного склона долины с линией профиля, 5 – граница гривы А, 6 – линия профиля, 7 – современное русло на профиле, 8 – древнее русло на профиле
Figure 3. Ridge A in the area of the southern outskirts of Zelenokumsk for the valley of the Kuma River.
1 – modern riverbed, 2 – ancient riverbed, 3 – valley border, 4 – the point of intersection of the edge of the basic slope of the valley with the profile line, 5 – the border of the mane A, 6 – profile line, 7 – modern riverbed on the profile, 8 – ancient riverbed on the profile

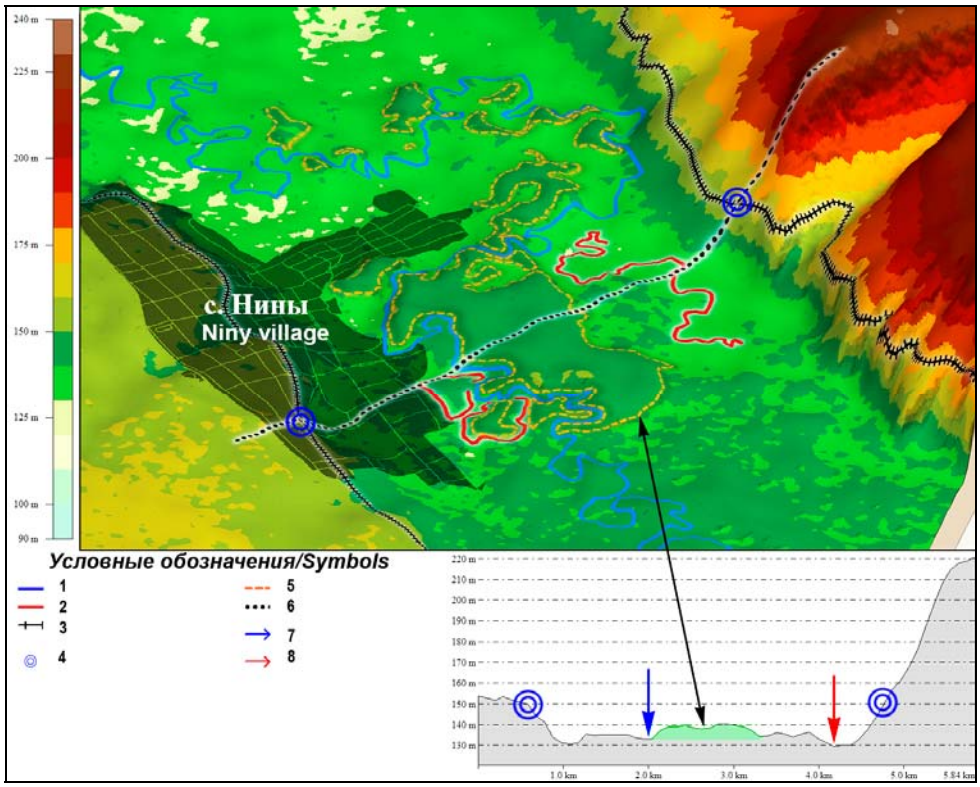


Рисунок 4. Грива В в районе с. Нины для долины р. Кумы
1 – современное русло, 2 – древнее русло, 3 – граница долины, 4 – точка пересечения бровки коренного склона долины с линией профиля, 5 – граница гривы А, 6 – линия профиля, 7 – современное русло на профиле, 8 – древнее русло на профиле
Figure 4. Ridge B in the area of Niny village for the Kuma River valley
1 – modern riverbed, 2 – ancient riverbed, 3 – valley border, 4 – intersection point of the edge of the basic slope of the valley with the profile line, 5 – the border

Ниже приведены обобщенные схемы и характеристики исследуемой гривы А в районе южной окраины г. Зеленокумска и гривы Б в районе с. Нины (рис. 5; табл. 1).

Стоит отметить ту особенность, что в двух представленных случаях гривы заняты древесной растительностью, в то время как прилегающая территория, на которой в прошлом осуществлялась работа русла, лишена таковой. По-видимому, условия возвышенности, лучше подходят для произрастания древесных форм, в то время как в низинах почвенно-грунтовые условия менее благоприятны, что обуславливает здесь наличие в основном травянистой растительности.

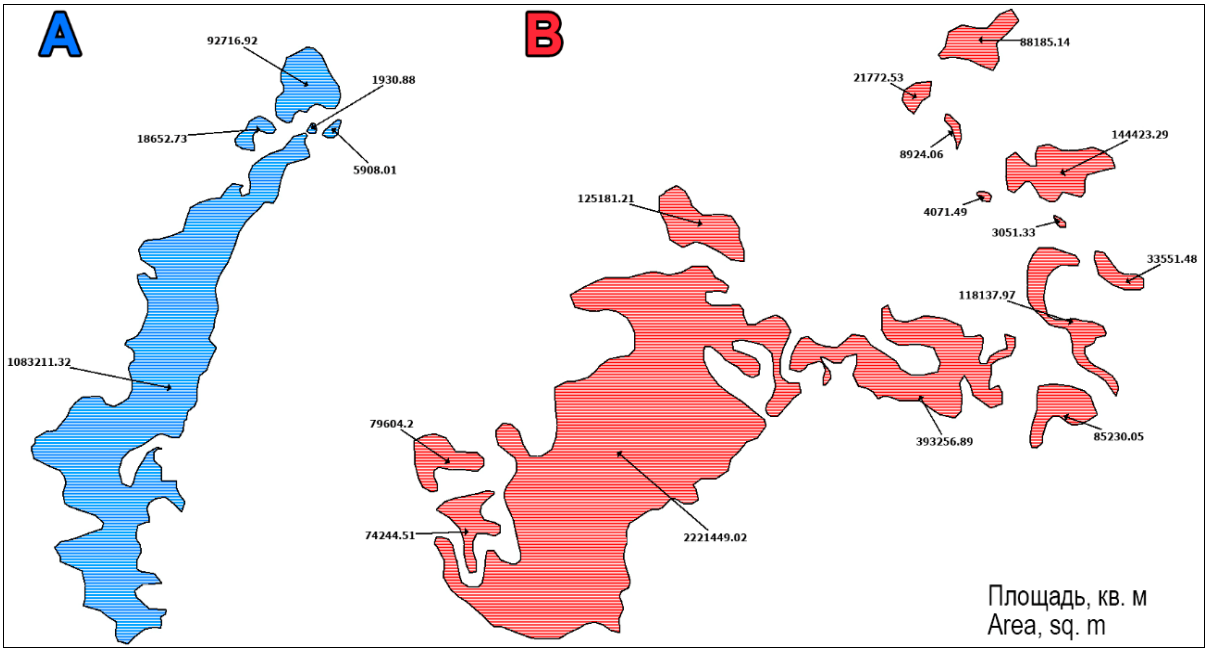


Рисунок 5. Схема грив долины р. Кумы: А – южная окраины г. Зеленокумска; В – с. Нины
Figure 5. Diagram of the ridges of the Kuma river valley: B – southern outskirts of Zelenokumsk; B – Niny village

Таблица 1. Характеристики грив долины р. Кумы (А – южной окраины г. Зеленокумска; В – с. Нины)
Table 1. Characteristics of the ridges of the Kuma River valley (A – southern outskirts of Zelenokumsk; B – Niny village)

	Параметры / Parameters							
№	**Площадь самого крупного фрагмента, га** Area of the largest section, ha	**Периметр самого крупного фрагмента, м** Perimeter of the largest section, m	**Длина самого крупного фрагмента, м** Length of the largest section, m	**Площадь всего, га** Total area, ha	**Периметр всего, м** Total perimeter, m	**Длина всего, м** Total length, m	**Высота макс., м** Height max., m	**Высота мин., м** Height min., m
А A	108,3	9796	3180	120,2	12161	3920	166	162
Б B	222,1	12220	3740	340	20961	9900	154	141

Меандры и старицы, их значение в функционировании ПТК

Русло, меандры и старицы реки занимают видное место в функционировании долинных ПТК. По данным Н.Е. Шевченко и В.Н. Белоуса [48] растительность пойменного леса равнинной части р. Кумы представлена в основном видами *Carpinus caucasica*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Acer campestre*, *Ulmus suberosa*, *Ulmus glabra* и *Fraxinus excelsior*, а также нанофанерофитами родов *Populus* и *Salix*. Лесные ресурсы по берегам р. Кумы в XVIII – XIX вв. с успехом использовались первопоселенцами для нужд строительства и обеспечения топливным материалом, способствовали развитию лозоплетения и торговли плетенными изделиями. Современная лесистость модельного участка долины р. Кумы между с. Отказным и с. Нины составляет 21% (для сравнения, лесистость Ставропольского края не достигает и 2%). Сегодня население использует пойменный лес в основном для рекреации, сбора ягод кизила, боярышника, шиповника, ряда лекарственных трав и грибов.

Современный этап существования пойменного леса р. Кумы связан не столько с утилитарным его значением, сколько со средоформирующими и охранными функциями. В этой связи в министерстве природных ресурсов и экологии Ставропольского края участок пойменного леса по р. Куме между с. Отказное

и г. Зеленокумск в 2008 г. рекомендован к формированию на нем государственного природного заказника «Зеленокумский» площадью 360 га.

В долине р. Кумы расположены старицы (рис. 6), затапливаемые в периоды паводков и половодий, они создают значительное число стаций, пригодных для воспроизводства рыб и нагула их молоди, данное обстоятельство предопределяет важное значение неизолированных или частично изолированных стариц в сохранении биоразнообразия как позвоночных, так и беспозвоночных животных, в т.ч. гидробионтов. Пойменные нерестилища в связи с сезонным заполнением стариц с успехом используют полтора десятка видов рыб фитофилов, в первую очередь, сазан – *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1759, плотва – *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) и серебряный карась – *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758). Основное русло реки, в особенности участки дна с хрящеватым грунтом используют как русловые нерестилища такие виды рыб литофилов как голавль – *Leuciscus cephalus* (Linnaeus, 1758), терский усач – *Barhus ciscaucasicus* Kessler, 1877, терский подуст – *Chondrostoma oxyrhynchum* Kessler, 1877. Полностью изолированные старицы палеорусла р. Кумы исследованного района явились своеобразным рефугиумом для золотого карася – *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758), который к середине прошлого века, не выдерживая конкуренцию с серебряным карасем, практически полностью исчез из водных объектов бассейна р. Кумы, конечно, требуются дополнительные исследования о состоянии данного вида.

В целом характер и особенности меандрирования и старичных образований модельного участка реки от с. Отказного до с. Нины могут быть охарактеризованы следующим образом (табл. 2, рис. 6).

Общая протяженность русла составила 73 км, кратчайшее расстояние между населенными пунктами – 19 км, коэффициент меандрирования для Советского района – 2,66, а для модельного участка – 2,94. Общая протяженность стариц составила 191 км, а их площадь – 361,5 га. Примерно 10% стариц полностью или частично заполнены водой. Территории стариц без воды находятся в различной степени выполаживания и могут зарастать в основном травянистой растительностью, либо использоваться для обустройства селитебных зон, либо как сельскохозяйственные угодья, о чем будет сказано ниже.

Современный этап руслообразовательной деятельности и естественной трансформации меандр в старицы может быть прослежен на примере анализа топографических карт и космических снимков р. Кумы в окрестностях с. Нины (рис. 7).

На фрагменте топографической карты РККА – юг СССР 1:200К (1941 г.) отчетливо выделены два простых меандра (красная стрелка) на юго-восточной окраине с. Нины, их превращение в старицы еще не произошло, карта Генштаба СССР 1:100К L-38-124 (1985 г.) подтверждает, что до 1985 г. оба меандра еще сохраняются. По доступным снимкам Landsat-5 данная территория может быть отслежена с 1984 г. Для удобства восприятия натуральные цвета заменены на комбинацию NIR, SWIR1, Red (B4, B5, B3). Эта комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала позволила четко различить границу между водой и сушей и подчеркнуть скрытые детали, плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона. Анализ снимков позволил идентифицировать, по крайней мере, с 1985 г. (между апрелем 1984-го и маем 1985 гг.), ближайший к селу меандр уже трансформировался в первую старицу, при этом шейка второго меандра сузилась, а с 1997 г. образовался прорыв, который увеличился к 1998 г., и, наконец, в 1999 г. вторая старица также изолировалась.

Современный космоснимок (рис. 8) дополнительно позволяет на качественном уровне определить содержание взвесей в реке анализируемого участка – оно максимально, тогда как в старице, образованной первой, вода практически не содержит нерастворимых примесей, при этом в старице, образованной последней, содержание взвесей носит промежуточный характер. Следует отметить, что в течение примерно полутора десятка лет произошло не только образование двух изолированных стариц, но и спрямление русла. Длина русла реки на отмеченной территории без учета этих двух стариц при этом сократилась примерно с 4000 м до 500 м, т.е. в 8 раз.

Для изученных территорий отмечается и искусственное формирование стариц, которое может быть прослежено на примере простых меандр в г. Зеленокумске (рис. 9).

Старица, отраженная на фигуре 2 представляет собой искусственно изолированный в начале шестидесятых годов меандр. В настоящее время территория не используется, русло старицы переувлажняется сезонно за счет поднятия уровня грунтовых вод и осадков, на территории внутренней части петли старицы за прошедший период сформировалась древесно-кустарниковая растительность (порядка 50% площади), что в связи с расположением в центральной густонаселенной части города открывает хорошие возможности благоустройства и перспективы использования для рекреационных целей. Старица, отраженная на фигуре 1, искусственно сформирована в период 2010–2020 гг. и в настоящее время все еще заполнена водой. На территории внутренней части петли старицы по-прежнему находится спортивный стадион, построенный в шестидесятые года XX века, что также делает эту территорию перспективной для дополнительного благоустройства и использования для рекреационных целей.

Вопросы датировки образования и существования различных форм палеорусел обсуждаются в работе Р.С. Чалова [20], исследователь обращал внимание на проблему точности определения и указывал, что в связи с несовершенством методов ошибка в датировке может составлять 300–500 лет. Применительно к вопросу рассмотрения геоэкологического состояния рассматриваемой нами территории участка долины р. Кумы периода XVIII – XXI вв. определение точных временных интервалов изменения состояний палеорусла представляется маловероятным.

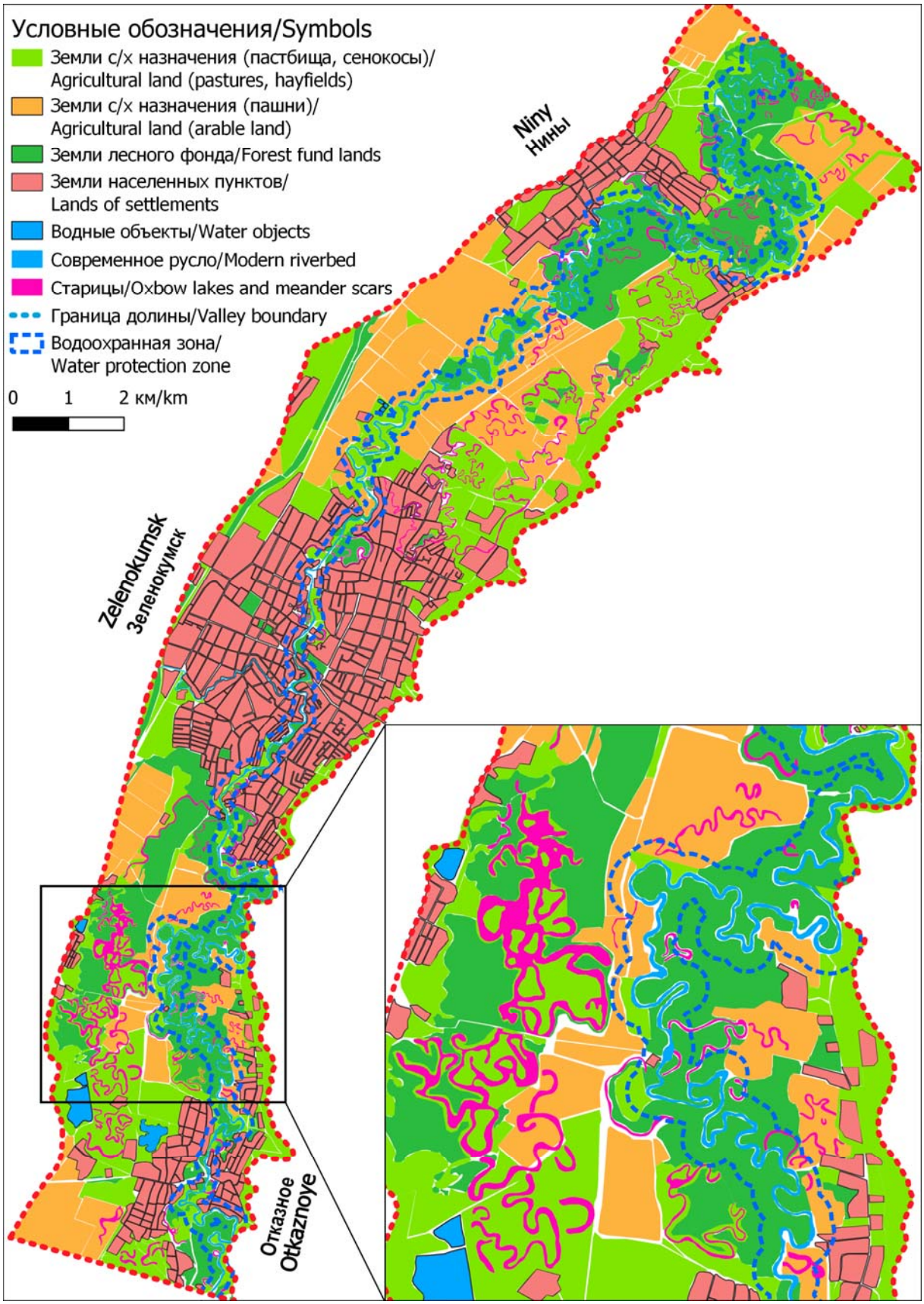


Рисунок 6. Особенности современного землепользования модельного участка долины р. Кумы между с. Отказное и с. Нины

Figure 6. Features of modern land use of the model plot of the Kuma River valley between Otkaznoye village and Niny village

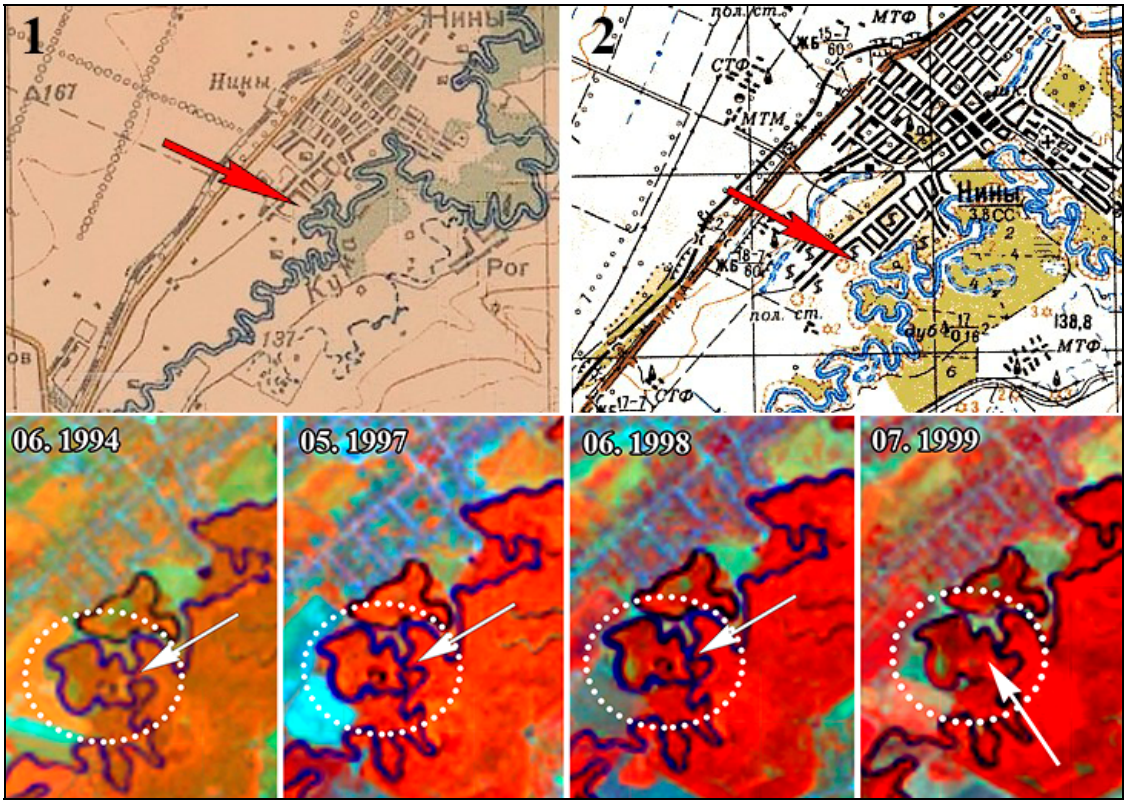


Рисунок 7. Фрагмент топографической карты РККА – юг СССР 1:200К (1941 г.) и карты Генштаба СССР 1:100К L-38-124 (1985 г.), простые меандры до трансформации в старицы обозначены красными стрелками. Снизу участок русла на снимках Landsat 5 с комбинацией каналов NIR, SWIR1, Red, белой стрелкой выделена шейка второго меандра при его трансформации в изолированную старицу

Figure 7. A fragment of the topographic map of the Red Army – South of the USSR 1:200K (1941) and the maps of the General Staff of the USSR 1:100K L-38-124 (1985), simple meanders before transformation into oxbow lakes are indicated by red arrows. From below, a section of the riverbed in Landsat 5 images with a combination of channels NIR and SWIR1. In red, a white arrow highlights the neck of the second meander during its transformation into an isolated oxbow lake

Рисунок 8. Фрагмент современного космического снимка (2022 г.) с изолированными старицами на юго-восточной окраине с. Нины

Figure 8. Section of a modern satellite image (2022) with an isolated oxbow lake on the southeastern outskirts of Niny village

Рисунок 9. Современные и исторически изолированные меандры (старицы) и спрямление русла р. Кумы в г. Зеленокумске и его окрестностях (в левом нижнем углу рисунка примеры искусственно изолированных меандр (1, 2), показаны стрелками). Фигуры 1 и 2 увеличены и наложены на космический снимок для примера
Figure 9. Modern and historically isolated meanders (oxbow lakes and meanders remnants) and straightening of the riverbed of the Kuma River in Zelenokumsk and its surroundings (in the lower left corner of the figure, examples of artificially isolated meanders (1, 2) are shown by arrows). Figures 1 and 2 are enlarged and superimposed on the satellite image as examples

Характеризуя морфологические элементы русла р. Кумы для обследованных территорий, можно выделить наличие простых и сложных меандр, осередков, островов, небольших кос, большое число изолированных полностью или частично стариц. Анализ космоснимков и разномасштабных карт различных периодов позволяет выявить как правило совершенно высохшие и выположенные в различной степени старицы или фрагменты палеоруса, расположенные на удалении до 2–3 км от современного русла р. Кумы как по лево-, так и по правобережью. Изучение крупномасштабных карт и космоснимков фрагментов палеоруса выявило их определенную векторную направленность (рис. 10), что дало нам возможность по выстраиванию структуры и предполагаемого маршрута русла палеоводотока в пределах вероятностного пояса меандрирования (см. ниже по тексту) от с. Отказного до г. Зеленокумска и затем до хутора Рог, далее – до с. Добровольного (расстояние по прямой – 17 км).

Общая протяженность гипотетически «восстановленного» участка палеоруса составила 44,7 км, при этом территория изобилует разновозрастными выположенными старицами, которые включены населением в состав сельскохозяйственных угодий, главным образом пашни под зерновые и пастбища (рис. 6, 10).

Землепользование равнинной части долины р. Кумы и экологические проблемы сельскохозяйственной деятельности

Особенности современной структуры землепользования изученных территорий долины р. Кумы как важнейшая характеристика геоэкологического состояния рассмотрены на примере модельного участка долины р. Кумы между с. Отказное и с. Нины (табл. 2; рис. 6, 10–14).

Земли сельскохозяйственного назначения для анализируемого модельного участка в структуре землепользования долины достигают самой значительной величины – 49%, при этом доли пашни и пастбищ (сенокосов) распределены примерно поровну, велика доля земель лесного фонда – 21% и селитебных территорий – 27%. В водоохранной зоне р. Кумы изученного модельного участка также высока доля земель сельскохозяйственного назначения – 41% и почти половина приходится на земли лесного фонда (45%). Площадь стариц всего модельного участка составила 362 га, при этом они наблюдаются на территории всех категорий земель, являясь неким фактором динамичного ландшафтного расчленения, что с позиций землеустройства, безусловно, усложняет организацию всех видов хозяйственной и иной деятельности. Тем не менее, значительное число выположенных стариц успешно осваиваются и под пашню, и под сенокосы (пастбища) (рис. 11–12).

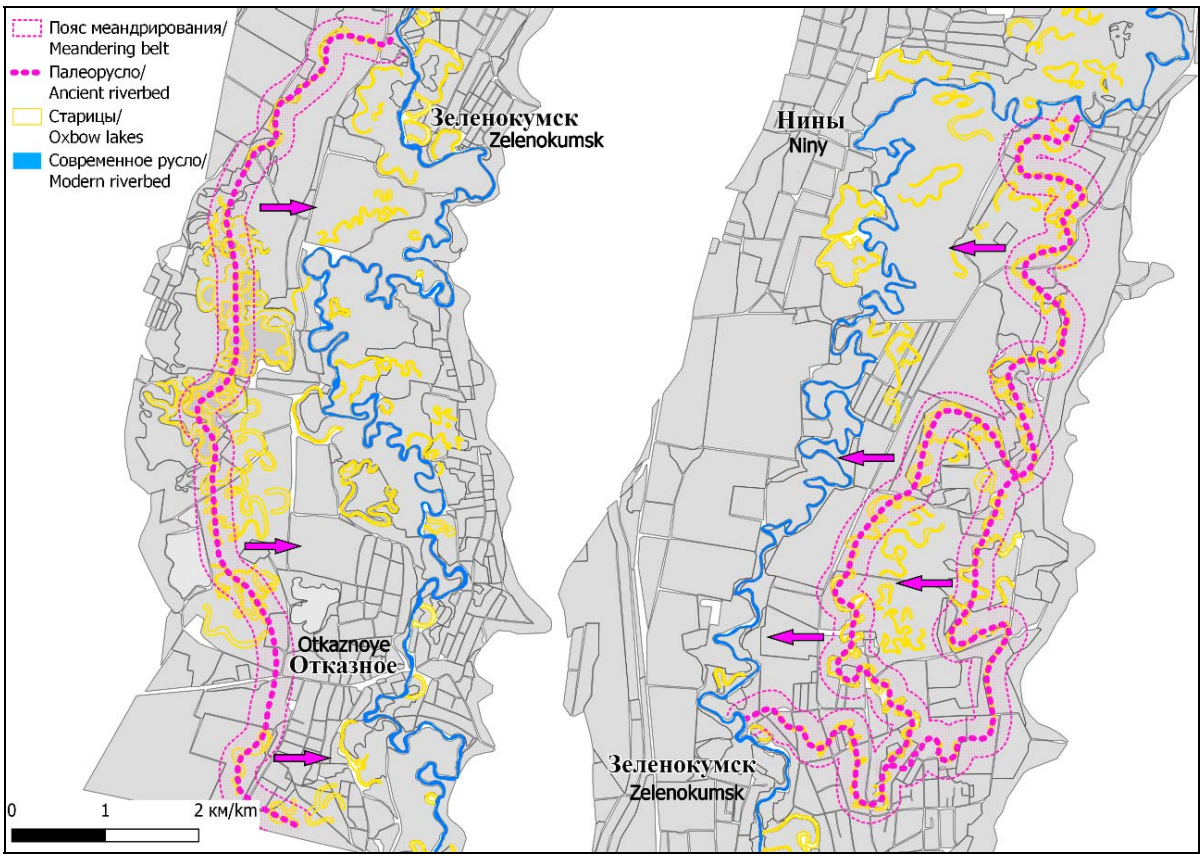


Рисунок 10. Фрагменты долины с предполагаемым маршрутом палеорусла
Figure 10. Section of a valley with the route of a proposed old meander

На рис. 11 (1 и 2) отчетливо видно, что засеянное и обрабатываемое поле подходит на расстояние 10 м к береговой линии, т.е. находится в прибрежной полосе. Данный факт указывает на нарушение ст. 65 ВК РФ и усугубляется тем обстоятельством, что четко различимые на снимке следы технологических проходов сельскохозяйственной техники косвенно свидетельствуют об использовании на данной территории туков и пестицидов.

Фрагмент водоохранной зоны р. Кумы окрестностей с. Нины (рис. 12) иллюстрирует пример высокоинтенсивного сельскохозяйственного использования территории.

На фрагменте сенокос примыкает к опушке леса (правая часть снимка), видны валки недавно скошенной луговой растительности похожие на «паутину». В сухой старице (выделено желтым цветом) наблюдаются валки скошенного тростника (*Phragmítes communis*), произрастающего в русле. Левую часть снимка занимает пашня, выходящая вплотную к руслу р. Кумы.

С нашей точки зрения, особое место в структуре проанализированного землепользования модельного участка долины р. Кумы между с. Отказное и с. Нины занимают территории с наивысшей плотностью размещения стариц, далее именуемые как поля стариц. Для характеристики землепользования территорий преимущественного размещения стариц для модельного участка долины был применен следующий инструментарий. На первом этапе выделение полей стариц проводилось с помощью инструментария QGIS 3.16. Полигон каждой старицы был преобразован в точечные объекты, представляющие собой вершины этого полигона. В результате каждая из вершин полигона старицы стала представлять собой точку, от которой, возможно ожидать гипотетического отклонения старицы или палеорусла на величину, равную радиусу пояса меандрирования в понимании Р.С. Чалова [20]. Таким образом, поля стариц можно охарактеризовать как полигоны, куда входят сами старицы, а также прилегающие территории, ограниченные радиусом пояса меандрирования. Несомненно, поля стариц будут иметь особый режим состояния почво-грунтов и растительности, связанный с уровнем стояния грунтовых вод и возможными подтоплениями при паводках и половодьях. Данные обстоятельства могут существенно ограничивать возможность хозяйственного использования территорий полей стариц, например, для целей капитального строительства.

Одним из основных параметров стариц, позволяющих судить об объемах стока и, в целом, режиме реки в прошлом, является ширина, на что указывал в своих работах Р. С. Чалов [20]. По мнению исследователя палеорусла-старицы представляют богатую информацию для изучения трансформации русел в геологических масштабах времени, происходившей в связи с изменениями гидрологического режима реки. Следовательно, если в конкретном примере старицы имеют значительно большую ширину, чем современное русло, можно говорить о том, что и ширина пояса меандрирования также существенно изменилась. Однако в нашем случае ширина стариц и современного русла в большей степени совпадают, а значит можно предполагать, что и характер меандрирования значительно не изменился. Стоит также отметить и возможную «цикличность» в развитии речных меандр, отмеченную М.М. Гендельманом и И.В. Поповым: – «Через некоторое время в новом русле возможно восстановление русловых деформаций, свойственных

данному участку реки, – оно снова начинает меандрировать. При этом направление развития формирующейся излучины может, как совпадать, так и быть противоположным старому руслу» [49].

Таблица 2. Особенности землепользования модельного участка долины р. Кумы между с. Отказное и с. Нины
Table 2. Features of land use of the modelled section of the Kuma River valley between the village of Otkaznoye and the village of Niny

Категория Category	**Площадь, га** / Area, ha			
	Долина (10380 га) Valley (10380 ha)	**Доля от площади долины, %** Share of valley area, %	**Водоохранная зона (2108 га)** Water protection zone (2108 ha)	**Доля от площади водоохранной зоны, %** Share of area of the water protection zone, %
Земли с/х назначения Agricultural lands	4643,09	48,8	863,05	41
В т.ч. пашни Including arable land	2190,88	23,1	234,9	11,1
Пастбища и сенокосы Pastures and haymaking	2452,21	25,8	628,15	29,8
Земли лесного фонда Forest resource lands	2021,28	21,3	948,16	45
Земли населенных пунктов Lands of settlements	2615,74	27,4	296,36	14
Земли водного фонда Water resource lands	238,64	2,5		
В т.ч. водоемы Including reservoirs	55,64	0,59		
Старицы* Oxbow lakes*	361,5			
В т.ч площадь водной поверхности Including area of the water surface	34,7			
Итого учтено** Total accounted for**	9518,75	2107,57		

***Суммарная длина стариц – 191,1 км, из них с выраженными границами – 149 км и 42,1 км с невыраженными границами. Длина современного русла реки модельного участка – 72,8 км**
*The total length of oxbow lakes is 191.1 km, of which 149 km have pronounced borders and 42.1 km do not have pronounced borders. The length of the modern riverbed of the modeled section is 72.8 km.

****Не учтена дорожная сеть и территории, занятые некоторыми трудно идентифицируемыми старицами, классифицированы 91% площади долины**
**The road network is not taken into account and the territories occupied by some hard-to-identify oxbow lakes are classified as occupying 91% of the valley area.

Рисунок 11. Пример выположенных и включенных в сельскохозяйственную деятельность стариц (показано стрелками) (рис. 1). Следы технологических проходов сельскохозяйственной техники (обозначены стрелками) в прибрежной полосе р. Кумы (рис. 2 – увеличенный фрагмент р. Кумы рис. 1)
Figure 11. An example of meander remants included in agricultural activities (shown by arrows) (Fig. 1). Traces of passages of agricultural machinery (indicated by arrows) in the coastal strip of the Kuma River (Fig. 2 – an enlarged sector of the Kuma River Fig. 1)

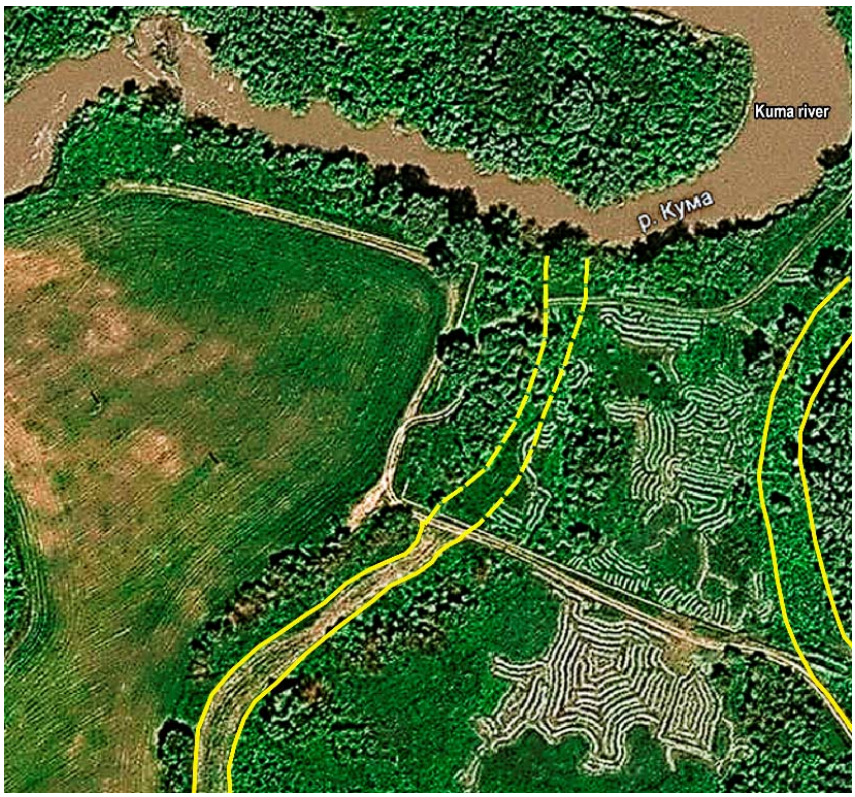


Рисунок 12. Фрагмент водоохранной зоны р. Кумы окрестностей с. Нины (1 км южнее окраины села) (русло старицы выделено желтым)
Figure 12. Sectionof the water-protected zone of the Kuma River in the vicinity of Niny village (1 km south of the outskirts of the village) – the bed of the meander scar is highlighted in yellow

Все это дает основания считать возможным использование среднего радиуса пояса меандрирования современного русла нашего модельного участка в дальнейших расчетах по анализу гидрологических особенностей.

Средний радиус пояса меандрирования для модельного участка равен 195 метров, при этом не учитывался участок в г. Зеленокумске, так как русло здесь значительно спрямлено и может исказить общую картину. В наших расчетах ширина измерялась через каждые 500 метров по оси пояса.

На втором этапе методом оценки плотности ядер точечных объектов (метод тепловых карт в QGIS) были определены области с различной плотностью вершин стариц, однако сама плотность не представляла здесь основного интереса. Инструмент плотность ядер позволил вычислить плотность точечных объектов вокруг каждой ячейки выходного растра.

Концептуально, для каждой точки подбиралась (строилась) сглаженная изогнутая поверхность. Значение поверхности максимально в местоположении точки и уменьшается с увеличением расстояния от точки, достигая нуля на расстоянии, равном заданному радиусу поиска от точки. В нашем случае интерес представляло только использование окрестности в форме круга. В основе функции ядра лежит функция квартетного ядра, описанная B.W. Silverman (стр. 76, уравнение 4.5) [50].

В нашем исследовании важной являлась информация о расстоянии, на котором достигаются значения 0, в нашем случае оно равно радиусу пояса меандрирования (195 м).

Следует также отметить и слабые стороны метода выделения полей стариц с использованием оценки плотностей ядер. Помимо оговоренных проблем с определением ширины пояса меандрирования, существуют также трудности, связанные с выделением самих стариц, так как определение границ полей происходит при участии точек только непосредственно обнаруженных и обозначенных стариц. Еще одним спорным моментом, требующим «ручной» правки, является игнорирование при построении интерполированного слоя особенностей рельефа.

На основе использованного приема были проведены границы полей стариц, внутри которых определена структура землепользования (рис. 14, табл. 3).

В первую очередь следует отметить значительную суммарную долю полей стариц для модельного участка долины р. Кумы между с. Отказное и с. Нины, она составила 39% общей площади. Давая характеристику собственно полей стариц, остановимся подробнее на структуре землепользования занимаемых ими территорий (табл. 3). Оказалось, что на долю земель, используемых как сельскохозяйственные угодья, приходится 50%, второй по значимости категорией являются земли лесного фонда – 29%, третьей – земли населенных пунктов (12%). В этом случае коэффициент экологической стабильности ландшафта (КЭСЛ) полей стариц составил 1,7 [36], что соответствует условно стабильному состоянию и заметно превышает рассчитанный показатель КЭСЛ для всей территории модельного участка (0,8 – состояние нестабильное)

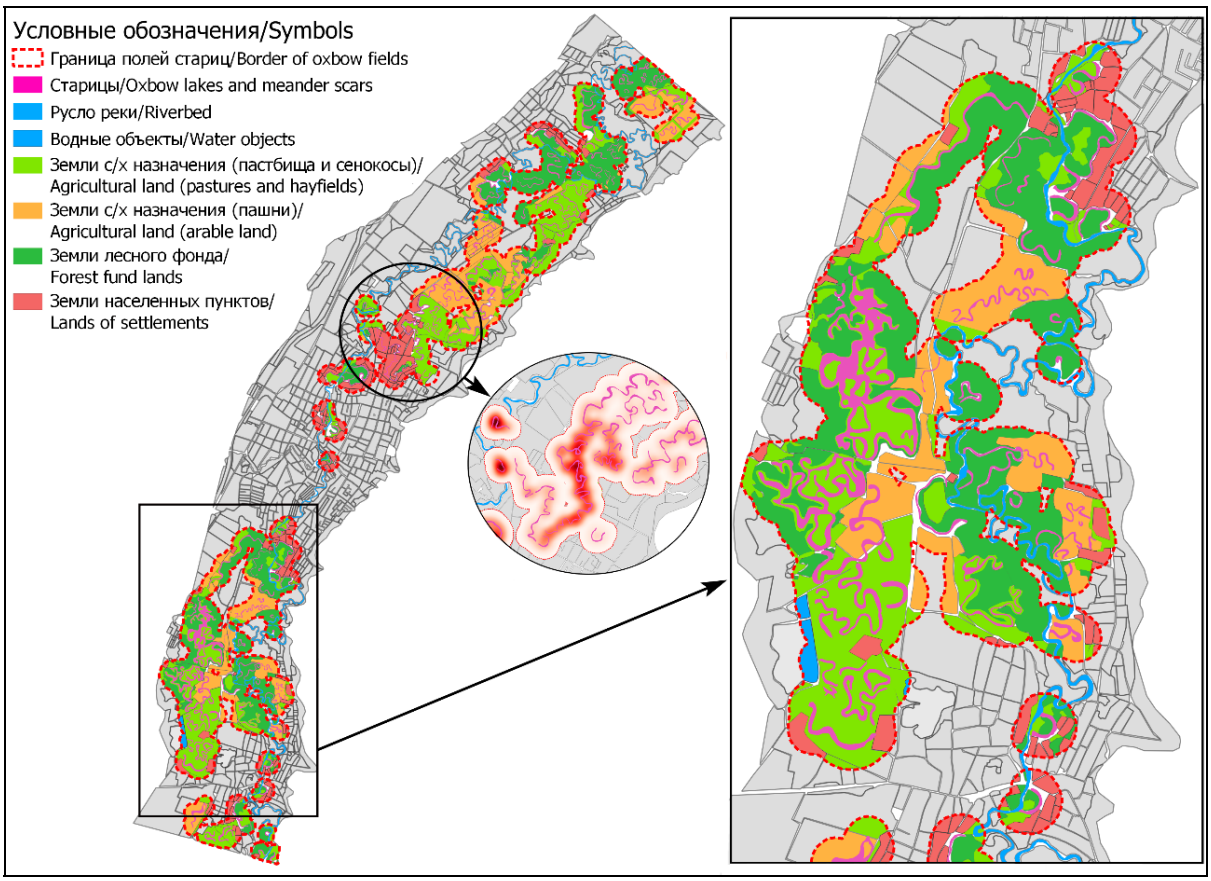


Рисунок 14. Картосхема структуры землепользования в границах полей стариц модельного участка долины р. Кумы между с. Отказным и с. Нины
Figure 14. Cartography of the land use structure within the boundaries of the fields of oxbow lakes of the modelled section of the Kuma River valley between Otkaznoye village and Niny village

Таблица 3. Структура землепользования для полей стариц модельного участка долины р. Кумы между с. Отказным и с. Нины
Table 3. The structure of land use for the fields of oxbow lakes of the modelled section of the Kuma River valley between Otkaznoye village and Niny village

Структура землепользования для полей стариц, га The structure of land use for fields of oxbow lakes, ha		
Площадь полей стариц, всего (доля от площади всего модельного участка, %) The area of oxbow lakes fields, total (percentage of the area of the entire modelled plot, %)	**4016 (39% от 10380 га)** 4016 (39% of 10380 ha)	**100%** 100%
Земли населенных пунктов / Lands of settlements	472	12%
Земли лесного фонда / Forest resource lands	1173	29%
Пашни / Arable land	768	19%
Пастбища и сенокосы / Pastures and haymaking	1256	31%
Водоемы / Reservoirs	88	2%
Иное / Other	264	7%
Всего учтено / Total accounted for	3758	93%

Таким образом, земельный фонд полей стариц весьма высокоэффективно используется в хозяйственных и селитебных целях, при этом значимым средорегулирующим фактором выступает пойменный лес. При организации использования земельного фонда полей стариц, составляющих весомую часть речной долины, могут возникать некоторые сложности и проблемы, например, сельскохозяйственная деятельность в водоохранных зонах и прибрежных полосах, режимы ограничения и запретов для планируемых ООПТ, ограничения капитального строительства и т.д., которые обязательно следует учитывать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе на примере равнинной части реки Кумы для периода XVIII – XXI вв. проанализированы геоэкологические особенности долинных ПТК, развитие которых во многом детерминировано меандровой и старичной компонентами. На протяжении последних двухсот лет показано значение подобных территорий для поселенческих целей, охарактеризованы сопутствующие факторы природного и антропогенного

генезиса, влияющие на хозяйственную деятельность. Установлено, что на современном этапе меандрирование продолжает оставаться одним из важных условий реализации землепользования, в первую очередь, в части сельскохозяйственных земель и селитебных территорий. Выявлено, что пояс меандрирования и поля стариц, доля площади которых для долинных ПТК изученных модельных территорий р. Кумы достигает 46%, создают особые средоформирующие условия функционирования стабилизирующих компонентов ландшафта, в первую очередь пойменного леса как интегрального базового фактора сохранения регионального биоразнообразия. Рекомендовано при организации устойчивого использования земельного фонда речных долин для целей территориального планирования учитывать региональные особенности размещения меандр и стариц при капитальном строительстве, рекреационном благоустройстве, регламентации сельскохозяйственной и иной деятельности в водоохранных зонах, прибрежных полосах и прочих зонах с особыми условиями использования территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вигасин А.А., Дандамаев М.А., Крюков М.В. и др. История Древнего Востока: Учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. «История». 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2003. 462 с.
2. Краснов А.Н. 1895-1899. Основы землеведения. Вып. 3. Формы поверхности суши и деятели, их создаваемые. Харьков: типография А. Дарре, 1897. 232 с.
3. Алтунин С.Т. Регулирование русел. М.: Сельхозиздат, 1962. 352 с.
4. Андреев О.В., Ярославцев И.А. Русловые деформации на участках рек с мостовыми переходами // Русловые процессы. Сб. статей. М.: Изд-во АН СССР. 1958. С. 352–372.
5. Белый Б.В., Иванов В.В., Никитина Л.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Морфология и динамика русла нижнего течения Вычегды в период активных дноуглубительных работ и после их прекращения // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М.: МГУ, 2001. С. 146–183.
6. Гринберг З.И. О морфометрических характеристиках рек // Метеорология и гидрология. 1950. N 4. С. 43–48.
7. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мухарамова С.С., Харченко С.В., Веденеева Е.А. Картографическая модель речных бассейнов Европейской России // География и природные ресурсы. 2017. N 2. С. 27–36.
8. Караушев А.В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 416 с.
9. Кондратьев Н.Е., Ляпин А.М., Попов И.В., Пиньковский С.И., Федоров Н.Н., Якунин И.И. Русловой процесс. Л.: Гидрометеоиздат, 1959. 371 с.
10. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снищенко Б.Ф. Основы гидро-морфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 272 с.
11. Матвеев Б.В. Морфология и геолого-геоморфологические факторы развития врезанных и свободных излучин. Автореф. дисс... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1985. 21 с.
12. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 355 с.
13. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
14. Матвеев Б.В. Процесс меандрирования и развитие речных долин // Геоморфология. 1988. N 1. С. 48–64.
15. Попов И.В. О формах перемещения речных излучин // Труды ГГИ. 1956. Вып. 56 (110). С. 36–57.
16. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел // Проблемы регулирования речного стока. Вып. 1. М.-Л.: АН СССР, 1947. С. 88–130.
17. Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н. Гидроморфометрическая характеристика горных рек. Фрунзе: Кыргызстан, 1968. 204 с.
18. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
19. Чалов Р.С. Историческое и палеорусловедение: предмет, методы исследований и роль в изучении рельефа // Геоморфология. 1996. N 4. С. 13–18.
20. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. Научный редактор Р.С. Чалов. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
21. Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: МГУ, 2000. 214 с.
22. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Основные подходы к изучению изменений режима стока и их геоморфологических следствий // Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань: ГранДан, 1996. С. 9–28.
23. Перевощиков А.А., Петухова Л.Н. История освоения территории Удмуртии и его влияние на динамику русловых процессов // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2003. Вып. S. С. 61–70.
24. Перевощиков А.А. Изменения в морфологии речных долин Удмуртии за период активной хозяйственной деятельности // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2010. Вып. 1. С. 97–99.
25. Новосельцева А.П. Эколого-гидрохимическая оценка состояния малых рек Ставропольского плато. Автореферат дисс. на соискание уч. степ. к.г.н. Ставрополь, 2002. 24 с.
26. Доронина М.А. История изучения и освоения долины реки Ташлы (г. Ставрополь). // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2012. Т. 21. N 3. С. 5–16.
27. Каторгин И.Ю., Шкарлет К.Ю., Седых Р.Ю. Геоинформационный анализ экологической стабильности бассейна реки Ташла // Наука. Инновации. Технологии. 2015. N 3. С. 97–108.
28. Smith L.C., Isacks B.L., Bloom A.L., Murray B.A. Estimation of discharge from three braided rivers using synthetic aperture radar satellite imagery: potential application to ungauged basins // Water Res. Res. 1996. V. 32. N 7. P. 2021–2034.
29. Szilagyi J., Parlange M.B. A geomorphology-based semi-distributed watershed model // Adv. Water Resour. 1999. V. 23. N 2. P. 177–187.
30. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: ООО «Крона», 2009. 684 с.
31. Tucker G.E., Hancock G.R. Modelling landscape evolution. Earth Surf. Processes Landforms. 2010. V. 35. N 1. P. 28–50.
32. Кащавцева А.Ю., Шипулин В.Д. Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3. // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». 2011. Т. 24 (63). N 3. С. 85–92.
33. Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Маринина О.А. Геоморфологическая асимметрия разнопорядковых речных бассейнов (на примере Белгородской области) // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки. 2018. Т. 160. Кн. 3. С. 500–513.
34. Василевский П.Ю. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод в аридных условиях при антропогенном изменении поверхностного стока (на примере нижнего течения реки Хэйхэ). Автореферат дисс. на соискание уч. степ. кандидата геолого-минералогических наук. М., 2021. 23 с.

35. Чалов С. Р. Речные наносы в эрозионно-русловых системах. Автореферат дисс. на соискание уч. степ. докт. геогр. наук. (25.00.27). М., 2021. 50 с.
36. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.–Смоленск: Маджента, 2003. 381 с.
37. Шальнев В.А. Ландшафты Северного Кавказа: эволюция и современность. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2004. 265 с.
38. Лавров Л.И. Развитие земледелия на северо-западном Кавказе с древнейших времен до середины XVIII в.: Материалы по истории земледелия. М.: Изд. АН СССР, 1952. С. 179–225.
39. Шальнев В.А., Лиховид А.А., Фоминов А.А. и др. Современные ландшафты Ставропольского края. Науч. ред. Ю.П. Хрусталев. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2002. 227 с.
40. Маслов Н.Н. Инженерная геология. М.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1971. 346 с.
41. Блохин Н.Ф., Блохина Т.И. Водные ресурсы Ставрополья. Ставрополь: Департамент «Ставропольскрайводхоз», 2001. 288 с.
42. Семилуцкий А.П. Село Покойное Ставропольской губернии, Новогригорьевского уезда // Сборник материалов для описания местностей и племен Кавказа. Вып. 23. Тифлис: Типография К.П. Козловского, 1897. Отд. II. С. 253–356.
43. Концепция развития и Генеральный план города Зеленокумска Ставропольского края (пояснительная записка). ОАО «Научно-исследовательский и проектный институт по разработке генеральных планов и проектов застройки городов» ОАО «НИИПГрадостроительства», 2007.
44. Программа «Берегоукрепительные и регуляционные работы по руслу реки Кумы в пределах г. Зеленокумска на 2010–2012 годы». URL: https://base.garant.ru/26111831/#block_1000 (дата обращения: 23.06.2022)
45. Программа «Берегоукрепление р. Кумы в районе ул. Площадь Ленина в г. Зеленокумске Ставропольского края». 2017 г. URL: http://sksspn.ru/story (дата обращения: 23.06.2022)
46. Твалчрелидзе А. Ставропольская губерния в статистическом, географическом, историческом и сельскохозяйственном отношениях. Ставрополь: типография М.Н. Корицкого, 1897. 743 с.
47. Рычагов Г.И. Общая геоморфология: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МГУ, 2006. 416 с.
48. Шевченко Н.Е., Белоус В.Н. Биоморфологический анализ флоры пойменных лесов среднего течения реки Кумы (Ставропольский край) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Материалы 7 международной научно-практической конференции. Барнаул, 2008. С. 17–18.
49. Гендельман М.М., Попов И.В. О развитии спрямлений речных русел // Труды ГГИ. 1987. Вып. 307. С. 3–16.
50. Silverman B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. CRC Press, 1986. V. 26.

REFERENCES

1. Vigasin A.A., Dandamaev M.A., Kryukov M.V. et al. *Istoriya Drevnego Vostoka: Ucheb. dlya stud. vuzov, obuchayushchihsya po spec. «Istoriya»* [The History of the Ancient East: Manual for university students studying in History specialty]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 3rd ed., revised and enlarged. 2003, 462 p. (In Russian)
2. Krasnov A.N., *Osnovy zemlevedeniya. Formy poverhnosti sushi i deyateli, ih sozdavaemye* [Fundamentals of Earth Science. Land surface forms and figures created by them]. Kharkiv, A. Darre Publ., 1897, iss. 3, 232 p. (In Russian)
3. Altunin S.T. *Regulirovanie rusel* [Regulation of the Riverbed]. Moscow, Selkhozizdat Publ., 1962, 352 p. (In Russian)
4. Andreev O.V., Yaroslavtsev I.A. Channel deformations on river sections with bridge crossings. In: *Ruslovye processy* [Channel Processes]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1958, pp. 352–372. (In Russian)
5. Bely B.V., Ivanov V.V., Nikitina L.N., Chalov R.S., Chernov A.V. Morphology and dynamics of the channel of the Vychegda lower course during active dredging and after their termination. *Eroziya pochv i ruslovye processy* [Soil Erosion and Riverbed Processes]. Moscow, MSU Publ., 2001, vol. 13, pp. 146–183. (In Russian)
6. Grinberg Z.I. On morphometric characteristics of rivers. Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and Hydrology]. 1950, no. 4, pp. 43–48. (In Russian)
7. Ermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S., Kharchenko S.V., Vedeneeva E.A. Cartographic model of river basins in European Russia. Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources]. 2017, no. 2, pp. 27–36. (In Russian)
8. Karaushev A.V. *Rechnaya gidravlika* [River Hydraulics]. Leningrad, Gydrometeoizdat Publ., 1975, 416 p. (In Russian)
9. Kondratiev N.E., Lyapin A.M., Popov I.V., Pinkovsky S.I., Fedorov N.N., Yakunin I.I. *Ruslovoi protsess* [Riverbed Process]. Leningrad, Gydrometeoizdat Publ., 1959, 371 p. (In Russian)
10. Kondratiev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. *Osnovy gidro-morfologicheskoi teorii ruslovogo protsessa* [Fundamentals of the Hydro-Morphological Theory of the Channel Process]. Leningrad, Gydrometeoizdat Publ., 1982, 272 p. (In Russian)
11. Matveev B.V. *Morfologiya i geologo-geomorfologicheskie faktory razvitiya vrezannykh i svobodnykh izluchin. Avtoref. dis. kand. geogr. nauk* [Morphology and geological and geomorphological factors of the development of embedded and free bends. Abstract dis. cand. geogr. sciences]. Moscow, MSU Publ., 1985, 21 p. (In Russian)
12. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* [Riverbed and Erosion in its Basin]. Moscow, Moscow University Publ., 2003, 355 p. (In Russian)
13. Makkaveev N.I., Chalov R.S. *Ruslovye protsessy* [Riverbed Processes]. Moscow, Moscow State University Publ., 1986, 264 p. (In Russian)
14. Matveev B.V. The process of meandering and the development of river valleys. Geomorfologiya [Geomorphology]. 1988, no. 1, pp. 48–64. (In Russian)
15. Popov I.V. On the forms of river bends movement. In: *Trudy GGI* [Proceedings of State Hydrological Institute]. 1956, iss. 56 (110), pp. 36–57. (In Russian)
16. Rossinsky K.I., Kuzmin I.A. Some issues of the applied theory of riverbed formation. *Problemy regulirovaniya rechnogo stoka* [Issues of River Flow Regulation]. Moscow-Leninrgad, USSR Academy of Sciences Publ., 1947, iss. 1, pp. 88–130. (In Russian)
17. Talmaza V.F., Kroshkin A.N. *Gidromorfometricheskaya harakteristika gornyh rek* [Hydromorphometric Characteristics of Mountain Rivers]. Frunze, Kyrgyzstan, 1968, 204 p. (In Russian)
18. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. Ruslovye processy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnyh rusel* [Russian Studies: Theory, Geography, Practice. Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms of Manifestation and Conditions of Riverbeds Formation]. Moscow, LKI Publ., 2008, vol. 1, 608 p. (In Russian)
19. Chalov R.S. Historical and paleorusology: subject, research methods and role in the study of relief. Geomorfologiya [Geomorphology]. 1996, no. 4, pp. 13–18. (In Russian)
20. Chalov R.S., Zavadsky A.S., Panin A.V. *Rechnye izluchiny* [River bends]. Moscow, MSU Publ., 2004, 371 p. (In Russian)
21. Chalov R.S., Liu Shuguang, Alekseevsky N.I. *Stok nanosov i ruslovye processy na bol'shih rekah Rossii i Kitaya* [Sediment Runoff and Channel Processes on Large Rivers of Russia and China]. Moscow, MSU Publ., 2000, 214 p. (In Russian)
22. Dedkov A.P., Mozzherin V.I. Basic approaches to the study of changes in the flow regime and their geomorphological consequences. *Prichiny i mekhanizm peresyhaniya malyh rek* [Causes and mechanism of drying up of small rivers]. Kazan, GranDan Publ., 1996, pp. 9–28. (In Russian)

23. Perevoshchikov A.A., Petukhova L.N. History of the development of Udmurtia territory and its influence on the dynamics of riverbed processes. Vestn. Udm. un-ta. Ser. Nauki o Zemle [Bulletin of the Udmurt University. Earth Science Series]. 2003, iss. S, pp. 61–70. (In Russian)
24. Perevoshchikov A.A. Changes in the morphology of Udmurtia river valleys during the period of active economic activity. Vestn. Udm. un-ta. Ser. Nauki o Zemle [Bulletin of the Udmurt University. Earth Science Series]. 2010, iss. 1, pp. 97–99. (In Russian)
25. Novoseltseva A.P. *Ekologo-gidrokhimicheskaya otsenka sostoyaniya malykh rek Stavropol'skogo plato. Avtoref. dis. kand. geogr. nauk* [Ecological and hydrochemical assessment of the state of small rivers in Stavropol plateau. Abstract dis. cand. geogr. sciences]. Stavropol, 2002, 24 p. (In Russian)
26. Doronina M.A. History of the study and development of the Tashly River valley (Stavropol). Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii [Samara Luka: issues of regional and global ecology]. 2012, vol. 21, no. 3, pp. 5–16. (In Russian)
27. Katorgin I.Y., Shkarlet K.Yu., Sedykh R.Yu. Geoinformation analysis of ecological stability in the Tashla River basin. Nauka. Innovacii. Tekhnologii [Nauka. Innovation. Technologies]. 2015, no. 3, pp. 97–108. (In Russian)
28. Smith L.S., Isaks B.L., Bloom A.L., Murray B.A. Assessment of runoff from three braided rivers using synthetic aperture radar satellite images: potential application to uncontaminated basins. Water resources. 1996, vol. 32, no. 7, pp. 2021–2034.
29. Silagi J., Parlange M.B. Semi-distributed watershed model based on geomorphology. Adv. Water resources. 1999, vol. 23, no. 2, pp. 177–187.
30. Chernov A.V. *Geografiya i geoekologicheskoe sostoyanie rusel i poim rek Severnoi Evrazii* [Geography and Geoecological State of the Riverbeds and Floodplains of the Rivers in Northern Eurasia]. Moscow, OOO Krona Publ., 2009, 684 p. (In Russian)
31. Tucker G.E., Hancock G.R. Modeling of landscape evolution. Earth surf. Processes Terrain Shapes. 2010, vol. 35, no. 1, pp. 28–50.
32. Kashchavtseva A.Yu., Shipulin V.D. River basin modeling using ArcGIS 9.3. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Geografiya» [Scientific notes of V.I. Vernadsky Tauride National University. Geography Series]. 2011, vol. 24 (63), no. 3, pp. 85–92. (In Russian)
33. Lisetsky F.N., Buryak Zh.A., Marinina O.A. Geomorphological asymmetry of different-order river basins (on the example of the Belgorod region). Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya estestvennye nauki [Scientific notes of Kazan University. Natural Sciences series]. 2018, vol. 160, book 3, pp. 500–513. (In Russian)
34. Vasilevsky P.Yu. *Vzaimosvyaz' podzemnykh i poverkhnostnykh vod v aridnykh usloviyakh pri antropogennom izmenenii poverkhnostnogo stoka (na primere nizhnego techeniya reki Kheikhe). Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk* [The relationship of underground and surface waters in arid conditions under anthropogenic changes in surface runoff (on the example of the Heihe River lower reaches). Abstract dis. cand. geol. and mineral. sciences]. Moscow, 2021, 23 p.
35. Chalov S.R. *Rechnye nanosy v erozionno-ruslovykh sistemakh. Avtoreferat diss. dokt. geogr. nauk* [River sediments in erosion-channel systems. Abstract dis. doc. geogr. sciences]. Moscow, 2021. 50 p.
36. Kochurov B.I. *Ekodiagnostika i sbalansirovannoe razvitie* [Ecodiagnostics and balanced development]. Moscow-Smolensk, Magenta Publ., 2003, 381 p. (In Russian)
37. Shalnev V.A. *Landshafty Severnogo Kavkaza: evolyuciya i sovremennost'* [Landscapes of the North Caucasus: evolution and modernity]. Stavropol, SSU Publ., 2004, 265 p. (In Russian)
38. Lavrov L.I. Development of agriculture in the North-Western Caucasus from ancient times to the middle of the 18th century. In: *Materialy po istorii zemledeliya* [Proceedings on the agriculture history]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1952, pp. 179–225. (In Russian)
39. Shalnev V.A, Likhovid A.A., Fominov A.A. *Sovremennye landshafty Stavropol'skogo kraya* [Modern landscapes of the Stavropol Territory]. Stavropol, SSU Publ., 2002, 227 p. (In Russian)
40. Maslov N.N. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology]. Moscow, Stroyizdat Leningrad Branch Publ., 1971, 346 p. (In Russian)
41. Blokhin N.F., Blokhina T.I. *Vodnye resursy Stavropol'ya* [Water resources of Stavropol]. Stavropol, Department of Stavropolkrayvodkhoz Publ., 2001, 288 p. (In Russian)
42. Semilutsky A.P. The village of the Deceased of Stavropol province, Novogrigoryevsky uyezd. *Sbornik materialov dlya opisaniya mestnostei i plemen Kavkaza* [Collection of materials for describing the localities and tribes of the Caucasus]. Tiflis, K.P. Kozlovsky Publ., 1897, vol. 23, pp. 253–356. (In Russian)
43. *Kontseptsiya razvitiya i General'nyi plan goroda Zelenokumska Stavropol'skogo kraya (poyasnitel'naya zapiska)* [The concept of development and the General Plan of Zelenokumsk city, Stavropol Territory (explanatory note)]. 2007. (In Russian)
44. *Programma «Beregoukrepitel'nye i regulyatsionnye raboty po ruslu reki Kumy v predelakh g. Zelenokumska na 2010–2012 gody»* [Program "Bank protection and regulatory work on the Kuma riverbed within Zelenokumsk city for 2010–2012"]. Available at: https://base.garant.ru/26111831/#block_1000 (accessed 23.06.2022)
45. *Programma «Beregoukreplenie r. Kumy v rajone ul. Ploshchad' Lenina v g. Zelenokumske Stavropol'skogo kraya»* [The program "Coastal protection of the Kuma River in the area of Lenin Square in Zelenokumsk, Stavropol Territory"]. 2017. Available at: http://skspn.ru/story (accessed 23.06.2022)
46. Tvalchrelidze A. *Stavropol'skaya guberniya v statisticheskom, geograficheskom, istoricheskom i sel'skokhozyaistvennom otnosheniyakh* [Stavropol province in statistical, geographical, historical and agricultural relations]. Stavropol, M.N. Koritsky Publ., 1897, 743 p. (In Russian)
47. Rychagov G.I. *Obshchaya geomorfologiya* [General geomorphology]. Moscow, MSU Publ., 2006, 3rd ed., revised and enlarged, 416 p. (In Russian)
48. Shevchenko N.E., Belous V.N. Biomorphological analysis of the flora in floodplain forests of the Kuma River middle reaches (Stavropol Territory). *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii. Materialy 7 mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Issues of botany in Southern Siberia and Mongolia. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference]. Barnaul, 2008, pp. 17–18. (In Russian)
49. Gendelman M.M., Popov I.V. On the development of riverbeds straightening. *Trudy GGI* [Proceedings of State Hydrological Institute]. 1987, iss. 307, pp. 3–16. (In Russian)
50. Silverman B. V. Density estimation for statistics and data analysis. CRC Press, 1986, vol. 26.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Евгений Г. Мишвелов определил идею исследования, выстроил логику исследования, участвовал в полевых исследованиях, составил картографический материал, структурировал результаты исследования. Загир В. Атаев

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Evgeny G. Mishvelov defined the idea of the study, built its logic, participated in field research, compiled cartographic material and structured the results of the study. Zagir V. Ataev defined research methods,

определил методы исследования, участвовал в полевых исследованиях, структурировал текст статьи в логике исследования, подбирал библиографические источники. Артем И. Корниенко участвовал в полевых исследованиях, структурировал текст статьи в логике исследования, участвовал в изготовлении графического материала, сформулировал выводы исследования. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

participated in field research, structured the text of the article within the logic of the research and selected bibliographic sources. Artem I. Kornienko participated in field research, structured the text of the article within the logic of the research, participated in the production of graphic material and formulated the conclusions of the study. All 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

Евгений Г. Мишвелов / Evgeny G. Mishvelov https://orcid.org/0000-0003-2004-9429
Загир В. Атаев / Zagir V. Ataev https://orcid.org/0000-0001-7731-5594
Артем И. Корниенко / Artem I. Kornienko https://orcid.org/0000-0001-9670-7219

Обзорная статья / Review article
УДК 632.91
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-174-181

Влияние способов обработки почвы на развитие болезней пшеницы

Артем В. Пономарев, Оксана Ю. Кремнева, Ксения Э. Гасиян, Роман Ю. Данилов
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Краснодар, Россия

Контактное лицо
Артем. В. Пономарев, старший научный сотрудник, лаборатория фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, «Федеральный государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о 39.
Тел. +79184753470
Email artemponomarev1989@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-0514-5797

Формат цитирования
Пономарев А.В., Кремнева О.Ю., Гасиян К.Э., Данилов Р.Ю. Влияние способов обработки почвы на развитие болезней пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 174-181. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-174-181

Получена 13 июля 2022 г.
Прошла рецензирование 19 октября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. Проанализировать имеющиеся литературные данные о влиянии различных обработок почвы на развитие и распространенность возбудителей болезней пшеницы.

Обсуждение. Согласно литературным данным, существующие технологии обработки почвы: классическая, минимальная, нулевая, существенно влияют на развитие патогенов вызывающих развитие заболеваний пшеницы в различных регионах, отличающихся почвенными и климатическими условиями. В России и странах ближнего и дальнего зарубежья занимаются вопросом борьбы с болезнями сельскохозяйственных культур химическими, биологическими и агротехническими методами. Несмотря на то, что в общей системе мероприятий по защите растений от повреждений агротехнические методы имеют огромнейшее значение, долгое время агротехника, как метод защиты растений, недооценивалась. Многие приемы агротехники, а также генетика и селекция увеличивают устойчивость растений к повреждениям.

Заключение. В результате агротехнических приемов можно создавать такие условия окружающей среды, которые будут неблагоприятны для размножения болезней. В настоящее время твердо установилось мнение, что отдельно взятые, изолированные приемы не могут правильно разрешить проблему защиты растений от возбудителей болезней сельскохозяйственных культур. Только комплекс методов, объединенный в систему мероприятий, дает крепкую базу для защиты растений. И в этой системе мероприятий роль агротехнических приемов чрезвычайно велика.

Ключевые слова
Отвальная обработка почвы, минимальная обработка почвы, No-Till, болезни пшеницы, развитие, распространённость.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Influence of tillage methods on the development of wheat diseases Aestivum and Fontum

Artem V. Ponomarev, Oksana Yu. Kremneva, Ksenia E. Gasiyan and Roman Yu. Danilov
Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact
Artem V. Ponomarev, Senior Researcher, Laboratory of Phytosanitary Monitoring of Agroecosystems, Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Russia 350039.
Tel. +79184753470
Email artemponomarev1989@mail.ru
ORCID https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-0514-5797

How to cite this article
Ponomarev A.V., Kremneva O.Yu., Gasiyan K.E., Danilov R.Yu. Influence of tillage methods on the development of wheat diseases Aestivum and Fontum. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 174-181. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-174-181

Received 13 July 2022
Revised 19 October 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. To analyze the data in the available literature regarding the effect of various tillages on the development and prevalence of wheat pathogens.
Discussion. According to the literature, the existing tillage technologies – classical, minimal and zero – significantly affect the development of pathogens that cause the development of wheat diseases in regions that differ in soil and climatic conditions. In Russia and other countries near and far, the issue of combating diseases of agricultural crops is dealt with by chemical, biological and agrotechnical methods. Despite the fact that agrotechnical methods are of the utmost importance in the general system of measures to protect plants from damage, for a long-time agricultural technology as a means of plant protection was underestimated. However, many agricultural techniques, as well as genetics and selection, increase the resistance of plants to damage.
Conclusion. As a result of these techniques, it is possible to create environmental conditions that will be unfavourable for the reproduction of diseases. At the present time, opinion is firmly established that separately undertaken, isolated methods cannot properly solve the problem of protecting plants from pathogens of agricultural crops. Only a set of methods combined into a system of measures provides a solid basis for plant protection. And in this system of measures, the role of agricultural practices is extremely large.

Key Words
Moldboard tillage, minimum tillage, no-till, wheat diseases, development, prevalence.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница – важнейшая сельскохозяйственная культура, обеспечивающая людей продовольствием во всём мире. В Российской Федерации в 2021 году посевные площади под пшеницу составили 28,72 млн га. Для сохранения качественного урожая пшеницы, необходимо разрабатывать эффективные схемы её защиты, учитывающие все факторы, влияющие как на почвенное плодородие, так и на фитосанитарное состояние посевов. В связи с тем, что 1 января 2020 года вступил в силу Федеральный закон №280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», вопросы, связанные с биологизацией сельского хозяйства и с обеспечением его методами для ведения органического земледелия становятся особенно актуальными.

Целью данного исследования являлся анализ имеющихся литературных данных о влиянии различных обработок почвы на развитие и распространенность возбудителей болезней пшеницы. Согласно литературным данным, существующие технологии обработки почвы: классическая, минимальная, нулевая, существенно влияют на развитие патогенов вызывающих развитие заболеваний пшеницы в различных регионах, отличающихся почвенными и климатическими условиями. В России и странах ближнего и дальнего зарубежья занимаются вопросом борьбы с болезнями сельскохозяйственных культур химическими, биологическими и агротехническими методами. Несмотря на то, что в общей системе мероприятий по защите растений от повреждений агротехнические методы имеют огромнейшее значение, долгое время агротехника, как метод защиты растений, недооценивалась. Многие приемы агротехники, а также генетика и селекция увеличивают устойчивость растений к повреждениям. В результате агротехнических приемов можно создавать такие условия окружающей среды, которые будут неблагоприятны для размножения болезней. В настоящее время твердо установилось мнение, что отдельно взятые, изолированные приемы не могут правильно разрешить проблему защиты растений от возбудителей болезней сельскохозяйственных культур. Только комплекс методов, объединенный в систему мероприятий, дает крепкую базу для защиты растений. И в этой системе мероприятий роль агротехнических приемов чрезвычайно велика.

ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейший элемент получения качественного урожая – правильно подобранная обработка почвы, так как она напрямую влияет на состояние почвы, обеспечивая её благоприятные водный, питательный, тепловой режимы, а также хорошую аэрацию. Таким образом, обеспечиваются оптимальные условия для произрастания сельскохозяйственных культур [1–3].

Изучением влияния способов обработки почвы на рост и развитие культурных растений занимаются как в России, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Правильно подобранная система земледелия обеспечивает борьбу с сорной растительностью, накопление и сохранение влаги, полезных микроэлементов, а также способствует восстановлению плодородного слоя, что очень важно при выращивании сельскохозяйственных культур. При возделывании сельскохозяйственных культур необходимо ориентироваться на состояние почвы, предшествующие культуры, фитосанитарное состояние и многие другие факторы, оказывающие влияние на рост и развитие культурных растений. В настоящее время применяется три основных технологии обработки почвы при возделывании пшеницы: классическая, минимальная и нулевая [4].

Классической технология возделывания пшеницы включает:

- основная обработка почвы (предшественник черный пар): лущение – внесение органических удобрений – известкование – вспашка – боронование – культивация;

- предпосевная обработка почвы и посев: внесение Р и К удобрений – предпосевная культивация – посев – прикатывание;

- уход за растениями и однофазная уборка: подкормка N удобрениями – боронование – химическая защита и подкормка – десикация – прямое комбайнирование;

- раздельная уборка и хранение.

Минимальная технология возделывания пшеницы включает:

- основная обработка почвы: уборка с соломоразбрасывателем – распределение соломы – внесение гербицида;

- посев;

- уход за посевами: химическая защита посевов и подкормка;

- однофазная или двухфазная уборка: десикация – уборка. Скашивание – обмолот с подборщиком;

- послеуборочная доработка и хранение.

Нулевая технология (No-Till) возделывания пшеницы включает:

- основная обработка почвы: уборка с соломоразбрасывателем – распределение соломы – внесение гербицида;

- посев;

- уход за посевами: химическая защита посевов и подкормка;

- однофазная или двухфазная уборка: десикация – уборка. Скашивание – обмолот с подборщиком;

- послеуборочная доработка и хранение.

Если растения недополучают все необходимые вещества из почвы, то ухудшается их общее состояние, а следовательно, снижается иммунитет, что позволяет возбудителям болезней и вредителям повреждать их. Засоренность растений так же оказывает существенное влияние на общее состояние культур восприимчивых к различным болезням. Существуют исследования, которые показывают зависимость между засоренностью почвы семенами сорных растений и применяемым на этой территории способом обработки почвы [5]. Выявлено преимущество совместного применения отвальной, мелкой безотвальной и поверхностной обработок в борьбе со снижением всхожести семян сорных растений [5]. Исследования, изучающие зависимость обработки почвы с динамикой популяций сорных растений и развития болезней, проводятся как за рубежом, так и в России.

Так, например, в США, исследования, сравнивающее влияние обработки почвы на развитие болезней и засоренность показали, что при нулевой

обработке, количество и распространённость болезней вместе с засорённостью посевов сорняками были выше, чем при вспашке [6; 7].

Обработка почвы влияла на общее количество сорняков на делянках с нулевой и классической обработкой почвы и составляло в среднем 46 широколиственных сорняков на м^2, и 27 на м^2 соответственно.

В исследованиях латвийских ученых описывается опыт влияния отвальной и безотвальной обработки почвы на развитие пятнистости листьев пшеницы [8]. Показано, что при отвальной обработке почвы развитие возбудителя желтой пятнистости было в 2 раза ниже по сравнению с безотвальной обработкой почвы: так ПКРБ (площадь кривой развития болезни) возбудителя желтой пятнистости на участке с отвальной обработкой почвы составила 70 у.е., а на участке с безотвальной обработкой почвы 130 у.е. Вспашка смягчала влияние предыдущих культур, в итоге развитие пятнистостей было ниже. Однако в этом же исследовании говорится о том, что развитие возбудителя септориоза на участках с отвальной обработкой в 2 раза выше, чем на участке с безотвальной обработкой почвы: ПКРБ 40 у.е и 20 у.е. соответственно [8].

Ряд российских исследований сравнивает различные системы обработки почвы и показывает их влияние на развитие болезней. В Кирове пораженность зерновых культур стеблевой ржавчиной и септориозом была невысокой 3,2–7,0%. Применение плоскорезной обработки повышало поражаемость стеблей и снижало урожайность пшеницы на 0,31 т/га (НСР05А = 0,29) по сравнению со вспашкой [9]. В Красноярском крае установлено положительное воздействие отвальной обработки почвы на снижение развития септориоза, по сравнению с вариантом без обработки почвы. Наибольшее развитие септориоза оказалось при возделывании пшеницы по кукурузе на неудобренном фоне без обработки почвы (31,3%), что на 16,8% больше, по сравнению с традиционной основной обработкой почвы [10]. В условиях Нечерноземья в центре точного земледелия было выявлено, что при нулевой обработке встречаемость болезней была выше, чем при вспашке, в 1,3–5,2 раза, засоренность посевов в 3–10 раз, на нескольких культурах в севообороте (пшеница, ячмень, кукуруза, люпин белый) [11].

На Северном Кавказе и в Краснодарском крае проблема заболевания пятнистостями листьев пшеницы становится всё шире [12–14], поэтому изучение влияния агротехнических приёмов на развитие болезней очень актуально для региона. Изучение степени развития листовых болезней пшеницы и степени зараженности посевов в зависимости от способа обработки почвы проводились в 2019–2020 гг. на опытных участках «КубГАУ» в г. Краснодаре. Для исследования были созданы четыре опытных участка с сортом мягкой пшеницы Степь, на которых применялись различные системы обработки почвы: No-till, безотвальная, минимальная и отвальная обработки почвы. Установлено, что наиболее предпочтительным является применение минимальной обработки почвы, так как при нем развивается наименьшее количество заболеваний и снижается степень развития возбудителей в 2–3 раза по сравнению с другими вариантами [15].

В Боттеларе (Бельгия) оценивали влияние севооборота кукуруза-пшеница на визуальные симптомы фузариоза. Это одно из наиболее вредоносных грибных заболеваний, приводящее к снижению урожайности и содержанию микотоксина в пшенице. Результаты опытов показали, что восприимчивость сортов кукурузы к фузариозу и способ уборки кукурузы оказали лишь незначительное влияние на заболеваемость и содержание микотоксина в посевах пшеницы: в последующий вегетационный период. Более важными были способ обработки почвы и устойчивость сорта пшеницы; оба фактора оказали существенное влияние на частоту возникновения фузариоза и содержание микотоксина [16].

Европейские исследования по изучению расхождения в реакциях восприимчивости генотипов пшеницы к фузариозу колоса при воздействии комбинированных методов возделывания, сортовых свойств, года и присутствия взаимодействующих видов *Fusarium* spp. как неотъемлемое целое. Это исследование предполагает, что вспашка может увеличить риск возникновения токсигенных заболеваний фузариоза колоса.

Отвальная обработка почвы привела к более различным факторам окружающей среды, чем при нулевая, что повлияло на большую изменчивость взаимосвязи между накоплением митотоксина и заражением зерна [17].

В целях оптимизации мер борьбы с болезнями в условиях Дании были исследованы устойчивость сортов к желтой пятнистости вызванной *Drechslera tritici-repentis*, методы обработки почвы и фунгициды. Полевые эксперименты подтвердили, что нулевая обработка почвы оказалась основным фактором, увеличивающим серьезность желтой пятнистости по сравнению с обычной вспашкой. Прибавка урожая от обработки фунгицидами на посевах с нулевой обработкой почвы варьировалась от 0,8 до 1,7 т/га. В экспериментах, где на поверхности оставалось большое количество пшеничной соломы, урожайность увеличивалась до 4,4 т/га за счет эффективных обработок фунгицидами [18].

В Канаде заболеваемость и степень поражения фузариозной гнили были наибольшими, когда предшественником пшеницы была кукуруза, и наименьшими, когда предшественником являлась соя. Заболеваемость была ниже на участках с отвальной обработкой почвы, чем на участках с безотвальной и no-till, хотя различия между безотвальной и нулевой обработкой не были очевидны. Урожайность пшеницы на отвальной обработке почвы была на 10% выше, чем на участках с безотвальной обработкой и no-till [19; 20]. Фермеры в Соединенных Штатах внедряют технологию нулевой обработки почвы (no-till), чтобы уменьшить эрозию почвы, улучшить качество почвы, повысить инфильтрацию воды и сократить количество проходов сельскохозяйственной техники по своим полям [21–23]. В одном из канадских исследований [24], описываются проблемы, которые могут возникнуть при внедрении нулевой и минимальной технологий обработки почвы, и делается вывод, что они эффективны в долгосрочной перспективе и приносят плоды через определённое количество времени. Возможности и проблемы нулевой обработки почвы описываются и в европейских статьях [25; 26] no-till снижает потери фосфора со стоком и, в некоторых случаях, снижает потери

нитратов из-за промывки. Выбросы парниковых газов CO_2 и N_2O из почв с нулевой обработкой сильно варьируются и зависят от сложных взаимодействий свойств почвы. Выбросы CO_2 от топлива при использовании техники всегда заметно снижается при нулевой обработке почвы.

В полевых опытах университета шт. Миннесота, США, на участках с орошением и без него изучали влияние растительных остатков предшествующих культур (кукурузы, пшеницы, сои) и способов обработки почвы (отвальная вспашка, чизелевание и нулевая обработка) на поражение пшеницы сорта Норм фузариозом колоса (ФК), вызываемым грибом *Fusarium graminearum*. Наибольшая распространенность и интенсивность развития ФК наблюдалась, когда предшественником пшеницы была кукуруза, наименьшая – по предшественнику сое. Распространенность и интенсивность развития ФК были меньше на участках с отвальной вспашкой по сравнению с чизелеванием или нулевой обработкой [27].

Исследованием развития корневых гнилей пшеницы при различных системах обработки почвы занимались ученые из РФ и других стран. В Республике Марий Эл результаты исследований показали, что дискование в отличие от вспашки и культивации способствует улучшению микромицетного состава почвы. Снижается количество патогенных грибов и увеличивается численность грибов-антагонистов в ризосфере пшеницы. Распространенность и развитие корневых гнилей при дисковании почвы снижается по сравнению с культивацией и вспашкой. По сравнению со вспашкой урожайность пшеницы выше на 0,18 т/га, а по сравнению с культивацией – на 0,43 т/га. В Днепропетровске степень поражения растений пшеницы корневыми гнилями уменьшается на участках с отвальной обработкой почвы в 1,10–1,25 раза, а также на фоне без внесения удобрений в сравнении с удобренным за счет запахивания пожнивных остатков и сокращения периода заражения растений в результате их преждевременного созревания и высыхания [28–31]. В полевых севооборотах Омской области при комплексном применении средств химизации поражение растений зерновых корневыми гнилями снижается от второй пшеницы после пара к пшенице после рапса с 48 до 26%, или в 1,1–1,8 раза и от отвальной к комбинированной обработке на 34–60% [32]. В исследованиях в южном Квинсленде (Австралия) заболеваемость пшенцы корневыми гнилями вызываемыми *Fusarium graminearum* и *Bipolaris sorokiniana*, характерных для этой местности, рассматривалась на трех обработках почвы: отвальная, безотвальная, с сохранением стерни или ее сжиганием. При отсутствии обработки почвы заболеваемость корневыми гнилями была значительно выше при сохранении стерни (32,2%), чем при ее сжигании (4,7%), тогда как при безотвальной обработке не было существенной разницы в уровне заболеваемости между обработками стерни (12–17%). На заболеваемость корневой гнилью тип обработки почвы не влиял [33]. Также методы борьбы с корневыми гнилями рассматривали в тропических и субтропических высокогорьях мира. В данном исследовании представлены два типа обработки почвы: отвальная и no-till. Значительно более высокая заболеваемость корневыми гнилями была обнаружена в пшенице при no-till, чем при отвальной обработке почвы. А вот в центральных районах Мексики, положительный эффект наблюдался при нулевой обработке почвы, севообороте и сохранении пожнивных остатков по сравнению с обычными методами ведения сельского хозяйства [34].

Результаты исследований не однозначны. В одних распространеность и развитие корневых гнилей при дисковании почвы снижается по сравнению с культивацией и вспашкой, а на нулевой обработке наоборот повышаются. В других наоборот отвальная обработка почвы показала более высокие показатели борьбы с корневыми гнилями пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировав исследования в области влияния обработки почвы на развитие болезней пшеницы пришли к выводу, что единого мнения о наиболее оптимальном способе обработки почвы нет. Ряд исследований показывает влияние отвальной и безотвальной обработки почвы, климатических условий, предшественника на развитие листовых пятнистостей, корневых гнилей и фузариоза колоса пшеницы.

В публикациях демонстрируется, что при нулевой обработке встречаемость и развитие болезней выше, чем при вспашке на нескольких культурах в севообороте основных сельскохозяйственных культур. В работах описываются проблемы, которые могут возникнуть при внедрении нулевой и минимальной технологий обработки почвы, и возможность эффективного использования их в долгосрочной перспективе через определённое количество времени.

Недостаточно исследований, изучающих влияние агротехнического метода комплексно, где учитывается максимальное количество факторов и рассматриваются все системы обработки почвы, поэтому исследования в этой области всё ещё актуальны.

Конечно, различие результатов связано с климатическими и почвенными особенностями регионов, поэтому необходимо проводить исследования для каждого из них. В Краснодарском крае исследований по влиянию способов обработки почвы на развитие болезней пшеницы недостаточно для того, чтобы рекомендовать ту или иную обработку. Необходимо разработать рекомендации, подходящие для региона, в котором проводятся исследования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-26-20119.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation No. 22-26-20119.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плескачёв Ю.Н., Кощеев И.А., Кандыбин С.С. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность зерновых культур // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. N 1 (99). С. 23–26.

2. Сахибгареев А.А., Гарипова Г.Н. Влияние удобрений и средств защиты растений на урожай при возделывании яровой пшеницы в степных зонах Башкортостана // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. N 2 (78). С. 57–65.
3. Сабитов М.М., Шарипова Р.Б. Эффективность способов обработки почвы и средств химизации в зернопаровом севообороте // Достижения науки и техники АПК. 2015. N 10. С. 31–34.
4. Маслов Г.Г., Юдина Е.М., Авилов Е.Ю. Технологии в растениеводстве. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2011. 180 с.
5. Дудкин И.В., Шмат З.М. Системы обработки почвы и сорняки // Защита и карантин растений. 2010. N 8. С. 28–30.
6. Felix J., Owen M. Weed population dynamics in land removed from the conservation reserve program // Weed Science. 1999. N 47. P. 511–517. DOI: 10.1017/S0043174500092195
7. Melander B., Rasmussen K. Reducing intrarow weed numbers in row crops by means of a biennial cultivation system // Weed Res. 2000. N 40. P. 205–218. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2000.00183.x
8. Bankina B., Bimšteine G., Arhipova I., Kaņeps J., DargužaImpact M. of Crop Rotation and Soil Tillage on the Severity of Winter Wheat Leaf Blotches // Rural Sustainability Research. 2021. N 45(340). P. 21–27. DOI: 10.2478/plua-2021-0004
9. Козлова Л.М., Попов Ф.А., Носкова Е.Н. Влияние способов обработки почвы и применения биопрепаратов на болезни и урожайность культур звена севооборота // Пермский аграрный вестник. 2016. N 2 (14). С. 39–44.
10. Пучкова Е.П. Полосина В.А., Ивченко В.К., Бекетова О.А., Савенкова Е.В. Влияние различных способов обработки почвы на развитие листостебельных инфекций зерновых культур // Материалы международной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки», Красноярск, 15 октября, 2021. С. 88–91.
11. Васильева Н.В., Синещеков В.Е. Листостебельные инфекции яровой пшеницы при почвозащитном земледелии в лесостепи Западной Сибири // Вестник НГАУ. 2014. N 2(31). С. 7–13.
12. Kokhmetova A., Kremneva J., Volkova G., Atishova M., Sapakhova Z. Evaluation of wheat cultivars growing in Kazakhstan and Russia for resistance to tan spot // Journal of Plant Pathology. 2017. N 99(1). P. 161–167. DOI: 10.4454/jpp.v99i1.3812
13. Kremneva O., Volkova G.V., Kovalenko N. The dynamics of the race structure of Pyrenophora tritici-repentisin the North Caucasus region // Mikologiya I Fitopatologiya. 2019. N 53(4). P. 246–253. DOI: 10.1134/S0026364819040056
14. Kremneva O.Yu., Mironenko N.V., Volkova G.V., Baranova O.A., Kim Yu.S., Kovalenko N.M. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia // Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. N 28 (3). P. 1787–1794. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.12.021
15. Kremneva O.Yu., Gasiyan K.E., Ponomarev A.V., Kokhmetova A., Novoseletsky S.I. Influence of the tillage method on the development of leaf diseases of winter wheat // Proceedings of International Conference «Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021)», Krasnodar, 2021. P. 5.
16. Landschoot S., Audenaert K., Haesaert G. Influence of maize–wheat rotation systems on Fusarium head blight infection and deoxynivalenol content in wheat under low versus high disease pressure // Crop Protection. 2013. V. 52. P. 14–21. DOI: 10.1016/j.cropro.2013.04.013
17. Župunski V., Jevtić R., Skenderović N. Effect of cultivation practices on diversity in susceptibility reactions of winter wheat genotypes to Fusarium head blight // European Journal of Agronomy. 2021. V. 125. P. 126. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126250
18. Jorgensen L.N., Olsen L.V. Control of tan spot (Drechsleratritici-repentis) using cultivar resistance, tillage methods and fungicides // Crop Protection. 2007. V. 26(11). P. 1606–1616. DOI: 10.1016/j.cropro.2007.01.009
19. Dill-Macky R., Jones R.K. The effect of previous crop residues and tillage on fusarium head blight of wheat // Plant Disease. 2000. V. 84(1). P. 71–76. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.1.71
20. Наумкин В.Н., Крюков А.Н. Системный подход к разработке и оценке новых эффективных ресурсосберегающих технологий возделывания полевых культур // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. N 3(23). С. 148–156.
21. Stephen M.O., Swan A., Paustian K. No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2012. V. 149. P. 37–49. DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.010
22. Stubbs T.L., Kennedy A.C., Schillinger W.F. Soil Ecosystem Changes During the Transition to No-Till Cropping // Journal of Crop Improvement. 2004. V. 11(1). P. 105–135. DOI: 10.1300/J411v11n01_06
23. Flexibility of No-Till and Reduced Till Systems Ensures Success in the Long Term. URL: http://www.agr.gc.ca/eng/science-and-innovation/agricultural-practices/soil-and-land/soil-management/flexibility-of-no-till-and-reduced-till-systems-ensuressuccess-in-the-long-term/?id=1219778199286 (дата обращения: 16.02.2022)
24. Bailey K.L., Johnston A.M., Kutcher H.R., Gossen B.D., Morrall R.A.A. Man-aging crop losses from foliar diseases with fungicides, rotation, and tillage in the Saskatchewan Parkland // Canad. J. Plant Sc. 2000. V. 80. N 1. P. 169–175.
25. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // Soil and Tillage Research. 2012. V. 118. P. 66–87. DOI: 10.1016/j.still.2011.10.015
26. Dorn B., Stadler M., van der Heijden M., Streit B. Regulation of cover crops and weeds using a roll-chopper for herbicide reduction in no-tillage winter wheat // Soil and Tillage Research. 2013. V. 134. P. 121–132. DOI: 10.1016/j.still.2013.07.014
27. Мамаева Г.Г. Оценка эффективности экологически безопасных технологий, включающих минимальную обработку почвы, покровные культуры, органические удобрения и др., в борьбе с сорняками и устойчивом производстве зерна в шт. Мэриленд, США // Экологическая безопасность в АПК. 2002. N 1. С. 64.
28. Апаева Н.Н., Манишкин С.Г. Влияние приемов обработки почвы на развитие корневых гнилей и урожайность яровой пшеницы // МНИЖ. 2017. N 11-3 (65). С. 99–101. DOI: 10.23670/IRJ.2017.65.132
29. Долбилова Т.А., Каноненко Л.И., Пикушова Э.А. Влияние способов основной обработки почвы на поражение озимой пшеницы сорта Антонина корневыми гнилями // Материалы XI Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодарского края «Научное обеспечение агропромышленного комплекса», Краснодар, 2017. С. 194–195.
30. Белошапкина О.О., Акимов Т.А. Динамика и патогенный состав корневых гнилей озимой пшеницы в зависимости от способов основной обработки дерново-подзолистой почвы // Известия ТСХА. 2016. N 3. С. 47–60.
31. Цилюрик А.И. Влияние основной обработки почвы на степень повреждения вредителями и пораженность

болезнями зерновых культур // Зерновые культуры. 2019. Т. 3. N 1. С. 93–101.
32. Ломановский А.В., Корчагина И.А., Юшкевич Л.В., Малинина А.И. Агротехнологии и развитие корневой гнили на яровой пшенице в лесостепи омской области // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. N 4(24). С. 26–33.
33. Wildermuth G.B., Thomas G.A., Kelly A. Crown rot and common root rot in wheat grown under different tillage and stubble treatments in southern Queensland, Australia // Soil and Tillage Research. 1997. P. 211–224. DOI: 10.1016/S0167-1987(97)00054-8
34. Govaerts B., Fuentes M., Sayre K.D. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements // Soil and Tillage Research. 2007. V. 91(1). P. 209–219. DOI: 10.1016/j.still.2006.07.013

REFERENCES

1. Pleskachev Yu.N., Koshcheev I.A., Kandybin S.S. Influence of methods of basic tillage on the productivity of grain crops. Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. 2013, no. 1 (99), pp. 23–26. (In Russian)
2. Sakhibgareev A.A., Garipova G.N. Influence of fertilizers and plant protection products on the yield during the cultivation of spring wheat in the steppe zones of Bashkortostan. Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan [Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan]. 2015, no. 2 (78), pp. 57–65. (In Russian)
3. Sabitov M.M., Sharipova R.B. Efficiency of soil treatment methods and chemicalization means in grain-fallow crop rotation. [Achievements of science and technology of APK]. 2015, no. 10, pp. 31–34. (In Russian)
4. Maslov G.G., Yudina E.M., Avilov E.Yu. *Tekhnologii v rastenievodstve* [Technologies in crop production]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University Publ., 2011, 180 p. (In Russian)
5. Dudkin I.V., Shmat Z.M. Soil tillage systems and weeds. Zashchita i karantin rastenii [Protection and quarantine of plants]. 2010, no. 8, pp. 28–30. (In Russian)
6. Felix J., Owen M. Weed population dynamics in land removed from the conservation reserve program. *Weed Science*, 1999, no. 47, pp. 511–517. DOI: 10.1017/S0043174500092195
7. Melander B., Rasmussen K. Reducing intrarow weed numbers in row crops by means of a biennial cultivation system. *Weed Res*., 2000, no. 40, pp. 205–218. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2000.00183.x
8. Bankina B., Bimšteine G., Arhipova I., Kaņeps J., Darguža Impact M. of Crop Rotation and Soil Tillage on the Severity of Winter Wheat Leaf Blotches. *Rural Sustainability Research*, 2021, no. 45(340), pp. 21–27. DOI: 10.2478/plua-2021-0004
9. Kozlova L.M., Popov F.A., Noskova E.N. Influence of methods of tillage and the use of biological products on diseases and productivity of crops of the crop rotation link. Permsky agrarian vestnik [Perm agrarian bulletin]. 2016, no. 2 (14), pp. 39–44. (In Russian)
10. Puchkova E.P., Polosina V.A., Ivchenko V.K., Beketova O.A., Savenkova E.V. Vliyanie razlichnykh sposobov obrabotki pochvy na razvitie listostebel'nykh infektsii zernovykh kul'tur [Influence of different methods of tillage on the development of leaf-stem infections of grain crops]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Problemy sovremennoi agrarnoi nauki», Krasnoyarsk, 15 oktyabrya, 2021* [Proceedings of the international scientific conference «Problems of modern agrarian science», Krasnoyarsk, 15 October 2021]. Krasnoyarsk, 2021, pp. 88–91. (In Russian)
11. Vasilyeva N.V., Sineshchekov V.E. Leaf-stem infections of spring wheat during soil-protective agriculture in the forest-steppe of Western Siberia. Vestnik NGAU [Vestnik NSAU]. 2014, no. 2(31), pp. 7–13. (In Russian)
12. Kokhmetova A., Kremneva J., Volkova G., Atishova M., Sapakhova Z. Evaluation of wheat cultivars growing in Kazakhstan and Russia for resistance to tan spot. *Journal of Plant Pathology*, 2017, no. 99(1), pp. 161–167. DOI: 10.4454/jpp.v99i1.3812
13. Kremneva O., Volkova G.V., Kovalenko N. The dynamics of the race structure of Pyrenophora tritici-repentisin the North Caucasus region. *Mikologiya I Fitopatologiya*, 2019, no. 53(4), pp. 246–253. DOI: 10.1134/S0026364819040056
14. Kremneva O.Yu., Mironenko N.V., Volkova G.V., Baranova O.A., Kim Yu.S., Kovalenko N.M. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, no. 28 (3), pp. 1787–1794. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.12.021
15. Kremneva O.Yu., Gasiyan K.E., Ponomarev A.V., Kokhmetova A., Novoseletsky S.I. Influence of the tillage method on the development of leaf diseases of winter wheat. Proceedings of International Conference “Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021)”, Krasnodar, 2021, 5 p.
16. Landschoot S., Audenaert K., Haesaert G. Influence of maize–wheat rotation systems on Fusarium head blight infection and deoxynivalenol content in wheat under low versus high disease pressure. *Crop Protection*, 2013, vol. 52, pp. 14–21. DOI:10.1016/j.cropro.2013.04.013
17. Župunski V., Jevtić R., Skenderović N. Effect of cultivation practices on diversity in susceptibility reactions of winter wheat genotypes to Fusarium head blight. *European Journal of Agronomy*, 2021, vol. 125, p. 126. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126250
18. Jorgensen L.N., Olsen L.V. Control of tan spot (Drechsleratritici-repentis) using cultivar resistance, tillage methods and fungicides. *Crop Protection*, 2007, vol. 26(11), pp. 1606–1616. DOI: 10.1016/j.cropro.2007.01.009
19. Dill-Macky R., Jones R.K. The effect of previous crop residues and tillage on fusarium head blight of wheat. *Plant Disease*, 2000, vol. 84(1), pp. 71–76. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.1.71
20. Naumkin V.N., Kryukov A.N. A systematic approach to the development and evaluation of new effective resource-saving technologies for the cultivation of field crops. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy [Innovations in the AIC: problems and prospects]. 2019, no. 3(23), pp. 148–156. (In Russian)
21. Stephen M.O., Swan A., Paustian K. No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, vol. 149, pp. 37–49. DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.010
22. Stubbs T.L., Kennedy A.C., Schillinger W.F. Soil Ecosystem Changes During the Transition to No-Till Cropping. *Journal of Crop Improvement*, 2004, vol. 11(1), pp. 105–135. DOI: 10.1300/J411v11n01_06
23. Flexibility of No-Till and Reduced Till Systems Ensures Success in the Long Term. URL: http:// www.agr.gc.ca/eng/science-and-innovation / agricultural-practices/soil-and-land/soil-management / flexibility-of-no-till-and-reduced-till-systems - ensuressuccess-in-the-long-term/?id=1219778199286 (дата обращения: 16.02.2022)
24. Bailey K.L. Johnston A.M., Kutcher H.R., Gossen B.D., Morrall R.A.A. Man-aging crop losses from foliar diseases with fungicides, rotation, and tillage in the Saskatchewan Parkland. Canad. J. Plant Sc. 2000, vol. 80, no. 1, pp. 169–175.
25. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment *Soil and Tillage Research*, 2012, vol. 118, pp. 66–87. DOI: 10.1016/j.still.2011.10.015

26. Dorn B., Stadler M., van der Heijden M., Streit B. Regulation of cover crops and weeds using a roll-chopper for herbicide reduction in no-tillage winter wheat. *Soil and Tillage Research*, 2013, vol. 134, pp. 121–132. DOI: 10.1016/j.still.2013.07.014
27. Mamaeva G.G. Evaluation of the effectiveness of environmentally friendly technologies, including minimum tillage, cover crops, organic fertilizers, etc., in weed control and sustainable grain production in units. Maryland, USA. Ekologicheskaya bezopasnost' v APK [Ecological safety in the agro-industrial complex. Abstract journal]. 2002, no. 1, p. 64. (In Russian)
28. Apaeva N.N., Manishkin S.G. Influence of tillage practices on the development of root rot and the yield of spring wheat. *MNIZH*, 2017, no. 11-3 (65), pp. 99–101. (In Russian) DOI: 10.23670/IRJ.2017.65.132
29. Dolbilova T.A., Kanonenko L.I., Pikushova E.A. Vliyanie sposobov osnovnoi obrabotki pochvy na porazhenie ozimoi pshenitsy sorta Antonina kornevymi gnilyami [Influence of methods of basic tillage on the defeat of winter wheat variety Antonina with root rot]. *Materialy KhI Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 95-letiyu Kubanskogo GAU i 80-letiyu so dnya obrazovaniya Krasnodarskogo kraya «Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa», Krasnodar, 2017* [Proceedings of the XI All-Russian Conference of Young Scientists dedicated to the 95th anniversary of the Kuban State Agrarian University and the 80th anniversary of the formation of the Krasnodar Territory «Scientific support of the agro-industrial complex», Krasnodar, 2017]. Krasnodar, 2017, pp. 194–195. (In Russian)
30. Beloshapkina O.O., Akimov T.A. Dynamics and pathogenic composition of root rots of winter wheat depending on the methods of basic processing of soddy-podzolic soil. Izvestiya TSHA [Izvestia TSHA]. 2016, no. 3, pp. 47–60. (In Russian)
31. Tsilyurik A.I. Influence of the main tillage on the degree of damage by pests and the incidence of diseases of grain crops. Zernovye kul'tury [Grain crops]. 2019, vol. 3, no. 1, pp. 93–101. (In Russian)
32. Lomanovsky A.V., Korchagina I.A., Yushkevich L.V., Malinina A.I. Agrotechnologies and development of root rot on spring wheat in the forest-steppe of the Omsk region. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Omsk State Agrarian University]. 2016, no. 4(24), pp. 26–33. (In Russian)
33. Wildermuth G.B., Thomas G.A., Kelly A. Crown rot and common root rot in wheat grown under different tillage and stubble treatments in southern Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research*, 1997, pp. 211–224. DOI: 10.1016/S0167-1987(97)00054-8
34. Govaerts B., Fuentes M., Sayre K.D. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil and Tillage Research*, 2007, vol. 91(1), pp. 209–219. DOI: 10.1016/j.still.2006.07.013

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Роман Ю. Данилов, Ксения Э. Гасиян и Артем В. Пономарев провели исследование и поиск литературы. Оксана Ю. Кремнева и Артем В. Пономарев задумали исследование, разработали его методологию, провели исследований, проанализировали, написали рукопись. Оксана Ю. Кремнева отредактировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Roman Yu. Danilov, Ksenia E. Gasiyan and Artem V. Ponomarev conducted a research and literature search. Oksana Yu. Kremneva and Artem V. Ponomarev conceived the study, developed its, methodology, undertook research and analysis, and wrote the manuscript. Oksana Yu. Kremneva edited 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

Артем В. Пономарев / Artem V. Ponomarev https://orcid.org/0000-0003-0514-5797
Оксана Ю. Кремнева / Oksana Yu. Kremneva https://orcid.org/0000-0003-0982-6821
Ксения Э. Гасиян / Ksenia E. Gasiyan https://orcid.org/0000-0003-2192-326
Роман Ю. Данилов / Roman Yu. Danilov https://orcid.org/0000-0001-8454-0765

Оригинальная статья / Original article
УДК 911:2
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-182-196

Ландшафтно-гидрологический феномен образования плавучих островов на озере Чебаркуль (Давлетово) в бассейне реки Урал

Владимир М. Павлейчик, Жанна Т. Сивохип
Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

Контактное лицо
Владимир М. Павлейчик, кандидат географических наук, отдел ландшафтной экологии, Институт степи УрО РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +73532774432, +73532776247
Email vmpavleychik@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-2846-0442

Формат цитирования
Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т. Ландшафтно-гидрологический феномен образования плавучих островов на озере Чебаркуль (Давлетово) в бассейне реки Урал // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 182-196. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-182-196

Получена 22 августа 2022 г.
Прошла рецензирование 14 сентября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. Зафиксировать факт развития плавучих островов на озере Чебаркуль (Давлетово) в качестве ландшафтно-гидрологического феномена в бассейне р. Урал и в Южном Зауралье, определить механизмы формирования, выявить специфические особенности их морфоструктуры, внутригодовых перемещений и многолетней динамики.

Материалы и методы. На основе спутниковых снимков высокого (2003–2020) и среднего (1972–2020) пространственного разрешения проведен анализ качественных и количественных показателей, отражающих многолетнюю и внутригодовую динамику состояния плавучих островов и сплавин.

Результаты. Установлено, что основным поставщиком материала для островов являлись сплавины на участке впадения в озеро водотоков (р. Янгелька и руч. Могак), которые периодически (в периоды экстремальных весенних паводков) утрачивают связь с прибрежными мелководьями и выносятся в акваторию озера. Выявлены высокая вариативность состояний и динамичность смещения островов, а также тенденция сокращения количества и площади островов и сплавины, обусловленная, в том числе, последствиями аномального летнего паводка 2013 года. Находясь в незакрепленном состоянии плавучие острова дрейфуют по акватории озера на значительные расстояния, достигающие 10–15 км и более в безледный период года. Основной движущей силой является ветер, вызывающий преобладающие вдольбереговые смещения островов, в результате столкновений они сокращаются в размерах и приобретают округлую в плане форму.

Заключение. На протяжении всего исторического периода плавучие острова во всем мире воспринимались в качестве ландшафтного феномена, заслуживающего охраны и рационального использования. Озеро Чебаркуль с плавучими островами представляет несомненный интерес в качестве объекта географических, гидрологических и эколого-биологических исследований.

Ключевые слова
Плавучие острова, сплавина, ландшафтно-гидрологический феномен, озеро Чебаркуль, бассейн р. Урал.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Landscape-hydrological phenomenon of the formation of floating islands on Lake Chebarkul (Davletovo) in the Ural River basin, Russia

Vladimir M. Pavleichik and Zhanna T. Sivohip
Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal contact
Vladimir M. Pavleichik, Candidate of Geographical Sciences, Department of Landscape Ecology, Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionerskaya St, Orenburg, Russia 460000.
Tel. +73532774432, +73532776247
Email vmpavleychik@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-2846-0442

How to cite this article
Pavleichik V.M., Sivohip Zh.T. Landscape-hydrological phenomenon of the formation of floating islands on Lake Chebarkul (Davletovo) in the Ural River basin, Russia. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 182-196. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-182-196

Received 22 August 2022
Revised 14 September 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. To record factually the development of floating islands on Lake Chebarkul (Davletovo) as a landscape-hydrological phenomenon in the Ural River basin and in the Southern Trans-Urals, to determine the mechanisms of formation and to identify the specific features of their morphostructure, intra-annual movements and long-term dynamics.
Materials and Methods. Based on images of high (2003–2020) and medium (1972–2020) spatial resolution, an analysis was made of qualitative and quantitative indicators reflecting the long-term and intra-annual dynamics of the state of floating islands (mats) and coastal thickets of macrophytes («splavina» or «labza» in Russian).
Results. It was established that the main source of material for the islands were the coastal thickets of macrophytes at the site of the confluence of watercourses into the lake (Yangelka River and Mogak Crrek), which periodically (during periods of extreme spring floods) lose contact with coastal shallow waters and are carried into the lake. The high variability of the states and the dynamism of the displacement of the islands, as well as the tendency to reduce the number and area of the islands and coastal thickets of macrophytes, caused, among other factors, by the consequences of the anomalous summer flood of 2013, were revealed. Being in an unfixed state, floating islands drift along the water area of the lake for considerable distances, reaching 10–15 km or more during the ice-free period of the year. The main driving force is the wind, which causes prevailing alongshore displacements of the islands: as a result of collisions, they are reduced in size and acquire a rounded shape in plan.
Conclusion. Throughout the historical period, floating islands around the world have been perceived as a landscape phenomenon that deserves protection and rational use. Lake Chebarkul with floating islands is of undoubted interest as an object of geographical, hydrological, ecological and biological research.

Key Words
Floating islands, coastal thickets of macrophytes, landscape-hydrological phenomenon, Lake Chebarkul, Ural River basin.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Водосборная территория р. Урал охватывает обширный регион с крайне неоднородными условиями формирования стока. Наиболее существенный вклад в сток главной реки вносят притоки, водосборы которых располагаются в пределах крупной орографической структуры, имеющей циркуляционно-барьерное значение – Уральской горной страны. Эта часть бассейна отличается лучшей обеспеченностью атмосферными осадками и запасами снега к периоду весеннего половодья, преобладанием горно-лесных условий стокоформирования и рядом других немаловажных особенностей, влияющих на режим и водность рек. Несмотря на значительное вертикальное и пространственное расчленение поверхности в этой части водосбора р. Урал широко развиты депрессии тектонического происхождения, часть которых либо вовлечена в речной сток, образуя полузамкнутые проточные водоемы, либо замыкает внутрибассейновые участки с внутренним стоком. Сходная ситуация наблюдается и в структуре стока на прилегающей части полого-волнистой равнины, сформировавшейся на основе древнего зауральского пенеплена. Подобные участки представляют интерес с позиций формирования стока главной реки с учетом наблюдаемых однонаправленных тенденций и многолетних фаз различной водности [1]. В этой связи важна фиксация возможных признаков изменения условий формирования стока, обусловленных как естественными, так антропогенными причинами. Так, при подготовке геоинформационной базы экспедиционных исследований авторами статьи на озере Чебаркуль, вовлеченном в сток р. Янгелька (приток р. Урал), зафиксировано такое редкое для региона явление, как постоянные плавучие острова, свободно перемещающиеся по акватории озера.

Объектом данного исследования стало проточное озеро Чебаркуль, а точнее – ландшафтно-гидрологический феномен образования обширных сплавин и плавучих островов. Административно озеро расположено в Абзелиловском районе Республики Башкортостан. Для избежания недоразумений, связанных с озером с таким же названием в Челябинской области в 205 км северо-восточнее, его также называют Давлетово, по одноименному селу на его побережье. Как и большинство других озер Южного Зауралья и восточных предгорий Южного Урала чаша озера Чебаркуль имеет тектоническое происхождение. В современном рельефе оно располагается в зоне стыка меридиональных уральских хребтов и обширной зауральской равнины (древнего пенеплена). По данным [2] площадь зеркала составляет 10,0 км², средняя и максимальная глубина – 2,0 м и 3,5 м, объём воды – 20,4 млн м³; площадь водосбора – 369,0 км², время условного водообмена составляет 5,3 лет, коэффициент емкости озерной чаши – 0,54, удельный водосбор – 36,9.

Отметим, что состояние озер может являться индикатором различного рода изменений, происходящих на водосборных территориях, а также отражать этапы своей естественной эволюции. В этой связи озера – ценный объект для проведения эколого-гидрологических и ландшафтно-географических исследований. В данном исследовании нами обращено внимание на иной аспект их изучения. Озера отдельного географического региона обычно имеют общие черты, связанные с определенным сходством происхождения котловин, истории развития, условий питания и др. Одновременно каждое из них в отдельности обладает набором специфических характеристик, определяющих их своеобразие. Важно, что устойчивое проявление существенных отклонений от нормы может, а, скорее всего, и является отражением специфических процессов, формирующих тот, или иной географический объект. В любом случае, изучение природных феноменов имеет важное значение для систематизации и понимания природных процессов и явлений.

Как следует из литературных и других источников информации плавучие острова являются довольно распространенным явлением для различных регионов мира. Одним из наиболее ценных научных трудов по географии распространения и в целом по интересующей тематике является монография «Плавучие острова: глобальная библиография» [3], в которой, по многочисленным рецензиям (к сожалению авторам не представилось возможности ознакомиться с данной публикацией), содержится анализ более чем полутора тысяч источников на пятнадцати языках. Сразу отметим, что в зарубежной научной литературе рассматриваемая тема проработана более существенно. Значительная часть публикаций посвящена изучению экологии и геоботаники, механизмов образования плавучих островов, географии их распространения и описанию региональных особенностей. Результаты исследований, выполненных по озеру Виктория (Уганда) [4], свидетельствуют об определенном сходстве ведущих факторов формирования плавучих островов с оз. Чебаркуль. О взаимосвязях между гидрологией и освоением растительностью водно-болотных угодий и образованием плавучих островов для различных географических регионов указывается в [5; 6]. Широкое распространение водоемов с плавучими островами в Индии позволило авторам [7] систематизировать их разнообразие исходя из особенностей происхождения и развития, видовому составу и динамике растительных сообществ, условиям существования. Сходные с островами озера Чебаркуль образования отмечаются на участке русла Белого Нила, обширном болоте Судд (Южный Судан), одним из наиболее обширных водно-болотных угодий в мире с богатейшим биоразнообразием [8]. Последнее десятилетие активно обсуждается перспектива строительства искусственных плавучих островов для поддержания биоразнообразия водно-болотных угодий и для хозяйственных целей. Плавучие острова часто охраняются в составе водно-болотных угодий и в различных регионах Земли имеют свои местные обозначения, к примеру, «матупа» (бразильская Амазония), «пхумди» (озеро Локтак, Индия), «судд» (Южный Судан), «лабза» (Зауралье, Сибирь и Дальний Восток, Россия).

Механизмы образвания плавучих островов в целом общеизвестны и сводятся к двум вариантам. Первый – это отторжение под действием ветра или течений части плотных прибрежных зарослей околоводной растительности (макрофитов), так называемой сплавины, слабо прикрепленной корнями (либо не прикрепленной) ко дну озера. К этому варианту и относятся плавающие острова на

рассматриваемом озеро Чебаркуль. Второй – это поднятие на поверхность воды части торфяных отложений в условиях наступления фаз повышенной водности (рассматриваемые ниже в статье озера юга Западной Сибири), либо при изменения гидрологических условий, связанных с созданием водохранилищ, что становится значимой проблемой для судоходства и функционирования ГЭС на многих водохранилищах России [9–12]. Водоемами с плавучими островами также могут стать сельскохозяйственные угодья; так для населения отдельных регионов Индии их образование представляют собой угрозу деградации рисовых полей [7].

При глобальном распространении такого явления как плавучие острова, в чем же заключается уникальность озера Чебаркуль? Первое, это расположение в засушливом степном регионе со слабо развитым поверхностным стоком. Второе, это удаленность (изолированность) от других мест распространения подобных водоемов, при том, что ни на одном из озер Южного Урала и Зауралья постоянные плавучие острова не образуются. Анализ спутниковых изображений показал, что процесс зарастания (сезонного и многолетнего), часто с образованием островов на мелководьях наблюдается на многих озерах Зауралья, особенно это отчетливо заметно на озерах с большими амплитудами колебания уровня воды из-за отсутствия постоянного притока воды (Улянды, Бурсуны, Султанкуль, Сериккуль у с. Халилово, Агаслы, Уляндыкуль, Графское и др.). Все они имеют свою специфику зарастания, но лишь на одном некрупном (0,23 км²) озере Большое Моховое (северо-западнее оз. Малый Бугодак) отмечается 2 плавучих острова.

Несмотря на необычность явления плавучих островов, упоминания в отечественной научной литературе немногочисленны и сводятся к изучению сукцессионных преобразований растительного покрова, процессов образования торфяных залежей и проблем, связанных с использованием водных объектов. Непосредственно о плавучих островах на оз. Чебаркуль встречается краткое упоминание в [2], попытка обосновать механизм их образования содержится в публикации [13]. Интересно, что сплавина, сапропель и плавучие острова оз. Чебаркуль упоминаются в серии публикаций агроэкологической направленности, где рассматриваются в качестве основы для получения органо-минеральных удобрений [14; 15]; как отмечают авторы, потенциальное использование этого биоресурса может рассматриваться также как способ очистки водоема. Сразу отметим, сведения об экологической роли плавучих островов разноречивы, что по-видимому связано с их региональными особенностями, традициями использования, специализацией и методологией исследований. Так, указывается [16], что плавучие торфяные острова Рыбинского водохранилища из-за своей труднодоступности стали местом гнездования редкого вида орнитофауны – серебристой чайки. Результаты отдельных работ [17] показывают, что плавучие острова (естественные и искусственные) значительно повышают эффективность естественных процессов, снижающих содержание питательных веществ (азот и фосфор), взвешенных веществ, тяжелых металлов и других загрязняющих веществ. Таким образом, плавучие острова и сплавины следует воспринимать как признак самоорганизации экосистемы озера и перед постановкой вопроса об их использовании необходимо проведение детальных эколого-биологических исследований. Одновременно [18] указывается, что образование островов может являться признаком деградации экосистемы, загрязнения и эвтрофикации.

Приток воды в оз. Чебаркуль обеспечивается одним постоянным водотоком – р. Янгелька, а также системой ручьев, сезонных водотоков, ложбин стока и других элементов эрозионной сети, дренируемых этой рекой. Также в северную часть побережья впадает сезонный (в нижней части течения) руч. Могак. На отдельных отрезках русла водотоков проложены по полузамкнутым заболоченным депрессиям рельефа. Помимо оз. Чебаркуль в эту систему стока (постоянного и сезонного поверхностного, подземного) вовлечены озера Сабакты и Банное (из последнего начинается условно р. Янгелька), Суртанды, Малое Щучье и ряд других менее значимых. Западнее озер Чебаркуль и Суртанды стокоформирование происходит в условиях низкогорных ландшафтов (отроги южно-уральского хр. Крыкты-тау), узкую восточную часть водосбора занимают слабодренированные равнинные земледельчески освоенные ландшафты.

Озеро Чебаркуль является слабопроточным (в него впадает и вытекает р. Янгелька), сток воды происходит через шлюзы подпорной плотины. Таким образом регулируется уровень озера, не допуская подтопления прибрежных территорий в весенний период и существенного снижения уровня в меженный период, а также должна осуществляться фильтрация от плавучих островов. На спутниковых снимках, датированных 1972 годом, плотина уже существует, таким образом условия водного режима озера были однотипны на протяжении как минимум 50-ти лет. По результатам оконтуривания водосборной площади оз. Чебаркуль она оказалась существенно более значимой, чем приводимая в публикации [2], и составила 503 км² (рис. 1).

Низкогорные условия водосбора предполагают, что в периоды экстремальных атмосферных осадков и активного снеготаяния неминуемо возникает значимый приток воды в озеро, способствующий частичному выносу озерных отложений. Одновременно возникает угроза целостности подпорной дамбы. Так, в августе 2013 года при выпадении аномальных осадков наблюдалось резкое повышение уровня воды в реках и озерах Южного Зауралья, приведшее к подтоплению дорог и населенных пунктов, возникновению угрозы разрушения подпорных дамб (Банное, Чебаркуль), необходимости эвакуации населения. Непосредственно на озере Чебаркуль были созданы прорывы в дамбе, что привело к практически полному осушению озера; после восстановления целостности плотины озеро вновь наполнилось за 10 дней [19]. На видео очевидцев события можно наблюдать процесс разрушения островов при их движении в образовавший аварийный проран и дальнейший снос в р. Янгельку. Эти события – повышение уровня, осушение и последующее восстановление озера – стали одними из ключевых в современной истории водоема и повлияли на количественный состав островов, состояние сплавины и в целом на биоразнообразие водоема.

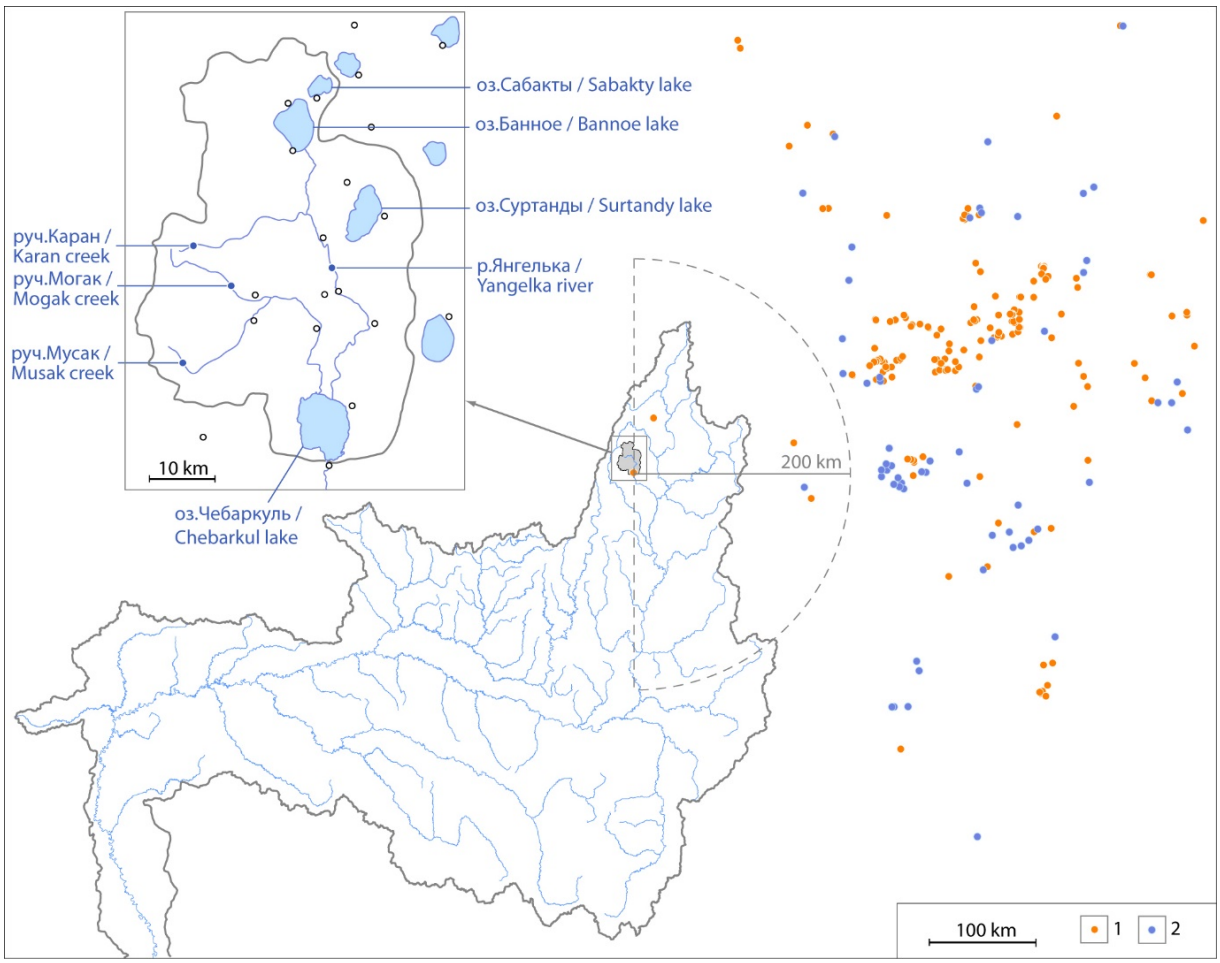


Рисунок 1. Положение водосборной площади озера Чебаркуль в бассейне р. Урал. Распространение озер с плавучими островами на сопредельных территориях

1 – озера с плавучими островами; 2 – озера с признаками бывших плавучих островов и сплавин. Пунсонами обозначены *населенные пункты*

Figure 1. Position of the catchment area of Lake Chebarkul in the Ural River basin. Distribution of lakes with floating islands in adjacent territories

1 – lakes with floating islands; 2 – lakes with signs of former floating islands and quays. Circles indicate settlements

К сожалению, многолетние гидрологические наблюдения в пределах водосборной территории озера Чебаркуль отсутствуют. Единственный гидрологический пост находился в устье р. Янгелька (вне исследуемой территории) и функционировал в период с 1932–1951 гг. Согласно данным гидрологических наблюдений на смежных территориях (р. Урал – Верхнеуральск; р. Большой Кизил – д. Верхнее Абдряшево) можно сделать выводы о том, что за рассматриваемый период наблюдалось две фазы водности – многоводная (1985–2007) и маловодная (2008–2021) [20].

Повсеместно отмечаются следы проведения водномелиоративных работ, представленные подпорными дамбами на побережьях озер (Банное, Чебаркуль), спрямленными и углугленными участками русел рек, размытой (во время летнего паводка 2013 г.) и не восстановленной плотиной водохранилища на р. Янгелька у с.Михайловка. На водосборной площади находится 14 сельских населенных пунктов, из хозяйственных видов деятельности распространено животноводство и земледелие, рыборазведение, рекреация и туризм. В отдельные годы (1986, 1991, 1996, 2015), обычно в марте-апреле, фиксируются факты поджогов и развития тростниковых пожаров в различных частях озера; возможно это одна из прилагаемых местным населением мер по борьбе с зарастанием озера.

Таким образом, плавучие острова оз. Чебаркуль, механизмы их образования, перемещения и трансформации определенно имеют научный интерес как в качестве ландшафтного феномена, так и с позиций изучения региональных особенностей эволюции озер и условий формирования речного стока.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу проведенного исследования положен анализ спутниковых изображений Земли. Снимки спутников Landsat (1–8) и Corona низкого и среднего пространственного разрешения обеспечивали изучение многолетней динамики и особенностей внутригодового перемещения островов, тогда как снимки WorldView (1–4) высокого разрешения – преимущественно анализ изменений количественных параметров за отдельные годы.

Источником снимков WorldView (вернее синтезированных изображений) послужил геоинформационный сервис Google Earth Pro. Полностью на рассматриваемую территорию в открытом доступе находятся снимки за следующие даты: 09.08.2003, 01.09.2003, 14.08.2014, 24.04.2016, 08.07.2016,

02.08.2016, 01.07.2017, 03.11.2018, 12.04.2019, 15.06.2020. Приняты во внимание снимки, охваты-вающие озеро частично – 22.07.2009, 26.10.2010, 02.02.2014, 12.05.2014, 01.09.2018, 31.05.2019, 30.07.2019, также использовано еще 26 изображений с меньшим разрешением из каталога выбора снимков European Space Imaging. Таким образом, данными снимками обеспечивается временной охват в 18 лет, что позволило проследить тенденции многолетних преобразований плавучих островов, определить параметры изменений их количества и площади. Контуры островов и береговой линии дешифрировались визуальным способом, оцифровке подвергались объекты площадью более 50 м². Исходя из положения отдельных островов, имеющих отличительные морфологические особенности, были определены предположительные траектории их внутригодовых перемещений в 2016 году. Для 2003 года проведена аналогичная работа; небольшой временной интервал между снимками (24 дня) позволил сократить неизбежные погрешности в определении протяженности и траекторий движения островов. Также для этого года проведена сортировка островов по протяженности их смещения, на основании чего сделаны выводы об отсутствии явной взаимосвязи между размером и формой островов и протяженностью дрейфа.

Коллекции спутниковых снимков Landsat (1–8) относятся к периоду с 1974 года по настоящее время (45 лет). Анализ снимков позволил выявить направления и скорость передвижения отдельных крупных островов и их скоплений, отследить ключевые этапы формирования островов и положение сплавины и др. С их помощью составлено представление о внутригодовых вариациях уровенного режима озера, сроках наступления паводка, установлении и разрушении ледового покрова и др. В этом же направлении использовались отдельные снимки серии американских разведывательных спутников Corona (находящиеся в открытом доступе); наиболее раннее качественное изображение по интересующей территории относится к 1972 году.

Для проведения расчетов были оцифрованы контуры чаши озера (15582,6 тыс. м²) и открытой акватории (12430,2 тыс. м²). С учетом того, что внутренняя граница сплавины (за исключением участка в устье р. Янгелька) не была подвержена значимым трансформациям за рассматриваемый период (2003–2020), открытая акватория являлась тем пространством, на котором проходили перемещения плавучих островов. Береговая линия озера и острова были рекогносцировочно обследованы в июле 2022 года; фиксировались характер растительного покрова (в т.ч. наличие кустарниковых зарослей и побегов деревьев на островах), состав и состояние гидротехнических сооружений.

Заключение о ландшафтно-гидрологическом феномене озера Чебаркуль основано на результатах изучения снимков высокого разрешения (Google Earth), охватывающих бассейн р. Урала и Южное Зауралье. Позднее авторами аналогично обследована обширная территория, прилегающая с востока – слабодренируемые преимущественно озерно-аллювиальные равнины, сформированные на различных морфоструктурах (главным образом Тургайский прогиб и юг Западной Сибири). Здесь, среди многочисленных озер на значительном удалении от оз. Чебаркуль, были зафиксированы озера с плавучими островами и сплавинами, что дало возможность выявить их региональные особенности, черты сходства и различий.

В целом процесс зарастания озер является объектом исследования различных научных направлений (гидрология, ботаника, география, лимнология, болотоведение). В связи с многообразием терминологического аппарата, обозначающего стадии и формы зарастания, а также согласно традиционного обозначения данных водоемов на топографических картах рассматриваемого региона, мы обозначаем водоемы с плавучими островами и сплавинами как озера.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности озера Чебаркуль с позиций феномена формирования плавучих островов

Одним из ключевых вопросов исследования стало определение механизма образования сплавин и собственно плавучих островов, так как этим достигается понимание взаимоотношений между гидрологическим режимом и экологическим состоянием водоема и развитием растительности. В ходе исследований выявлено, что основным местом образования плавучих островов являлись сплавины, формирующиеся в прибрежной зоне озера в районе впадения р. Янгелька и руч. Могак.

Сплавины – это плотный слой живой фитомассы и торфа, возникающий в результате активного нарастания прибрежных зарослей гидрофильных корневищных растений (камыш, рогоз, осоки) по направлению от берега к открытой акватории. В ходе формирования часть сплавины утрачивает контакт с подводным грунтом (илом) и при определенных условиях становится возможным отрыв растительно-торфяного слоя от основной массы и последующий дрейф по акватории (рис. 2 А). Для соблюдения таких условий требуется наличие подводных уступов в рельефе прибрежной части озера (возможно, что роль такого перегиба выполняют подводные эрозионные врезы р. Янгелька) и движущей силы, в качестве которой выступает водный поток реки и ветры определенных направлений. Площадь этой, наиболее динамичной, части сплавины на оз. Чебаркуль в устье р. Янгелька постоянно варьировала, в целом снижаясь от 1045 тыс. м² (1981) до 373–286 тыс. м² (2003–2020).

В северной части озера находится устье еще одного притока – руч. Могак, вода которого достигает озера преимущественно лишь в весенний период. Интересно, что в районе его впадения также сформировались обширные заросли прибрежной растительности с отдельными деревьями березы и кустарниками, занимающие значимые 652 тыс. м². В период 2003–2020 годы эта часть прибрежных зарослей не претерпевала каких-либо площадных изменений и пространственных смещений, тогда как в 1980-е годы площадь достигала 1335 тыс. м². Вместе с тем, неоднородность растительного покрова (местами с образованиями округлой формы), частичная вовлеченность в процесс образования островов, наличие водных окон и узкой полосы водного пространства между зарослями и береговой линией может свидетельствовать о том, что в предшествующие многоводные фазы озера эта часть также являлась сплавиной и формировалась как за счет естественных процессов зарастания, так и по мере прикрепления плавучих островов. Это отчетливо доказывают снимки

Landsat за 1970–1980-е годы, на которых зафиксированы пространственная целостность и общность процессов в устьевых частьях р. Янгелька и руч. Могак – затапливание, дезинтеграция и образование плавучих островов.

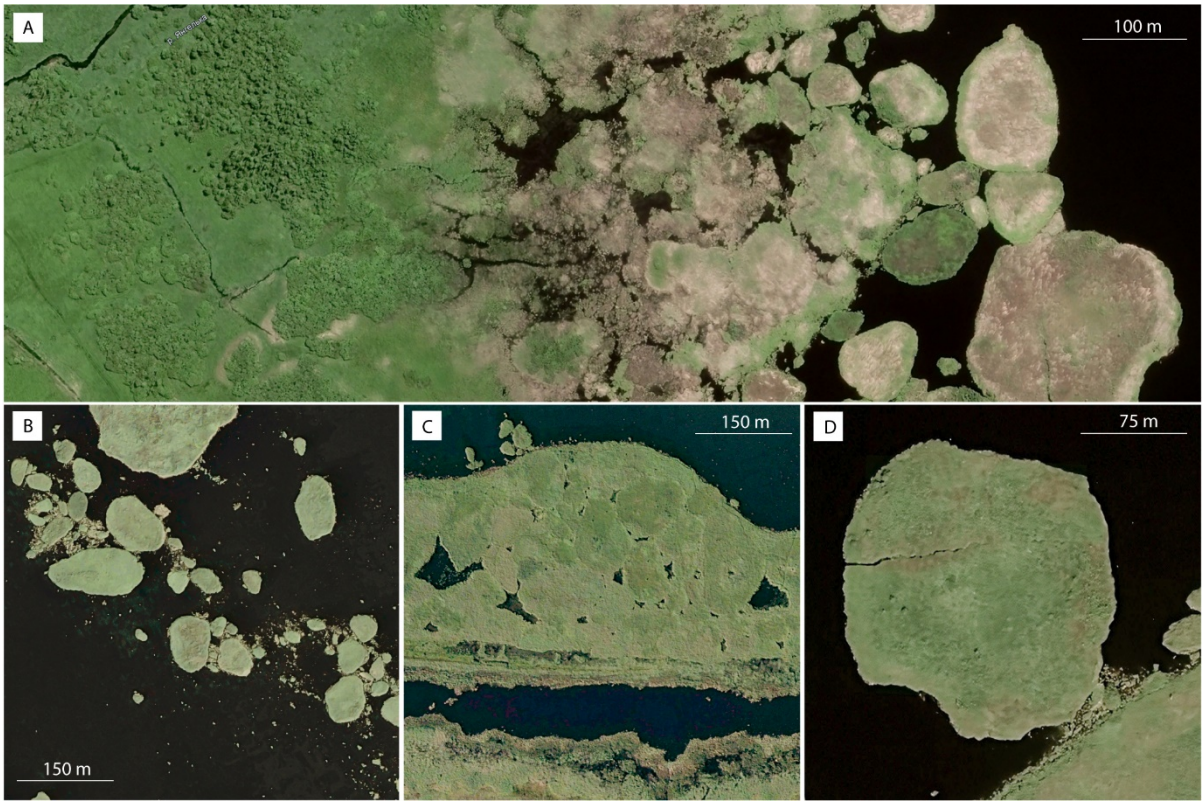


Рисунок 2. Примеры развития плавучих островов и сплавин на спутниковых снимках WorldView:
A – переход от поймы р. Янгелька к сплавине с дезинтегрированными фрагментами, закрепленными и незакрепленными островами; B – сочетание постоянных плавучих островов с нехарактерными раздробленными фрагментами (снимок 09.08.2003); C – формирование сплавины за счет закрепления плавучих островов (восточный сектор озера); D – первичная стадия разрушения плавучего острова (трещина)

Figure 2. Examples of the development of floating islands and coastal macrophyte thickets shown on WorldView satellite images:
A – the transition from the floodplain of Yangelka River to the coastal macrophyte thickets with disintegrated fragments and fixed and loose islands; B – a combination of permanent floating islands with uncharacteristic fragmentations (picture 09.08.2003); C – the formation of coastal macrophyte thickets due to the anchoring of floating islands (eastern sector of the lake); D – the primary stage of destruction of a floating island (crack)

Преобладающее расположение действующих и потенциальных сплавин в районах впадения водотоков не может быть случайным. По-видимому активному развитию прибрежной растительности здесь способствует приток органических веществ и осаждение аллювиальных отложений с формированием участков мелководий.

Анализ снимков показал, что основной материал для формирования островов поступал в результате отторжения крупных частей сплавины этой северной части озера. Такие события зафиксированы в период наибольшего весеннего притока воды в 1978 г. (сплавина в устье р. Янгельки) и в 1990 г. (наиболее крупный фрагмент сплавины в районе устья руч. Могак). Таким образом, формирование плавучих островов определяется совпадением во времени двух факторов – высокого весеннего паводка и критического нарастания прибрежных макрофитов.

На остальной части акватории озера прибрежные заросли формируют практически непрерывную полосую шириной от 5–10 м (западный сектор) до 325 м (восточный сектор). При ближайшем рассмотрении спутниковых изображений становится ясно, что заросли макрофитов здесь также состоят из своеобразного «конгломерата» бывших плавучих островов (рисунок 2 С). Это свидетельствует о том, что дезинтеграция единого массива сплавины – это не однонаправленный процесс, а в отдельные периоды сплавина может нарастать за счет прикрепления плавучих островов. Несмотря на то, что на снимках за рассматриваемый период (2003–2020) не отмечалось какой-либо значимой трансформации границ вдольбереговых зарослей, они также являются полноценными сплавинами. Среди признаков этого – неоднородность, округлый контур составных частей (бывший плавучие острова) и присутствие водных окон между ними.

В совокупности общая площадь всех сплавин в озере Чебаркуль составляет около 2,5 км². Приводится информация [15], что запасы сплавины составляют около 150 тыс. т с ежегодным приростом до 20 тыс. т.

Отметим, что юго-восточная часть озера отсечена протяженной дамбой, в результате чего образовался полузамкнутый водоем, видимо выполняющий буферные функции в регулировании стока воды; на нем

расположена насосная станция. По обе стороны дамбы сформировались сплавины, в отдельных местах настолько устойчивые и плотные, что по ним проложены тропинки рыбаков. Несмотря на незначительные размеры в этом внутреннем водоеме также наблюдается образование и дрейф плавучих островов.

Особенности перемещения и трансформация плавучих островов

По снимкам Landsat были определены параметры смещения идентифицируемых островов за период 1990–2021 годы. Ниже приведем схему положения и предполагаемого перемещения по двум (из 112) идентифицированным плавучим островам, составленную на основе анализа результатов дешифрирования снимков WorldView и Landsat-8 за 2016 год (рис. 3).

Даты снимков охватывают основные гидрологические состояния озера – разрушение ледового покрова (исходное положение островов на начало года), весеннее половодье, летне-осенняя межень, установление ледоставого покрова. Протяженность дрейфа островов в 2016 г. составила от 7,3 км (наиболее крупный остров №1, который курсировал вдоль северо-западной части акватории) до 20,5 км (остров №2). Исходя из подготовленных ситуационных схем средняя протяженность переноса составляла около 10–15 км. Часть островов остались на своем месте, либо претерпели незначительные смещения.

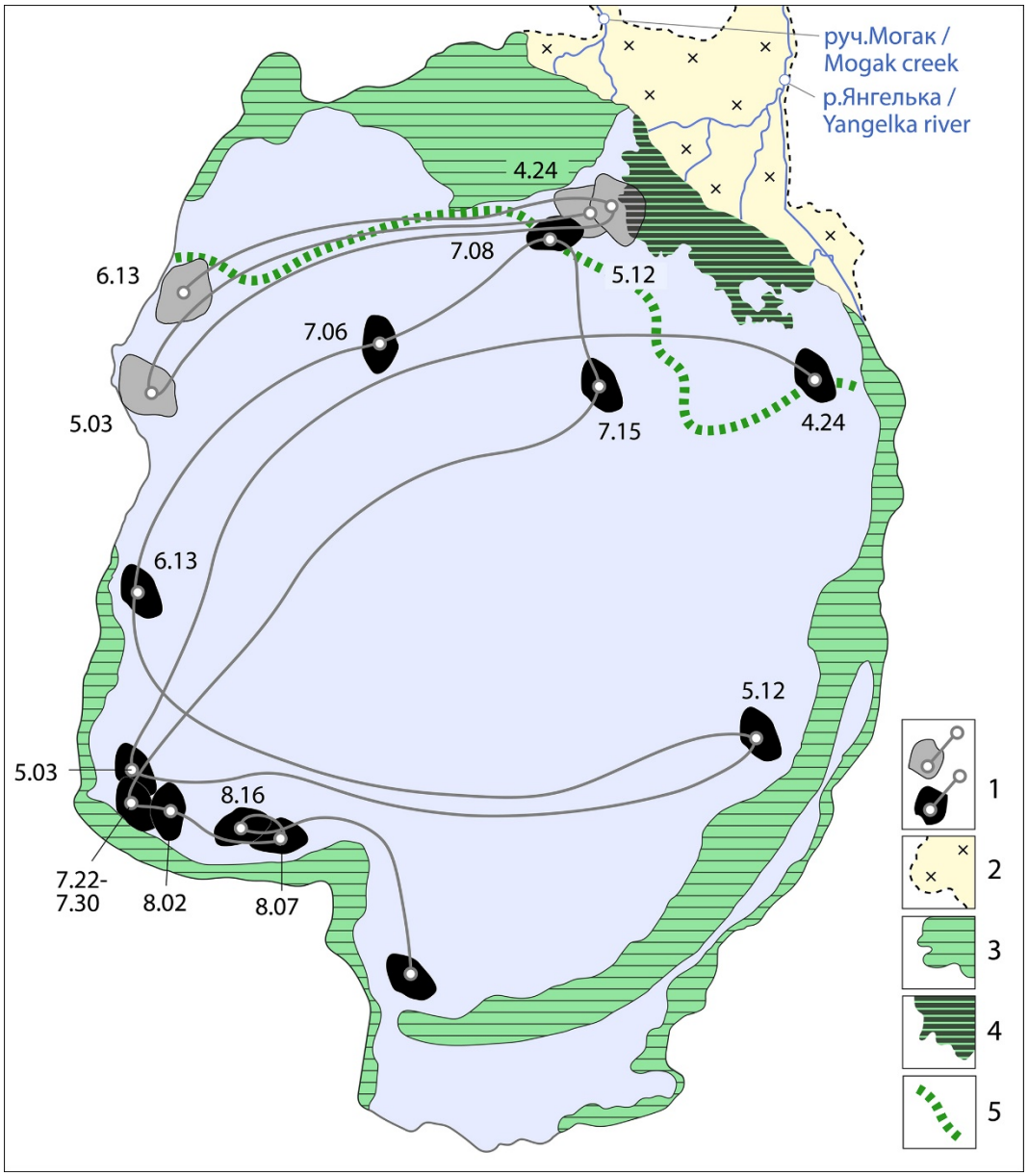


Рисунок 3. Схема расположения сплавины и перемещения островов в 2016 году: 1 – острова (№1 и №2), линии их перемещения и даты положения (месяц/день); 2 – приустьевая часть поймы р. Янгелька и руч. Могак; 3 – устойчивая часть сплавины; 4 – динамически активная часть сплавины; 5 – внешняя граница сплавины на 1981 год

Figure 3. Layout of coastal macrophyte thickets and moving islands in 2016: 1 – Islands No. 1 and No. 2, their lines of movement and position dates (month/day); 2 – estuary part of the floodplain of Yangelka River and Mogak Creek; 3 – the stable part of the coastal macrophyte thickets; 4 – the dynamically active part of the coastal macrophyte thickets; 5 – the outer boundary of the floating reed beds in 1981

Отметим, что общая ситуация с перемещением островов для каждого года специфична и зависит от гидрологического режима озера и погодных условий на протяжении безледного периода. Для примера приведем ситуационную схему за 2009 год (рис. 4), в котором перемещения островов были гораздо более сложными по направлениям и более протяженными. Так, остров №1 преодолел около 31,5 км.

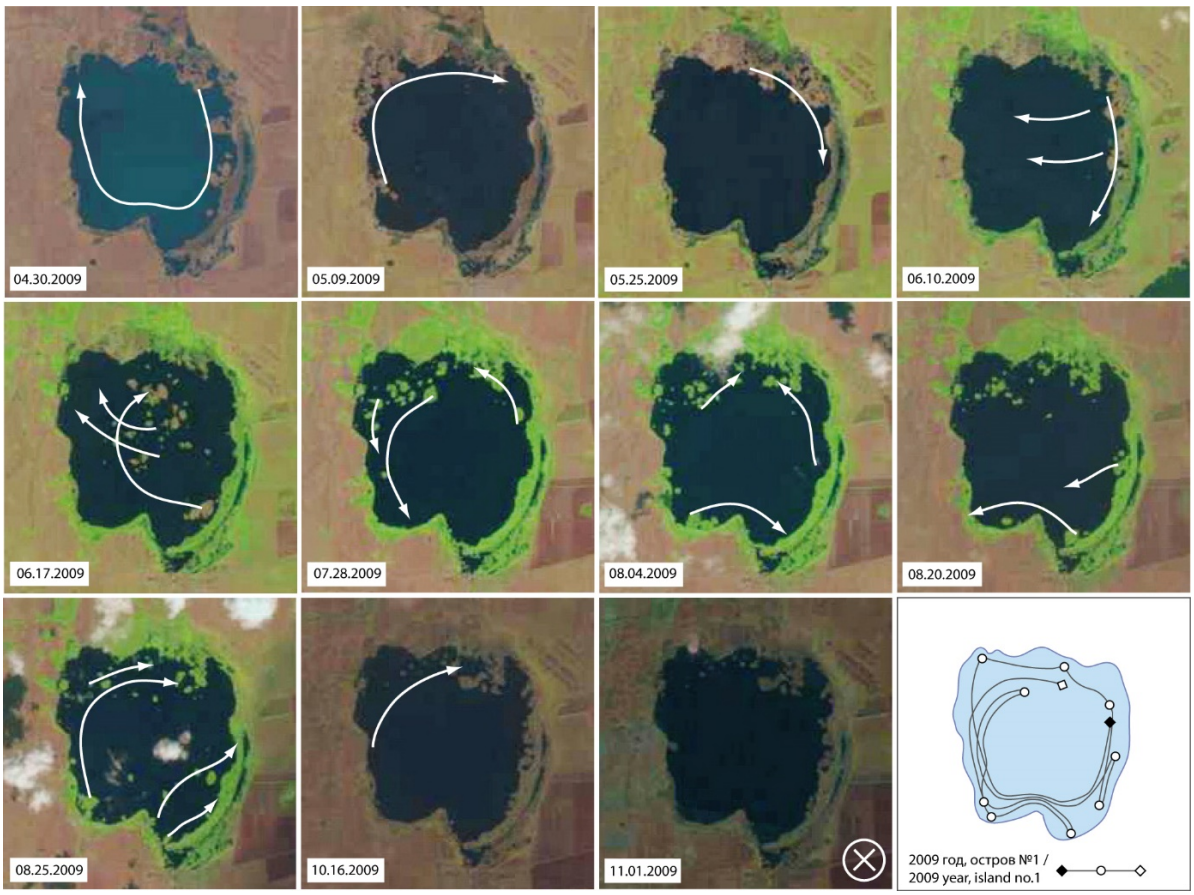


Рисунок 4. Ситуационная схема перемещения островов в 2009 году (Landsat-5, формат даты – месяц/день/год). Перемещение острова №1 за безледный период 2009 года
Figure 4. Situational pattern of island movement in 2009 (Landsat-5, date format – month/day/year). Relocation of Island No. 1 during the ice-free period of 2009

Из анализа подготовленных схем можно сделать следующие заключения. Находясь преимущественно в прибрежной зоне, острова неминуемо находятся под угрозой закрепления на мелководных участках. Наиболее очевидными причинами движения островов является сочетание факторов:

- весенний подъем уровня воды в озере, приводящий к откреплению нижней поверхности островов от донных отложений, а также к высвобождению части прибрежной сплавины из-за возникающих различий в уровнях;

- наиболее часто наблюдаемым движением является по часовой стрелке, особенно в весенний период, что можно связывать с поступлением весенне-паводковой воды р. Янгелька. В остальные периоды безледного состояния озера приток воды несопоставим с объемом воды в озере (20,4 млн м^3) [2], поэтому нет оснований полагать, что речной поток способен формировать какие-либо значимые течения;

- периоды сильного и порывистого однонаправленного ветра, формирующие благоприятные условия для открепления и движения островов – локальные перепады уровня воды и образование течений в сочетании с достаточно высокой парусностью островов.

Начало движения не является одномоментным для всех островов озера. Постепенно открепляясь от донных отложений острова подталкивают смежные острова, высвобождая отдельные группы. Имея в целом сходное направление движения, дальнейшие перемещения происходит по отдельности, исходя из размеров каждого из островов и их парусности. В ходе перемещения они могут сталкиваться с островами из других участков побережья. Заметим, что острова на подавляющем количестве снимков располагаются (часто группируются) в непосредственной близости от внешней границы сплавины, в связи с чем сделано заключение, что перемещения островов носит вдольбереговой характер.

По снимкам высокого разрешения за 2003 год (09 августа и 1 сентября) расчитаны показатели смещения 14 идентифицированных островов, составившие в среднем от 2,0 до 3,5–4,0 км за 24 дня. Соответственно максимальная среднесрочная скорость достигала 165 м в день, или 7 м/ч. Очевидно, что скорость смещения за весь период была неоднородной, соответственно максимальные показатели могли быть и выше. Также было выявлено, что какой-либо отчетливой связи между площадью и формой островов и протяженностью их перемещения не отмечается.

Наличие большего количества снимков среднего разрешения Landsat дает возможность отследить большее количество отрезков маршрута перемещения с лучшей достоверностью, но для таких объектов как плавучие острова удается идентифицировать лишь наиболее крупные из них и имеющие специфические формы. Такой анализ проведен применительно к периоду 1990–2021 годы. Так, результаты за 2016 год (рис. 3) в целом согласуются с приведенными выше данными. Определено, что средняя скорость перемещения островов составляла 8,1 м/ч и 8,3 м/ч (острова №1 и №2 соответственно), достигая 10,9 м/ч и 19,1 м/ч.

Продолжительный маршрут смещения островов неминуемо сопровождается их столкновением с другими островами, прибрежными зарослами и мелководьем, приводит к их постепенному разрушению. Вследствие этого они приобретают более округлые контуры и сокращают свои площади (рис. 5).

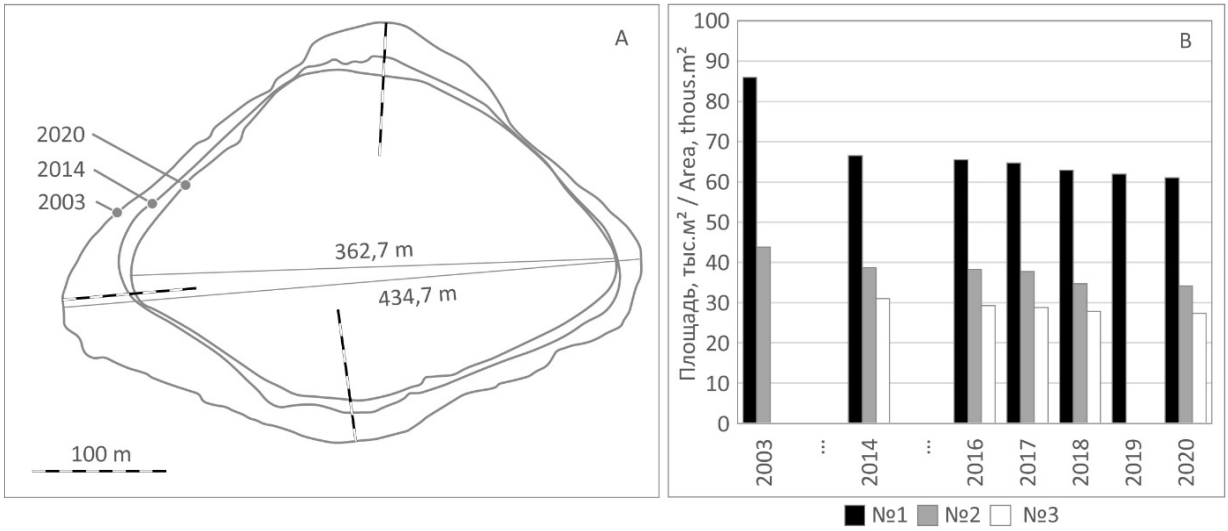


Рисунок 5. Изменение площади и морфометрических параметров островов: A – изменение морфометрических параметров острова №1 за 2003, 2016 и 2020 годы; B – изменение площади островов №№1–3 за период 2003–2020 годы

Figure 5. Changing the area and morphometric parameters of islands: A – change in morphometric parameters of Island No. 1 for 2003, 2016 and 2020; B – change in the area of Islands Nos. 1–3 for the period 2003–2020

Помимо постепенного разрушения (постепенное «стачивание» периметра острова) часть плавучих островов изначально менее устойчивы ко внешним воздействиям и разрушаются с образованием менее значимых образований (рис. 2 B и D). Об этом косвенно свидетельствует результаты сортировки островов по их площади за отдельные годы (рис. 6 A). Из приведенной схемы отчетливо заметно, что количество крупных островов в период с 2003 по 2016 годы существенно сократилось. На некоторых островах отмечаются трещины и другие признаки последующей дезинтеграции.

Вместе с тем, заметим, что сократилось количество и площадь не только крупных островов, но и в целом площадь островов любых размерностей. Количественное отображение этого, судя по всему, однонаправленного, процесса показано на рисунке 6 B. Проведенные исследования показывают, что суммарное количество островов (площадью более 50 м²) сократилось от 183 в 2003 году до 112 в 2016 г. и 104 в 2020 году.

Также отмечено, что сокращается и площадь сплавины в устье Янгелька с 372,8 тыс. м² в 2003 году до 340,7 тыс. м² в 2016 и 285,6 тыс. м² в 2020 году. В совокупности доля площади, занятая плавучими островами и сплавины, от площади акватории сократилась с 9,6 до 6,2%. Небольшие по площади острова более подвержены разрушению и при достижении критических размеров либо распадаются, либо переворачиваются ввиду большой парусности древесно-кустарникового покрова.

Приведенные выше данные фиксируют последствия важного события, определившего количественный состав островов и состояние сплавины – краткосрочная смена гидрологических условий в августе 2013 года, связанная аномальным за всю историю наблюдений летним паводком, приведшим к подъему уровня озера, необходимости спуска большей части воды и последующему заполнению. За этот короткий промежуток времени (3–4 недели) часть островов была разрушена и вынесена через проран плотины, другие острова закреплялись на мелководных участках и затем, по мере повышения уровня, всплывали заново. За это время от части сплавины могли быть отторгнуты отдельные участки и образованы новые острова. За последующее время (2014–2020) наблюдалось небольшое сокращение количества островов, площади островов и сплавины.

При возникновении метеоусловий с резким изменением направления ветра и усилением его силы острова начинают стремительное и хаотичное движение. Единственный из снимков высокого разрешения (09 августа 2003) фиксирует множественные следы разрушения островов с образованием отдельностей размером от 1 до 5 м в поперечнике (фрагмент снимка на рисунке 2 B). В такие периоды движение островов зависит от их первоначального положения относительно береговой линии и направления ветра. В целом центральное положение островов на акватории озера наблюдается крайне редко.

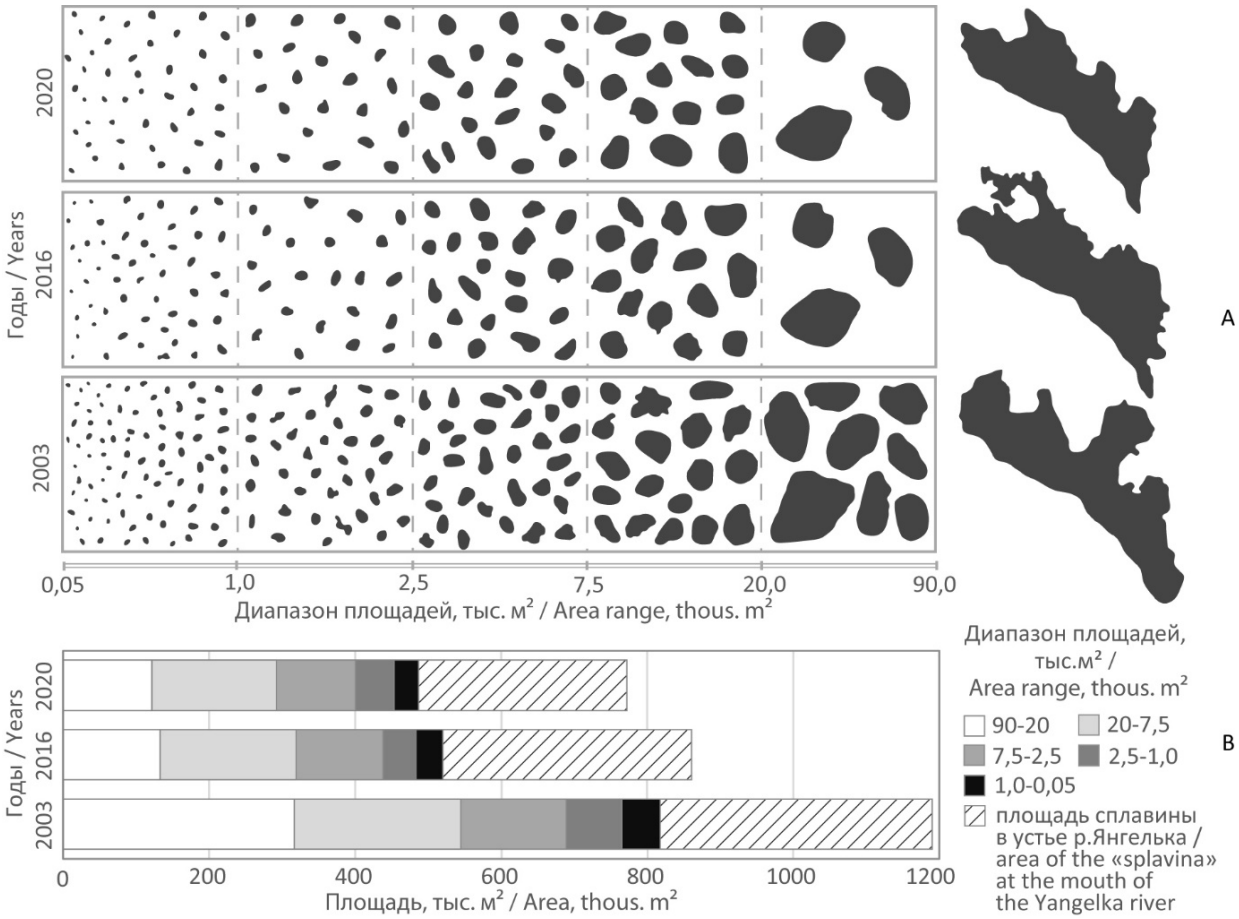


Рисунок 6. Изменения в морфоструктуре плавучих островов и сплавины в устье р. Янгелька за 2003, 2016 и 2020 годы: А – сортировка плавучих островов по их площадям и изменение контуров сплавины; В – диаграмма изменения суммарной площади плавучих островов и сплавины

Figure 6. Changes in the morphostructure of moving islands and coastal macrophyte thickets at the mouth of the Yangelka River for 2003, 2016 and 2020: A – sorting of floating islands according to their areas and change of contours of coastal macrophyte thickets; B – diagram of changes in the total area of moving islands and coastal macrophyte thickets

Феномен плавучих островов в научных публикациях, литературных и исторических источниках

Этот раздел статьи был подготовлен уже после проведения геоинформационных и аналитических исследований по оз. Чебаркуль, поэтому при ознакомлении с другими источниками информации мы находили подтверждения полученных ранее выводов и заключений.

В контексте проведенного исследования нельзя не отметить одну из научных публикаций, посвященную изучению «традиционных экологических знаний» местного населения бразильской Амазонии, проживающего вблизи водоемов с «матупас» – свободно плавающими островами растительности [21]. Вызывает интерес то, что при всей непохожести природных условий, многие аспекты формирования плавучих островов, их роли в сохранении биоразнообразия, использования населением и даже природоохранного статуса являются практически идентичными. Исследование, проведенное на основе опросов местного населения, показало следующее:

- плавучие острова образуются в относительно глубоких и, главное, не пересыхающих озерах, так как растительность островов способна быстро закрепляться корнями к грунту;

- плавучие острова встречаются в основном в озерах, которые имеют ограниченное воздействие речных течений во время сезона паводков;

- озера с плавучими островами отличаются повышенным разнообразием и ресурсами ихтиофауны («матупа – дом для рыбы»), вероятно из-за того, что острова являются хорошим естественным укрытием для рыбы и формируют особую микро-среду обитания с обилием органического вещества для питания;

- органическое вещество островов традиционно используются жителями в качестве источника удобрений;

- и, наконец, исследуемая территория входит в состав заповедника устойчивого развития Амана (Amana Sustainable Development Reserve) в центральной части бразильской Амазонки.

Несмотря на обсолютные различия в географическом положении (Амазония [21], Белый Нил [8] и собственно Южное Зауралье), ключевые факторы формирования и развития плавучих островов оказались сходными. Интересен факт адаптации локальных систем природопользования (использование фитомассы в качестве удобрения, рыболовство) и осознание необходимости охраны этих ландшафтно-гидрологических образований.

Феномен плавучих островов неминуемо находил отражение в различных легендах, исторических источниках и в современных популярных публикациях. Уже упомянутыми авторами [21] указывается на существование среди жителей бразильской Амазонки легенды о большой кобре или гигантской анаконде. Во время интервью многие местные жители называли плавучие острова (matupas) как «дом гигантской анаконды», либо утверждали, что это существо необходимо для самого формирования матупа. Даже представители молодого поколения проявляют то же чувство робости и уважения, часто избегая их или озер, где присутствуют большие матупа.

Осознание необычности плавучих островов отмечалось во все времена, вплоть до современности. Свидетельством этому является одно из писем Плиния Младшего (примерно 61–113 годы н.э.) – древнеримского государственного деятеля и писателя. «*Когда я проезжал по ним, мне показали лежащее внизу озеро, именуемое Вадимонским, и рассказали при этом о нем невероятные вещи… Суда по нем не ходят (оно священно), а плавают острова, заросшие камышом, ситником и разной травой, в изобилии растущей по болотам и по самому краю озера. Все эти острова различны по форме и по величине; края у всех голые, потому что они часто ударяются и трутся или один о другой или о берег… Иногда эти острова сбиваются вместе и, соединившись между собой, напоминают материк; иногда их разносит в разные стороны противными ветрами; порой, при безветрии, они спокойно плавают, каждый сам по себе.*» [3, С. 254–255]. Автор этих строк достаточно подробно описывает специфические черты морфологии плавучих островов, характер их перемещений и механизм трансформации. Также в письме отмечается сернистый состав лечебной воды и то, что вытекающая из озера река ниже по течению уходит в карстовую пещеру. Озеро не сохранилось, сейчас это болотистый пруд Lago di Bassano на берегу Тибра, в 60 км к северу от Рима.

Таким образом, специфическая особенность рассматриваемого явления на протяжении всего исторического периода обращала внимание людей и была объектом письменной или устной фиксации. В научном плане тематика плавучих островов открывает перспективы для широкого круга исследований, включая изучение экологии, эволюции и проблем устойчивого развития водно-болотных угодий. Озеро Чебаркуль является перспективным полигоном для подобных исследований.

Особенности развития плавучих островов на озерах Тургайского прогиба и юга Западной Сибири

Как уже отмечалось выше, наше заключение о феномене озера Чебаркуль основано на изучении снимков высокого разрешения по близрасположенным озерам Южного Зауралья, тектоническим депрессиям Южного Урала. Результаты данного обследования показали, что ни на одном из озер этого региона не отмечается образование устойчивых плавучих островов и сплавин. Позднее, расширив географию поисков, мы обнаружили аналогичные явления на части из многочисленных озер, распространенных на обширной озерно-аллювиальной аккумулятивной четвертичной равнине к востоку от Зауралья, простирающейся на 1,2 тыс. км до долины р. Обь в районе г.Новосибирск. Многочисленность достаточно однотипных по морфологии озер в сочетании с обширностью региона позволяет: а) проследить широтно-зональную смену в устойчивости уровня озер от южной тайги до северных пустынь; б) оценить стадии зарастания озер растительностью в зависимости от географического положения и морфологии озерной чаши; в) систематизировать разнообразие форм зарастания.

Исходя из результатов идентификации островов с плавучими островами по части этого региона (рис. 1) и систематизации сведений о разнообразии форм зарастания в качестве предварительных заключений можно констатировать следующее:

- ареал распространения озер с плавучими островами не охватывает целиком озерно-аллювиальную равнину юга Западной Сибири, к востоку ареал смещается к северу и выклинивается, не доходя долины р. Иртыш;

- большинство озер с плавучими островами сосредоточено в лесостепной зоне. Южнее, в степной зоне в условиях ухудшения атмосферного питания резко повышается доля мелководных заросших озер и озер со сплошной сплавиной; благоприятным фактором формирования плавучих островов здесь является вовлеченность озер в систему сезонного поверхностного стока (Тургайский прогиб, северные пустыни);

- большинство озер с плавучими островами имеют диаметр чаши в пределах от 0,5 до 1,0 км. Такими характеристиками, по-видимому, обеспечивается относительно устойчивый (многолетний и сезонный) уровень и объем воды в сочетании с достаточностью (но не избытком) проявлений ветровых волн и локальных течений;

- в целом какой-либо отчетливой зависимости между площадью зеркала и стадиями зарастания озер не наблюдается; очевидно, что главным фактором остается объем воды и глубина озера;

- в озерах данного региона отмечаются различные формы образования сплавины и плавучих островов – прибрежные и центральные; данные различия возможно связаны с особенностями поперечного профиля озерных впадин, по аналогии с [23]. Но, вероятнее всего, образование центральных сплавин, часто занимающих практически все зеркало озер, связано со сменой гидрологических обстановок, заполнением чаш водой и последующим отрывом слоя торфа вместе с растительным покровом, залегающего над озерными илами. Также многочисленны здесь «законсервированные» формы плавучих островов, являющиеся финальной стадией зарастания озер.

Ключевыми отличиями озер с плавучими островами этого региона от озера Чебаркуль является исключительно атмосферное питание, отсутствие проточности и существенно меньшие размеры водного зеркала. С учетом значимой пространственной удаленности (от 150–200 км) от них оз. Чебаркуль остается единственным представителем озер Южного Урала и Зауралья с долговременно существующими плавучими островами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что озеро Чебаркуль со специфической системой взаимосвязанных элементов – сплавин и плавучих островов – представляют собой ландшафтный феномен, уникальный для верхней части бассейна р. Урал и в целом для

Южного Зауралья. Из предполаемых причин формирования сплавины – слабопромывной режим, создаваемый достаточно крупным притоком (р. Янгелька), обеспечивающий регулирование процессов эвтрофикации водоема, а также определенные многолетние и внутригодовые вариации уровня зеркала. Существенная продолжительность (более 50 лет) устойчивого функционирования системы «сплавины – плавучие острова» является доказательством того, что подпор воды дамбой мог лишь отчасти инициировать процесс образования островов на первоначальном этапе, но не являлся ведущим фактором. Это доказывает и отсутствие плавучих островов на других подпруженных озерах Южного Урала и Зауралья.

Выявлено, что за период 1972–2021 годы основная часть материала для образования островов поступила в озеро в два этапа, в 1978 и 1990 годах, когда в результате экстремального по объемам притока весенних паводковых вод от единого массива сплавины была отторжена значительная часть. Исключением из этого естественного процесса стала ситуация, сложившаяся ввиду аномального летнего паводка 2013 г., приведшего в итоге к разрушению и выносу части островов, и, вероятно, к частичной дезинтеграции прибрежной сплавины. Начиная с 2014 года отмечается устойчивая тенденция сокращения количества островов (в первую очередь крупных) и их площади; это может быть связано с ухудшением условий для образования новых островов, возможно из-за наступления периода относительной маловодности озера. Сокращение площади и количества уже имеющихся островов связано с их постоянным дрейфом и многочисленными столкновениями с другими островами или со сплавинами в течение безледного периода. Отдельные крупные острова фиксировались на протяжении всего 30-летнего периода, их площадь сокращалась и они начинали приобретать более округлые контуры в плане. Преобладающими направлениями дрейфа являлись вдольбереговые групповые и одиночные перемещения, основной движущей силой являются ветер (с учетом парусности островов) и обусловленные им краткосрочные локальные течения, в весенний период – приток водного потока р. Янгелька.

Прямые и косвенные признаки показывают, что все без исключения заросли прибрежной растительности являются или были ранее сплавинами, таким образом, несмотря на наблюдающиеся тенденции у озера сохраняется потенциал восстановления численности плавучих островов в более благоприятные периоды. Наиболее динамически активными на современном этапе оказались сплавины в районе впадения наиболее крупного водотока (р. Янгелька).

Озера юга Западной Сибири с плавучими островами имеют иную природу происхождения последних, существенно отличаются от оз. Чебаркуль морфометрическими параметрами и условиями питания. Образование плавучих островов отражает здесь наступление климатически обусловленной фазы (или, как минимум серии лет) повышенной водности озер. Характер их пространственного распределения может быть свидетельством проявления широтной зональности в формировании плавучих островов с максимумом в лесостепной зоне.

Следует добавить, что отдельные районы распространения плавучих островов в различных частях мира охраняются в пределах природных резерватов как объекты повышенного биологического разнообразия и места с традиционной культурой природопользования. Так, к примеру в России, Большое и Малое Бабинские озера является одной из достопримечательностей Волгоградской области и входят в состав природного парка «Нижнехопёрский». Озеро Чебаркуль обладает достаточно высоким рекреационным потенциалом, особенно учитывая близость многих других туристических объектов и зон. Но существенно более значимым остается вопрос сохранения устойчивости экосистемы озера, представляющей несомненный научный интерес. Вполне возможно, что в условиях даже временной изоляции от внешних прямых воздействий на островах формируется особый вид экотопов, а сами острова играют важную роль в формировании экосистемы озера. Также преждевременно утверждать, что острова и сплавины являются признаком зарастания озера и рассматривать их в качестве ресурса для производства удобрений. Таким образом озеро Чебаркуль представляет несомненный интерес в качестве объекта географических, гидрологических и эколого-биологических исследований. Феномен плавучих островов неминуемо находит отражение в различных легендах, исторических источниках и в современных популярных публикациях.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена в рамках выполнения государственной темы ИС УрО РАН № АААА–А21–121011190016–1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем». Опубликовано при поддержке гранта РГО «Международная конференция «Трансграничные геоэкологические проблемы и вопросы природопользования в бассейне рек Внутренней Евразии в связи с изменением климата».

ACKNOWLEDGMENT

The article was prepared in the course of the implementation of the state theme of the Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences No. AAAA–A21–121011190016–1 «Problems of steppe environmental management in the face of modern challenges: optimisation of the interaction of natural and socio-economic systems». Published with the support of a grant from the Russian Geographical Society «International Conference «Transboundary Geoecological Problems and Issues of Nature Management in the Inner Eurasia River Basin in Connection with Climate Change».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А. Изменения водного режима рек бассейна реки Урал // Доклады академии наук. Науки о Земле. 2019. Т. 488. N 5. С. 545–549. DOI: 10.31857/S0869-56524885545-549

2. Гареев А.М. Реки и озера Башкортостана. Уфа: Китап. 2001. 260 с.

3. van Duzer C. Floating Islands: A Global Bibliography. With an Edition and Translation of G.C. Munz's Exercitatio academica de insulis natantibus (1711). Los Altos Hills, California: Cantor Press. 2004. 404 p.

4. Azza N., Denny P., van de Koppel J., Kansiime F. Floating mats: their occurrence and influence on shoreline distribution of emergent vegetation // Freshwater Biology. 2006. V. 51. Iss.7. P. 1286–1297. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01565.x

5. Sasser C.E., Visser J.M., Evers D.E., Gosselink J.G. The role of environmental variables on inter-annual variation of species composition and biomass in a subtropical minerotrophic floating marsh // Can J Bot. 1995. V. 73(3). P. 413–424. DOI: 10.1139/b95-042
6. Sasser C.E., Gosselink J.G., Swenson E.M., Swarzenski C.M., Leibowitz N.C. Vegetation, substrate and hydrology in floating marshes in the Mississipi river delta plain wetlands, USA // Vegetatio. 1996. V. 122(2). P. 129–142. DOI: 10.1007/BF00044695
7. John C.M., Sylas V.P., Paul J., Unni K.S. Floating islands in a tropical wetland of peninsular India // Wetlands Ecol Manage. 2009. V. 17. P. 641–653. DOI: 10.1007/s11273-009-9140-z
8. Sudd wetland / UNESCO. URL: https://whc.unesco.org/en/tentativelists/6276/ (дата обращения: 15.07.2022)
9. Бирюков И. Н., Марков В. Д., Ростокин Э. Н., Тарунина Е. Ф. Всплывание торфа в водохранилищах // Биол. науки. 1976. N 3. С. 94–98.
10. Карпенко Л.В. Прогноз экологически опасных явлений при затоплении болот Богучанским водохранилищем // География и природные ресурсы. 2009. N 2. С. 33–37.
11. Корвет Н.Г., Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Дронь О.В., Сухачева Л.Л. Исследования Нарвского водохранилища с целью изучения образования торфяных островов // Грунтоведение. 2015. N 1(6). С. 36–43.
12. Рябоконь Ю.И., Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Сладикова С.М. Проблема торфяного загрязнения водохранилищ ГЭС Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2015. Т. 33. N 1–2. С. 69–72.
13. Хайрисова А.М. Режим плавучих островов озера Чебаркуль Республики Башкортостан // Геосфера. Сборник научных статей студентов, магистрантов и аспирантов географического факультета БашГУ. Отв. ред. А.М. Фархутдинов. 2018. Вып. 11. С. 270–271.
14. Гарипов Т.Т., Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Сидорова Л.В., Назырова Ф.И. Оптимизация условий компостирования сплавины для получения органо-минерального удобрения // Известия Самар. науч. центра РАН. 2013. Т. 15. N 3 (4). С. 1250–1253.
15. Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Галимзянова Н.Ф., Сулейманов Р.Р., Комиссаров М.А., Сидорова Л.В., Гималетдинова Г.А. Использование удобрения на основе сплавины для повышения плодородия эродированного чернозема типичного // Агрохимия. 2014. N 6. С. 35–42.
16. Немцев В.В., Кузнецов А.В. Серебристая чайка Larus argentatus на Рыбинском водохранилище // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30. N 2091. С. 3241–3242.
17. Masters B. The ability of vegetated floating Islands to improve water quality in natural and constructed wetlands: a review // Water Practice and Technology. 2012. V. 7. Iss.1. wpt2012022. DOI: 10.2166/wpt.2012.022
18. Rai D.N., Munshi J.D. The influence of thick floating vegetation (Water Hyacinth: Eichhornia crassipes) on the physico-chemical environment of a fresh water wetland // Hydrobiologia. 1979. V. 62. Iss. 1. P. 65–69.
19. На озере Чебаркуль ведутся работы по ремонту плотины / Министерство сельского хозяйства РФ. URL: http://old.mcx.ru/news/news/show/18596.htm (дата обращения: 10.08.2022)
20. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М. Современные тенденции внутригодового распределения речного стока в бассейне р. Урал // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2020. Т. 33. С. 112–123. DOI: 10.26516/2073-3402.2020.33.112
21. de Freitas C.T., Shepard G.H., Piedade M.T.F. The Floating Forest: Traditional Knowledge and Use of Matupá Vegetation Islands by Riverine Peoples of the Central Amazon // PLoS ONE. 2015. Iss. 10(4). Article number: e0122542. DOI: 10.1371/journal.pone.0122542
22. Письма Плиния Младшего / Перевод М.Е. Сергеенко, А.И.Доватура и В.С.Соколова. М.-Л.; Академия наук СССР, 1950. 577 с.
23. Volkova E.M. The Way of Floating Peat Formation in Karst Depressions of European Russia // The Open Geography Journal. 2010. V. 3. P. 67–72. DOI: 10.2174/1874923201003010067

REFERENCES

1. Sivohip Zh.T., Pavleychik V.M., Chibilev A.A. Changes in the water regime of the rivers of the Ural River basin. *Reports of the Academy of Sciences. Earth sciences*, 2019, vol. 488, no. 5, pp. 545–549. (In Russian) DOI: 10.31857/S0869-56524885545-549
2. Gareev A.M. *Reki i ozera Bashkortostana* [Rivers and lakes of Bashkortostan]. Ufa, Kitap Publ., 2001, 260 p. (In Russian)
3. van Duzer C. *Floating Islands: A Global Bibliography. With an Edition and Translation of G.C. Munz's Exercitatio academica de insulis natantibus (1711)*. Los Altos Hills, California: Cantor Press. 2004. 404 p.
4. Azza N., Denny P., van de Koppel J., Kansiime F. Floating mats: their occurrence and influence on shoreline distribution of emergent vegetation. *Freshwater Biology*, 2006, vol. 51, iss. 7, pp. 1286–1297. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01565.x
5. Sasser C.E., Visser J.M., Evers D.E., Gosselink J.G. The role of environmental variables on inter-annual variation of species composition and biomass in a subtropical minerotrophic floating marsh. *Canadian Journal of Botany*, 1995, vol. 73(3), pp. 413–424. DOI: 10.1139/b95-042
6. Sasser C.E., Gosselink J.G., Swenson E.M., Swarzenski C.M., Leibowitz N.C. Vegetation, substrate and hydrology in floating marshes in the Mississipi river delta plain wetlands, USA. *Vegetatio*, 1996, vol. 122(2), pp. 129–142. DOI: 10.1007/BF00044695
7. John C.M., Sylas V.P., Paul J., Unni K.S. Floating islands in a tropical wetland of peninsular India. *Wetlands Ecol Manage*, 2009, vol. 17, pp. 641–653. DOI: 10.1007/s11273-009-9140-z
8. *Sudd wetland* / UNESCO. https://whc.unesco.org/en/tentativelists/6276/ (accessed: 15.07.2022)
9. Biryukov I.N., Markov V.D., Rostokin E.N., Tarunina E.F. Surfacing of peat in reservoirs. Biologicheskie nauki [Biological science]. 1976, no. 3, pp. 94–98. (In Russian)
10. Karpenko L.V. Forecast of environmentally hazardous phenomena in the flooding of Boguchansky marshes reservoir. Geografiya i prirodnyye resursy [Geography and natural resources]. 2009, no. 2, pp. 33–37. (In Russian)
11. Korvet N.G., Spiridonov M.A., Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Dron O.V., Sukhacheva L.L. Studies of the Narva reservoir in order to study the formation of peat islands. Gruntovedeniye [Soil science]. 2015, no. 1(6). pp. 36–43. (In Russian)
12. Ryabokon Yu.I., Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andrias A.A., Sladikova S.M. The problem of peat pollution of reservoirs of HPP Siberia. Khvoynyye boreal'noy zony [Coniferous boreal zones]. 2015, vol. 33, no. 1–2, pp. 69–72. (In Russian)
13. Khairisova A.M. Regime of floating islands of Lake Chebarkul of the Republic of Bashkortostan. Geosfera. Sbornik nauchnykh statatey studentov, magistrantov i aspirantov geograficheskogo fakul'teta Bashkirskogo gosudarstvennogo universiteta [Geosfera. Collection of scientific articles of students, undergraduates and graduate students of the Faculty of Geography of Bashkir State University]. 2018, iss. 11, pp. 270–271. (In Russian)
14. Garipov T.T., Gabbasova I.M., Suleymanov R.R., Sidorova L.V., Nazyrova F.I. Optimization of the conditions of

composting of the alloy for obtaining organic-mineral fertilizer. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2013, vol. 15, no. 3 (4), pp. 1250–1253. (In Russian)
15. Gabbasova I.M., Garipov T.T., Galimzyanova N.F., Suleymanov R.R., Komissarov M.A., Sidorova L.V., Himaletdinova G.A. The use of fertilizers based on alloys to increase the fertility of eroded chernozem typical. Agrokhimiya [Agrochemistry]. 2014, no. 6, pp. 35–42. (In Russian)
16. Nemtsev V.V., Kuznetsov A.V. Silver gull Larus argentatus on the Rybinsk reservoir. Russkiy ornitologicheskiy zhurnal [Russian Ornithological journal]. 2021, vol. 30, no. 2091, pp. 3241–3242. (In Russian)
17. Masters B. The ability of vegetated floating Islands to improve water quality in natural and constructed wetlands: a review. *Water Practice and Technology*, 2012, vol. 7, iss. 1, article number: wpt2012022. DOI: 10.2166/wpt.2012.022
18. Rai D.N., Munshi J.D. The influence of thick floating vegetation (Water Hyacinth: Eichhornia crassipes) on the physico-chemical environment of a fresh water wetland. Hydrobiologia. 1979, vol. 62, iss. 1, pp. 65–69.
19. On Lake Chebarkul, work is underway to repair the dam / Ministry of Agriculture of the Russian Federation. (In Russian) http://old.mcx.ru/news/news/show/18596.htm (accessed: 08.10.2022)
20. Sivohip Zh.T., Pavleychik V.M. Modern trends in the intra-annual distribution of river runoff in the Ural River basin. *Proceedings Irkutsk State University. Earth Sciences series*, 2020, vol. 33, pp. 112–123. (In Russian) DOI: 10.26516/2073-3402.2020.33.112
21. de Freitas C.T., Shepard G.H., Piedade M.T.F. The Floating Forest: Traditional Knowledge and Use of Matupá Vegetation Islands by Riverine Peoples of the Central Amazon. *PLoS ONE*, 2015, vol. 10, iss. 4, article number: e0122542. DOI: 10.1371/journal.pone.0122542
22. *Pis'ma Pliniya Mladshego* [Letters of Pliny the Younger]. Translated by M.E. Sergeenko, A.I.Dovatura and V.S.Sokolov. Moscow-Leningrad, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1950, 577 p. (In Russian)
23. Volkova E.M. The Way of Floating Peat Formation in Karst Depressions of European Russia. *The Open Geography Journal*, 2010, vol. 3, pp. 67–72. DOI: 10.2174/1874923201003010067

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Владимир М. Павлейчик и Жанна Т. Сивохип собрали фактический материал, проанализировали данные, написали рукопись. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vladimir M. Pavleichik and Zhanna T. Sivohip collected factual material, analysed the data and wrote the manuscript. Both authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Владимир М. Павлейчик / Vladimir M. Pavleichik https://orcid.org/0000-0002-2846-0442
Жанна Т. Сивохип / Zhanna T. Sivohip https://orcid.org/0000-0001-5704-0554

Оригинальная статья / Original article
УДК 556.535
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-197-205

Разработка матрицы ландшафтно-восстановительных мероприятий в бассейне трансграничной реки Урал

Александр А. Чибилев, Павел В. Вельмовский
Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

Контактное лицо
Александр А. Чибилев, академик Российской академии наук, научный руководитель Института степи Уральского отделения РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +73532774432
Email orensteppe@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-6214-1437

Формат цитирования
Чибилев А.А., Вельмовский П.В. Разработка матрицы ландшафтно-восстановительных мероприятий в бассейне трансграничной реки Урал // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 197-205. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-197-205

Получена 25 августа 2022 г.
Прошла рецензирование 18 октября 2022 г.
Принята 25 октября 2022 г.

Резюме

Цель. Рассмотреть ландшафтные аспекты оптимизации природопользования в трансграничном бассейне р.Урал, которые не учитывались до настоящего времени при разработке мероприятий по улучшению экологического состояния бассейна и его главной реки.

Материалы и методы. Анализируются многолетние данные гидрологического режима рек бассейна. Обобщается опыт оптимизации водохозяйственных отношений в бассейне реки и основные итоги деятельности Межреспубликанского комитета по бассейну р.Урал (1977–1994 гг.).

Результаты. Выявлены циклы маловодных и многоводных лет в XX-начале XXI вв. Разработан перечень первоочередных ландшафтно-восстанавливающих мероприятий, проведена их ординация по природным зонам и типам местностей.

Заключение. Утверждается, что высшей и самой эффективной формой территориальной охраны ландшафтного и биологического разнообразия являются природные резерваты – ООПТ, образующие ландшафтно-экологический каркас. Предложен ряд эколого-стабилизирующих охраняемых природных территорий, в т.ч. Урало-Каспийская заповедно-рыбохозяйственная зона, нацеленная на частичное, адаптированное к изменившемуся гидрологическому режиму, восстановление популяции осетровых Урало-Каспийского бассейна.

Ключевые слова
Бассейн реки, ландшафт, экосистема, природные ресурсы, поймы рек, природный резерват.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Development of a matrix of landscape restoration measures in the basin of the transboundary Ural River

Alexander A. Chibilev and Pavel V. Velmovskiy
Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal contact
Alexander A. Chibilev, Academician, Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionerskaya St, Orenburg, Russia 460000.
Tel. +73532774432
Email orensteppe@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-6214-1437

How to cite this article
Chibilev A.A., Velmovskiy P.V. Development of a matrix of landscape restoration measures in the basin of the transboundary Ural River. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 197-205. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-197-205

Received 25 August 2022
Revised 18 October 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. The goal is to consider landscape aspects of nature management optimisation in the transboundary basin of the Ural River which have not been taken into account until the present time through measures being developed to improve the ecological state of the basin and its main river.
Materials and Methods. The long-term data of the hydrological regime of the rivers of the basin are analysed. The article summarizes the experience of optimizing water management relations in the river basin and the main results of the activities of the Inter-Republican Committee on the Ural River basin (1977–1994).
Results. Cycles of low-water and high-water years in the 20th–beginning of the 21st century are revealed. A list of priority landscape restoration measures has been developed and their ordination according to natural zones and types of localities has been carried out.
Conclusions. It is confirmed that the highest and most effective form of territorial protection of landscape and biological diversity are natural reserves – special natural protected areas forming a landscape-ecological framework. A number of ecological-stabilising protected natural territories are proposed including the Ural-Caspian Protected Fisheries Zone, which is aimed at partial restoration of the sturgeon population of the Ural-Caspian basin adapted to the changed hydrological regime.

Key Words
Basin of the river, landscape, ecosystem, natural resources, flood-lands, natural reserve.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Урал – одна из крупнейших рек Каспийского бассейна. По протяженности русла (2428 км) и площади водосборной площади (231000 км^2) она уступает только Волге, а по среднемноголетнему годовому стоку (около 400 м^3/сек) занимает в Каспийском бассейне третье место после Волги и Куры.

Уникальной особенностью этой реки является огромная амплитуда колебаний годового стока. В створе Кушумского водомерного поста годовой сток в очень многоводные годы (1922, 1942, 1957 и др.) может превышать в маловодные годы (1933, 1967, 2019 и др.) в 10–20 раз! В течение одного года максимальный расход воды может превышать минимальный в 1300 раз! [1–3].

Еще одной характерной особенностью Урала является распределение его площади по отдельным частям бассейна. Так на среднюю часть бассейна (от устья р. Орь до устья р. Чаган) приходится 50% площади (178,7 тыс. км^2). На нижнюю часть бассейна приходится всего лишь 21%. В пределах площади бассейна из Урала вытекает р. Кушум и главная река по пути до Каспия теряет от 10 до 20% годового стока. Таким образом, река Урал характеризуется наибольшим развитием бассейна в его средней части, которая почти целиком расположена в степной зоне. Именно это обстоятельство обуславливает высокую долю (около 80%) стока в период весеннего половодья. Однако эта особенность годового распределения стока в последние десятилетия и по прогнозам на среднюю и удаленную перспективу из-за воздействия климатических и антропогенных факторов теряет свое постоянство [4].

Именно неравномерность речного стока по сезонам года, а также возрастающие потребности водоемкой промышленности (в первую очередь, черной и цветной металлургии), электроэнергетики, а также водохозяйственные нужды растущих городов и орошаемого земледелия уже в 20–30 годы прошлого столетия привели к необходимости разработки планов комплексного использования водно-земельных ресурсов бассейна о. Урал [5]. Проблемы решения водохозяйственных вопросов Урало-Эмбинского бассейна в связи с освоением нефтегазовых месторождений Северного Прикаспия был освещен в коллективной монографии «Большая Эмба»[6].

Однако реализации этих проектов по регулированию стока помешала Великая Отечественная война. Крупнейшим гидротехническим сооружением на р. Урал, предусмотренным Институтом Гидропроект им. С.Я. Жука [5] было строительство Ириклинского водохранилища, к строительству которого приступили в 1949 году, а заполнение началось в 1955 году и лишь весной 1966 года была достигнута отметка нормального подпорного уровня – 245 м над уровнем моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из важнейших правительственных документов, направленных на решение вопросов охраны и использования водных ресурсов региона было Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 13 марта 1972 года № 177 «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами» [7]. Это Постановление способствовало:

– во-первых, реализации мероприятий по недопущению сброса сточных вод строящегося Оренбургского газопромышленного комплекса;

– во-вторых, было обращено внимание на сохранение и воспроизводство осетровых видов рыб Северного Каспия;

– в-третьих, способствовало учреждению Постоянного общественного Межреспубликанского комитета по охране, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов бассейна реки Урала.

И хотя в пору существования данного Комитета (1977–1994 гг.) было со стороны научной общественности немало нареканий, на фоне сегодняшнего уровня межгосударственной экологической политики в отношении трансграничного бассейна, его деятельность можно оценить только положительно [8–10]. В составе Комитета действовали 6 комиссий:

1. По комплексному использованию природных ресурсов бассейна реки Урал;
2. По борьбе с загрязнением Урала сточными водами и промышленными выбросами;
3. По борьбе с эрозией почв;
4. По охране и защите лесов в водоохранных зонах;
5. По охране и воспроизводству рыбных запасов;
6. По охране памятников природы, растительного и животного мира.

Основные результаты деятельности Межреспубликанского Комитета по реке Урал сведены в таблицу 1.

Хотелось бы обратить внимание на то, что уже в 1980-е годы было обращено внимание на необходимость создания ландшафтно-экологического каркаса бассейна реки Урал (Урало-Эмбенского бассейна) – проект назывался «Зеленая карта бассейна реки Урал» [11–13].

В 1992 году река Урала стала межгосударственной, т.е. трансграничной. Бывший Межреспубликанский Комитет по Уралу собрался в последний раз на заседание в 1994 году в г. Уральске и самораспустился. Многие годы идея воссоздания российско-казахстанского межгосударственного органа была уделом научной и экологической общественности городов Уральска и Оренбурга. С 1997 года организуются историко-культурные и экологические экспедиции по рекам Урал, Сакмара, Илек, на Ириклинском водохранилище, к истокам реки Урал в Учалинском районе Республики Башкортостан, в дельту с выходом в Каспийское море. Автору статьи довелось осуществлять научное сопровождение этих эколого-просветительских акций, в которых участвовали политики, члены общественных объединений, спортсмены, сотрудники природно-ресурсных органов. Итогами ежегодных водных и сухопутных экспедиций, охвативших весь Урал от истоков до устья, были обращения к руководителям регионов соответствующих министерств в правительствах России и Казахстан с просьбой подписать соглашение о воссоздании на межгосударственном уровне Комитета (Комиссии) по проблемам бассейна великой реки.

Многолетние усилия общественности приграничных регионов России и Казахстана, пытавшейся привлечь внимание своих правительств к решению экологических проблем реки Урал, привели к подписанию 04 октября 2016 года Соглашения между Правительствами двух стран о сохранении экосистемы бассейна трансграничной реки Урал. Откровенно говоря, формулировка названия данного Соглашения с самого начала выглядела популистской, не имеющей никаких перспектив для ее реализации на практике.

Таблица 1. Основные результаты деятельности Межреспубликанского комитета по бассейну реки Урал (1977–1994 годы)
Table 1. Main results of the activities of the Inter-Republican Committee for the Ural River Basin (1977–1994)

Результаты Results	**Год** Year
Отказ от строительства новых водохранилищ в бассейне реки Урал (Губерлинского, Алтнайского, Большеикского, Рубежинского и др.) Refusal to build new reservoirs in the Ural River basin (Guberninsky, Altai, Bolsheiksky, Rubezhinsky, etc.)	1979
Сохранение и воспроизводство осетровых бассейна реки Урал. Создание по заданию «Главрыбвода» СССР Атласа нерестилищ и зимовальных ям реки Урал (нижнее течение, среднее). В 1977–1979 годах река Урал давала до 1/3 мировых уловов и до 40% производства черной икры Conservation and reproduction of sturgeon in the Ural River basin. Creation of an atlas of spawning grounds and wintering pits of the Ural River (lower course, middle) on the instructions of the "Glavrybvoda" of the USSR. In 1977–1979, the Ural River produced up to 1/3 of the world's sturgeon catches and up to 40% of black caviar production	1977 1983
Разработка системы ООПТ бассейна реки Урал – составление Зеленой карты Development of a system of strictly protected natural areas of the Ural River basin – drafting of a Green Map	1980
Запрет разработки песчано-гравийных отложений в русле реки Урал Prohibition of the development of sand and gravel deposits in the Ural riverbed	1981
Создание заповедной зоны в северной части Каспийского моря и в пойме реки Урал до устья реки Барбастау (1976 год) и обоснование ее расширения до устья реки Илек Creation of a protected area in the northern part of the Caspian Sea and in the floodplain of the Ural River to the mouth of the Barbastau River (1976) and justification for its expansion to the mouth of the Ilek River	1983
Создание и соблюдение режима водоохранных и прибрежных зон Creation and compliance with the regime of water protection and coastal zones	1985
Отказ от реализации проекта переброски части стока сибирских рек на юг страны, в т.ч. в бассейн реки Урал Refusal to implement the project of transferring part of the flow of Siberian rivers to the south of the country, including to the Ural River basin	1986
Создание 4 степных заповедников (Таловская, Буртинская, Айтуарская, Ащисайская степь), общей площадью 22 тыс. га Creation of 4 steppe reserves (Talovskaya, Burtinskaya, Aituarskaya and Aschisayskaya steppe), with a total area of 22 thousand hectares	1989
Начало проектирования природного заповедника «Шайтан-Тау» (организован в 2014 году) и подготовка предложений по созданию природного парка «Ириклинский» Commencement of the design of the Shaitan-Tau Nature Reserve (organised in 2014) and the preparation of proposals for the creation of the Iriklinsky Nature Park	1992 2001

Во-первых, из названия Соглашения вытекает, что оно предусматривает сохранение существующей экосистемы бассейна трансграничной реки Урал, а не восстановление (что было бы логичным) естественной экосистемы, об утрате которой сожалеют хозяйственники и жители приграничных областей.

Во-вторых, экосистема бассейна трансграничной реки Урал – это 231 тысяча км^2 самых разнообразных ландшафтов: от горных хвойных и широколиственных лесов на севере до развеваемых бугристых песков и солончаков зоны пустынь умеренного пояса.

В-третьих, Соглашение не учитывает колоссальную изменчивость важнейших водно-экологических параметров бассейна реки в маловодные и многоводные годы.

В-четвертых, за последние десятилетия в континентальной части Евразии и на юге Европейской России происходят глобальные изменения, вызванные климатическими и антропогенными факторами.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На последних двух особенностях современного и прогнозируемого характера речного стока в бассейне реки Урал остановимся подробнее.

Изменчивость важнейших водно-экологических параметров реки Урал в маловодные и многоводные годы с ярко выраженным пиком весеннего половодья, на которое приходится от 60 до 80% суммарного годового стока является отличительной чертой водотоков подобного типа, которые разные авторы относят к т.н. «уральскому», «казахстанскому» или «степному типу» гидрологического режима. Данные многолетних гидрологических наблюдений свидетельствуют о том, что в течение XX – начале XXI веков река Урал испытала 4 затяжных цикла многоводья и столько же циклов маловодья (рис. 1).

Наиболее многоводными в створе гидрометеорологического поста Кушум в Западно-Казахстанской области (ЗКО) были 1942–1944, 1946–1949, 1970–1972, 1988–1995, 2000–2005 годы. Серия маловодных лет отмечалась в 1934–1940, 1950–1956, 1973–1986 годах. В

настоящее время (2009–2021 гг.) наблюдается самый затяжной период маловодных лет за прошедшее столетие. При этом минимальные уровни годового стока в последнем цикле, несмотря на негативное антропогенное воздействие (зарегулирование стока, растущее водопотребление, распашка и т.д.), остаются сопоставимыми или выше, чем в самые маловодные 1936–1940 годы или, например, 1951, 1955, 1968, 1976 или 1977 годы. За 2009–2021 годы объем весеннего стока резко снизился не только в абсолютном значении, но и в его доли от суммарного годового стока. Вместе с тем увеличилась доля и объем стока в зимнее время. И неизвестно, насколько продлится современный маловодный период с низким весенним половодьем.

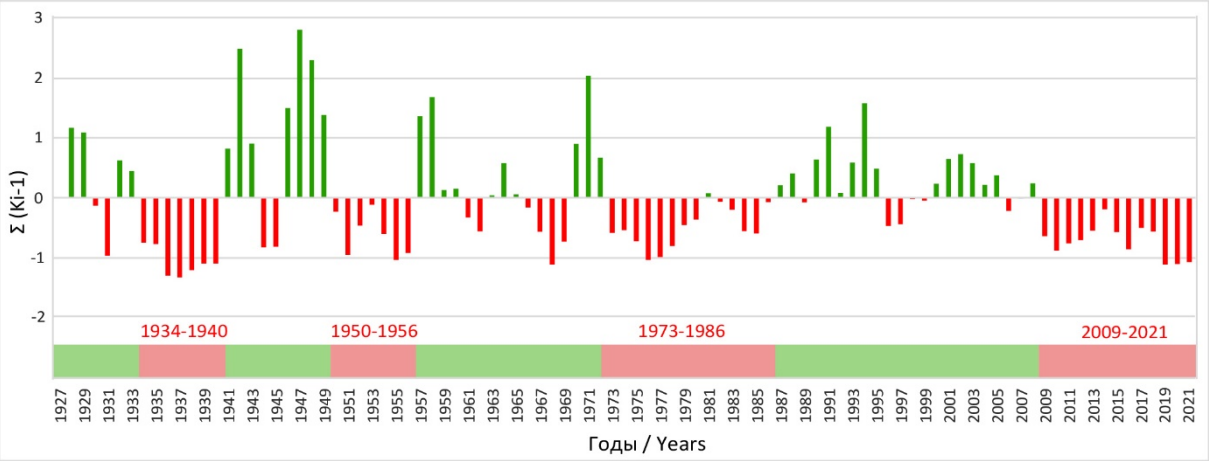


Рисунок 1. Циклы маловодья на р. Урал (Кушум) за 1927–2021 годы
Figure 1. Low water cycles on the Ural River (Kushum) in 1927–2021

В связи с этим следует обратить внимание на современные прогнозы повсеместного значительного уменьшения паводкового стока, а на южной окраине Восточной Европы – сильное уменьшение, вплоть до полного исчезновения весеннего паводка [4]. Эти данные получены на основе материалов глобального климатического моделирования и оценки возможных изменений максимального запаса и паводкового стока на реках бассейна Дона, Волги и Урала.

Возникает вопрос: какую экосистему бассейна трансграничной реки Урал предполагает «сохранять» амбициозное российско-казахстанское Соглашение? Со дня его принятия прошло 6 лет. Но созданная межгосударственная Комиссия по «сохранению экосистемы» реально не приступила к работе, а лишь дублирует результаты государственных гидрометеорологических служб и природоохранных органов.

Анализ современного экологического состояния бассейна Урал, динамики ее гидрологического режима за более чем 100-летний период, тенденции его изменения за последние десятилетия и прогнозы этих изменений до конца XXI века, убеждают, что «сохранение» или восстановление экосистемы этой трансграничной реки не реально. Попытаемся гипотетически предположить, какие меры, ограничения или природоохранительные инициативы могли бы изменить ландшафты бассейна с тем, чтобы восстановить параметры гидроэкологического режима, необходимые для сохранения весеннего половодья, регулярное затопление в нужные сроки поймы и пополнение подрусловых вод, активизацию родников и ручьев в верхних звеньях гидрографической сети.

Безусловно, состояние реки и ее бассейна полностью зависит от современного климата и геоэкологических характеристик ландшафтов бассейна. Еще М.В. Ломоносов писал; «Течение великих рек требует великого земель пространства (суть бассейна – А.Ч.), откуда водам собраться можно было» (1902 г.).

В ландшафтном отношении бассейн реки Урал представлен пятью природными зонами: горно-лесостепной, лесостепной равнинной, степной, полупустынной и пустынной. С целью экологической реабилитации ландшафтов бассейна (в российско-казахстанском соглашении 2016 года – «экосистемы бассейна трансграничной реки Урал») по отдельным природным зонам и типам местности предлагается следующий перечень основных ландшафтно-сохраняющих и ландшафтно-восстанавливающих мероприятий под цифровыми индексами от 1 до 12, которые отражены в таблице 2.

Перечень этих мероприятий следующий:

1. Внедрение природоподобных влагосберегающих агротехнологий на пахотных угодьях, ориентированные на естественную влагообеспеченность.
2. Оптимизация лесомелиоративного каркаса сельскохозяйственных угодий.
3. Восстановление естественных куртинных лесонасаждений.
4. Ликвидация пашни на элементах гидрографической сети (ложбины стока, лощины, балки) и эрозионно-опасной пашни (склоны >3-5˚) и их восстановление по технологии Д.С. Дзыбова (по типу «Агростепи»).
5. Ликвидация пахотных угодий в поймах рек и их восстановление по типу «Агролугостепи».
6. Создание ландшафтно-гидрологических ООПТ в верховьях рек, в т.ч. притоков 1, 2, 3… порядков (категория охраняемые родниковые урочища).
7. Создание заповедных участков долин рек, особо ценных в ихтиологическом (в т.ч. рыбохозяйственном) отношении.
8. Создание водоохранных зон на всем пространстве пойменного типа местности и приречных (припойменных) склонов.
9. Ликвидация искусственных (в т.ч. временных) водоемов, снижающих меженный сток до критических отметок.

10. Оптимизация гидрологического режима существующих водохранилищ с целью поддержания весеннего затопления пойменного типа местности и поддержания экологического стока в межень.

11. Ограничение забора воды для полива сельхозугодий за счет закрытой транспортировки и капельного орошения.

12. Перевод промышленного потребления водных ресурсов исключительно на оборотное водоснабжение.

Таблица 2. Матрица ландшафтно-восстанавливающих мероприятий и ограничений
Table 2. Matrix of landscape restoration measures and restrictions

Природные зоны Natural areas / **Типы местности** Terrain types	**Плакоры и надпойменные террасы** Plakors and over floodplain terraces	**Холмисто-увалистые междуречья** Hilly-ridged interfluves	**Истоки рек** River sources	**Поймы рек** River floodplains	**Бугристые пески** Sandy hills	**Водохранилища** Reservoirs	**Пруды** Ponds
Горно-лесостепная Mountain forest-steppe	-	1, 4, 9	6, 7, 8, 9	5, 7, 8	-	8, 10, 12	9
Лесостепная равнинная Forest-steppe plain	1, 2	2, 3, 4	6, 7, 8, 9	5, 7, 8	-	7, 8, 10, 11, 12	8, 9, 11
Степная равнинная Steppe-plain	1,2	2, 3, 4, 9, 10, 11	6, 7, 8, 9	5, 8, 9	2	7, 8, 10, 11, 12	8, 9, 11
Полупустынная Semi-desert	1, 2, 5	-	-	7, 8, 11	2	-	-
Пустынная Desert	1, 2, 5	-	-	7, 8,11	2	-	-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация перечисленных мероприятий и природно-хозяйственных ограничений (табл. 2) позволит в условиях глобальных климатических и антропогенных изменений в определенной степени приостановить процессы дальнейшей экологической деградации ландшафтов бассейна реки Урал, а при благоприятных сценариях динамики климата рассчитывать на восстановление наиболее ценных ландшафтных объектов и сообществ биоты.

Однако высшей формой территориальной охраны ландшафтного и биологического разнообразия бассейна, а, следовательно, и всей его экосистемы являются природные резерваты – ООПТ различных категорий и государственного статуса – от международных до федеральных, республиканских, региональных и местных. В числе международных (российско-казахстанских) ООПТ следует назвать:

- биосферный ландшафтный парк «Уральская урёма», охватывающий долину реки Урал от устья р.Илек до с Рубежное ЗКО, включая существующие Кирсановский и Кинделинский заказники, соответственно в ЗКО и Оренбургской области [14]. Заповедник по типу национального парка в пойме Урал был обозначен еще в 1917 году в проекте Постоянной Природоохранительной комиссии Императорского Русского географического общества в докладе В.П.Семенова-Тян-Шанского;
- природный парк «Урало-Губерлинское ущелье» ниже г. Новотроицка до участка «Айтуарская степь» госзаповедника «Оренбургский», включая заказник Эбита Актюбинской области;
- российско-казахстанский заказник «Утва-Илекские меловые ландшафты» на междуречье рек Илек и Утва, охватывающий степные участки с выходами меловых отложений, эндемичной кальцефитной растительности, местами обитания дрофы, стрепета, сайгака и других редких видов фауны;
- Общесыртовский степной природный резерват на стыке трех областей России – Оренбургский, Сакмарской, Саратовской и ЗКО на междуречье реки Урал (бассейн р. Чаган) и Большого Иргиза. Трансграничный резерват может включить в себя участок госзаповедника «Оренбургский» –Таловская степь, урочище «Грызлы» Самарской области и прилежащие степные ландшафты Саратовской области и ЗКО;
- Западно-Тургайский озерно-степной природный резерват на границе Оренбургской и Актюбинской областей, охватывающий бассейн бессточных озер Шалкар-Карашатау, Шалкар-Карашатау, Шалкар-Ега-Кара, Жетыколь и других, тяготеющих к бассейну р.Урал. Озера являются ценнейшими ключевыми орнитологическими территориями международного значения. Сохранились эталонные участки плакорных типчаково-ковыльных степей и каменистые степи.

Безусловно, нуждается в государственно-правовом восстановлении бывшая Урало-Каспийская рыбохозяйственная заповедная зона в долине (пойме, русле) реки Урала, охватывающая нерестилища, зимовальные ямы, пути миграции осетровых рыб. После восстановления природной или создания искусственных популяций осетровых на основе естественного генетического материала, зона должна охватить Северный Каспий, дельту, нижнее течение реки Урал и часть среднего течения, включая низовья рек Утва, Илек до пределов максимального захода вверх по течению белуги, русского осетра, белорыбицы на участке Оренбург-Илек.

Важнейшие объекты и зоны ландшафтно-экологического каркаса бассейна р. Урал отражены на рис. 2 и описаны в ряде работ автора [1; 2; 14]. Среди них особо важное значение для формирования эколого-стабилизирующей сети ООПТ имеют ландшафтно-гидрологический заказник «Исток Урала», природный резерват «Дельта Урала», природный парк «Ириклинское водохранилище», Буртинско-Кзыладырский природный парк, объединяющий более 10 уникальных урочищ в Беляевском и Кувандыкском районах Оренбургской области, природный парк «ПредуральскоеДивногорье», охватывающий зону передовых складок в виде грядового мелкосопочника от г. Верблюд (Дюяташ) до хребта Карамунтау и Андреевских Шишек и Исянгуловских гор.

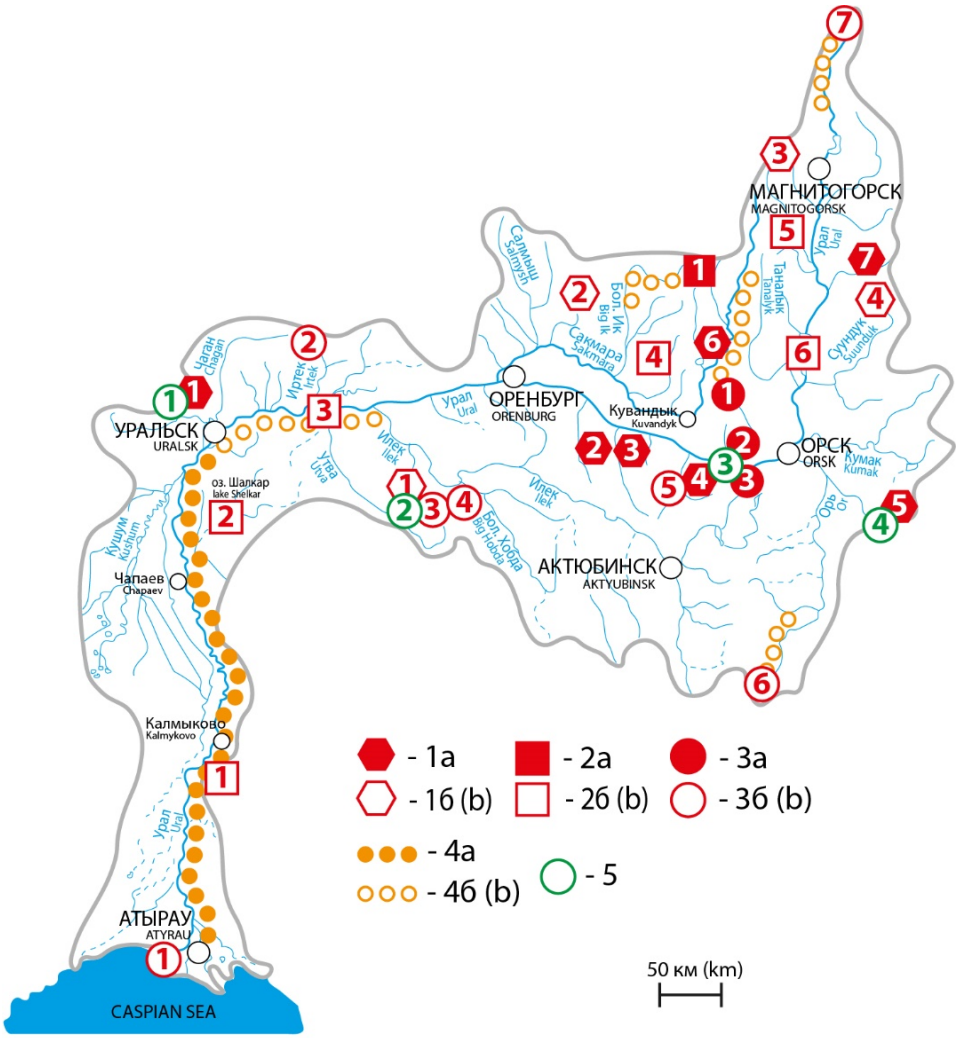


Рисунок 2. Ключевые ООПТ ландшафтно-экологического каркаса бассейна реки Урал
Figure 2. Key protected areas of the landscape-ecological framework of the Ural River basin

*1. **Заповедники**: 1а – существующие (1 – Таловская степь, 2 – Предуральская степь, 3 – Кзыладырское карстовое поле, 4 – Айтуарская степь, 5 – Ащисайская степь, 6 – Шайтантау, 7 – Аркаим); 1б – перспективные (1 – Утва-Актау, 2 – Малый Накас, 3 – Хребет Крыктау, 4 – Верхнесуундукский)*
*2. **Природные парки**: 2а – существующие (1 – Мурадымовское ущелье); 2б – перспективные (1 – Индерский, 2 – Шалкар, 3 – Уральская урема, 4 – Карамурунтау, 5 – Хребет Ирендык, 6 – Ириклинский)*
*3. **Ландшафтные заказники**: 3а – существующие (1 – Карагай-Губерлинский, 2 – Губерлинские горы, 3 – Эбита); 3б – перспективные (1 – Дельта Урала, 2 – Общий Сырт, 3 – Меловые горы, 4 – Троицкий, 5 – Хабарнинское ущелье, 6 – Урочище Уркаш, 7 – Исток Урала)*
*4. **Заповедные (охраняемые) зоны вдоль рек**: 4а – существующие, 4б – перспективные*
*5. **Трансграничные природные резерваты**: I – Общесыртовский степной заказник, II – Утва-Илекские меловые горы, III – Урало-Губерлинское ущелье, IV – Западно-Тургайский*
*1. **Reserves:** 1a – existing (1 – Talovskaya steppe, 2 – Pre-Ural steppe, 3 – Kzyladyr karst field, 4 – Aituarskaya steppe, 5 – Aschisaia steppe, 6 – Shaitantau, 7 – Arkaim); 1b – perspective (1 – Utva-Aktau, 2 – Maly Nakas, 3 – Kryktau ridge, 4 – Verkhnesuunduksky)*
*2. **Natural parks:** 2a – existing (1 – Muradymov gorge); 2b – perspective (1 – Indersky, 2 – Shalkar, 3 – Uralskaya Urema, 4 – Karamuruntau, 5 – Irendyk ridge, 6 – Iriklinsky)*
*3. **Landscape reserves:** 3a – existing (1 – Karagai-Guberlinsky, 2 – Guberlinsky mountains, 3 – Ebita); 3b – perspective (1 – Delta of the Urals, 2 – Common Syrt, 3 – Chalk mountains, 4 – Troitsky, 5 – Khabarninsky gorge, 6 – Urkash land, 7 – The source of the Ural River)*
*4. **Protected areas along rivers**: 4a – existing, 4b – perspective*
*5. **Cross–border natural reserves:** I – the Common Syrt Steppe Reserve, II – the Utva-Ilek chalk mountains, III – the Ural-Guberlinsky gorge, IV – the West Turgai*

В ландшафтном отношении для сохранения экосистемы бассейна реки Урал особое значение имеют хребет Ирендык, хребет Крыкты-Тау, Присакмарское низкогорье и Больше-Икское лесостепное низкогорье с Мурадымовским ущельем.

Развитая репрезентативная сеть ООПТ бассейна р.Урал позволит не только сохранить в заповедном режиме уникальные ключевые ландшафты, но и упорядочить развитие туризма за пределами заповедников и заповедных зон других категорий ООПТ.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена в рамках государственной темы ИС УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем» и при финансовой поддержке гранта Русского географического общества «Международная конференция «Трансграничные геоэкологические проблемы и вопросы природопользования в бассейне рек Внутренней Евразии в связи с изменением климата».

ACKNOWLEDGMENT

The article was prepared within the framework of the state theme of the Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences No. AAAA21-121011190016-1 "Problems of steppe nature management in the context of modern challenges: optimization of interaction of natural and socio-economic systems" and with the financial support of a grant from the Russian Geographical Society "International Conference "Transboundary geoecological problems and issues of nature management in the basin of the rivers of Inner Eurasia in connection with climate change".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Чибилев А.А. Река Урал: Историко-геогр. и экол. очерки о бассейне р. Урал. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 168 с.
2.Чибилёв А.А. Бассейн Урала: история, география, экология / отв. ред. Ж. Т. Сивохип, О. А. Грошева. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.
3. Давлетгалиев С.К., Достай А.Ж. Восстановление рядов весеннего стока рек Жайык-Каспийского бассейна // Гидрометеорология и экология. 2009. N 1. С. 7–17.
4. Sidorova M.V., Yasinsky N.S. The influence of regional climatic changes on the flood regime in European Russia in the 21st Century // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2021. 834 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/834/1/012015
5. Боскис С.Г., Троцкий М.Н. Перспективы комплексного использования водно-земельных ресурсов бассейна реки Урала. М.; Ташкент: Сазгипровод, 1934. 269 с.
6. Большая Эмба. Т 1., Т. 2. Материалы по водным ресурсам и транспорту Урало-Эмбинской области (Западный Казахстан). М.; Л.: Изд-во Акад.наук СССР, 1938. 368 с.
7.Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 13 марта 1972 года N 177 «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: https://docs.cntd.ru/document/765709391 (дата обращения: 09.09.2022)
8.Бассейн Урала: проблемы, перспективы. Оренбург: Межресп. ком. по охране, рацион. использованию и воспроизводству природных ресурсов бассейна реки Урал; Оренб. обл. орг. Всерос. об-ва охраны природы, 1979. 72 с.
9.Бассейн Урала: проблемы, перспективы. Оренбург: Межресп. ком. по охране, рацион. использованию и воспроизводству природных ресурсов бассейна реки Урал; Оренб. обл. орг. Всерос. об-ва охраны природы, 1983. 56 с.
10. Чибилев А.А. Ландшафтно-экологические проблемы Урало-Прикаспийского региона // Прикаспийский регион: проблемы соц.-экон. развития. М., 1990. Т. 7. С. 175–184.
11. Чибилев А.А. Дорога к Каспию. Алма-Ата: Кайнар, 1988. 240 с.
12. Чибилев А.А. Перспективные заповедные территории Западного Казахстана // Охраняемые природные территории. Проблемы выявления, исследования, организации систем: Тез. докл. Междунар. науч. конф. Пермь, 1994. Ч. 1. С. 152–154.
13. Чибилев А.А. Геоэкологические предпосылки организации региона приграничного сотрудничества в бассейне реки Урал // Изв. РАН. Сер. Геогр., 2006. N 3. С. 94–96.
14. Хоментовский А.С., Гаев А.Я., Чибилев А.А. Преобразуем родной край. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1981. 157 с.

REFERENCES

1.Chibilev A.A. *Reka Ural: Istoriko-geogr. i ekol. ocherki o basseine r. Ural* [The Ural River: Historical, Geographical and Ecological Essays on the Ural River Basin]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987, 168 p. (In Russian)
2.Chibilev A.A. *Bassein Urala: istoriya, geografiya, ekologiya* [Ural basin: history, geography, ecology]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2008, 312 p. (In Russian)
3. Davletgaliev S.K., Dostai A.Zh. Restoration of the series of spring runoff of the rivers of the Zhaiyk-Caspian basin. Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]. 2009, no. 1, pp. 7–17. (In Russian)
4. Sidorova M.V., Yasinsky N.S. The influence of regional climatic changes on the flood regime in European Russia in the 21st Century. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 834, article number: 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/834/1/012015
5. Boskis S.G., Trotskii M.N. *Perspektivy kompleksnogo ispol'zovaniya vodno-zemel'nykh resursov basseina reki Urala* [Prospects for the integrated use of water and land resources of the Ural River Basin]. Moscow, Tashkent, Sazgiprovod Publ., 1934, 269 p. (In Russian)
6. *Bol'shaya Emba. Materialy po vodnym resursam i transportu Uralo-Embinskoi oblasti (Zapadnyi Kazakhstan)* [Big Emba. Materials on water resources and transport of the Ural-Emba region (Western Kazakhstan)]. Moscow, Leningrad, Academy of Sciences of USSR Publ., 1938, vol. 1, vol. 2, 368 p. (In Russian)
7. Decree of the Central Committee of the CPSU and the Council of Ministers of the USSR of March 13, 1972 N 177 "On measures to prevent pollution of the Volga and Ural river basins by untreated sewage". *Elektronnyi fond pravovoi i normativno-tekhnicheskoi informatsii* (In Russian) Available at: https://docs.cntd.ru/document/765709391 (accessed 09.09.2022)
8.*Bassein Urala: problemy, perspektivy* [Ural basin: problems, prospects.]. Orenburg, Inter-Republican Committee for the Protection, Rational Use and Reproduction of Natural Resources of the Ural River Basin; Orenburg Regional Organization of the All-Russian Society for the Conservation of Nature, 1979, 72 p. (In Russian)
9. *Bassein Urala: problemy, perspektivy* [Ural basin: problems, prospects.]. Orenburg, Inter-Republican Committee for the Protection, Rational Use and Reproduction of Natural Resources of the Ural River Basin; Orenburg Regional Organization of the All-Russian Society for the Conservation of Nature, 1983, 56 p. (In Russian)

10. Chibilev A.A. Landscape and environmental problems of the Ural-Caspian region. Prikaspiiskii region: problemy sots. ekon. Razvitiya [Caspian region: problems of social and economic development]. Moscow, 1990, vol. 7, pp. 175–184. (In Russian)
11. Chibilev A.A. *Doroga k Kaspiyu* [Road to the Caspian]. AlmaAta, Kainar, 1988, 240 p. (In Russian)
12. Chibilev A.A. Perspektivnye zapovednye territorii Zapadnogo Kazakhstana [Promising protected areas of Western Kazakhstan]. *Okhranyaemye prirodnye territorii. Problemy vyyavleniya, issledovaniya, organizatsii sistem: Tez. dokl. Mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii. Perm', 1994* [Protected natural areas. Problems of Identification, Research, Organization of Systems: Abstracts of the International Scientific Conference. Perm, 1994]. Perm, 1994, part 1, pp. 152–154. (In Russian)
13. Chibilev A.A. Geo-environmental prerequisites for the organization of the region of cross-border cooperation in the Ural river basin. Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Geography], 2006, no. 3, pp. 94–96. (In Russian)
14. Khomentovskii A.S., Gaev A.Ya., Chibilev A.A. *Preobrazuem rodnoi krai* [Let's transform our native land]. Chelyabinsk, South Ural Book Publ., 1981, 157 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр А. Чибилев разработал концепцию статьи и комплекс рекомендаций. Александр А. Чибилев и Павел В. Вельмовский собрали обзорный материал, анализировали литературные данные. Александр А. Чибилев и Павел В. Вельмовский проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander A. Chibilev developed the concept of the articleand the set of recommendations. Alexander A. Chibilev and Pavel V. Velmovskiy collected review material, analysed the literature. Alexander A. Chibilev and Pavel V. Velmovskiy analyzed the data, wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism and 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 А. Чибилев / Alexander A. Chibilev https://orcid.org/0000-0002-6214-1437
Павел В. Вельмовский / Pavel V. Velmovskiy https://orcid.org/0000-0002-0492-6850

Обзорная статья / Review article
УДК 577.4 574.9
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-206-211

Применение логико-математических методов для анализа экологической информации

Лейла Ш. Ахмедова, Асият А. Магомедова, Раисат Т. Раджабова
ФГБОУ «Дагестанский государственный университет», Махачкала, Россия

Контактное лицо
Лейла Ш. Ахмедова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра рекреационной географии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79154706260
Email geoleyla@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1347-1429

Формат цитирования
Ахмедова Л.Ш., Магомедова А.А., Раджабова Р.Т. Применение логико-математических методов для анализа экологической информации // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 206-211. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-206-211

Получена 22 июля 2022 г.
Прошла рецензирование 24 августа 2022 г.
Принята 20 сентября 2022 г.

Резюме

Цель. Оценка возможностей математической логики и логико-математических методов в описании сложных природных систем простыми и ясными конструкциями, так как выступает в качестве языка, особых методов исследования, источника представлений и концепций в естествознании.

Обсуждение. В статье рассматриваются возможности и преимущества логико-математических методов при анализе естественнонаучной информации, и, в частности, экологических данных, дается сравнительный обзор логических и математических конструкций в становлении научного мышления. Приведен наиболее общий список математических и логических символов для формализированной записи сложных экологических систем, приводятся примеры использования логико-математических формул в виде формально-импликативных высказываний при краткой записи естественнонаучной информации.

Заключение. Проведенное исследование не убеждают в однозначных преимуществах применения символики математической логики перед словесным изложением. Однако, так как экология имеет дело с описанием архисложных систем, включающим операции формализованной постановки задачи, формализованного структурирования экосистем, группировки экосистем по мерам их сходства–различия или включения–пересечения, классификационного отнесения выделенных экосистем к одной из заданных групп, следовательно, необходимость широкого применения логико-математических исследований неоспоримо.

Ключевые слова
Математическая логика, формализированные конструкции, моделирование, математические символы.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Application of logical and mathematical methods for the analysis of environmental information

Leyla Sh. Akhmedova, Asiyat A. Magomedova and Raisat T. Radjabova
Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact
Leila Sh. Akhmedova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Recreational Geography and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367000.
Tel. +79154706260
Email geoleyla@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1347-1429

How to cite this article
Akhmedova L.Sh., Magomedova A.A., Radjabova R.T. Application of logical and mathematical methods for the analysis of environmental information. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 206-211. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-206-211

Received 22 July 2022
Revised 24 August 2022
Accepted 20 September 2022

Abstract
Aim. Evaluation of the possibilities of mathematical logic and logical-mathematical methods in the description of complex natural systems in simple and clear constructions, as they act as a language, special research methods, a source of ideas and concepts in natural science.
Discussion. The article discusses the possibilities and advantages of logical and mathematical methods in the analysis of natural science information, and, in particular, environmental data. It gives a comparative overview of logical and mathematical constructions in the formation of scientific thinking. The list of the most common mathematical and logical symbols for the formalised recording of complex ecological systems is provided, together with examples of the use of logical and mathematical formulas as formal and implicative statements in the brief recording of natural science information.
Conclusion. The research conducted does not convincingly indicate unambiguous advantages of using the symbols of mathematical logic rather than verbal presentation. However, since ecology deals with the description of arch-complex systems, including operations of formalised problem statement, the formalised structuring of ecosystems, the grouping of ecosystems according to measures of their similarity-difference or inclusion–intersection, and the classification of selected ecosystems in a certain specified group, the need for widespread application of logical and mathematical research is indisputable.

Key Words
Mathematical logic, formalized constructions, modeling, mathematical symbols.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

В основе любой научной дисциплины и науки в целом лежат *логика* и *эксперимент* (в экологии это полевые наблюдения и описания, эксперименты в измененных экосистемах и моделирование в самом широком смысле).

Логика исследует законы и формы высказывания и мышления в понятиях, суждениях и умозаключениях, а в эксперименте проверяется соответствие рабочей гипотезы собранным научным фактам по известным процедурам и правилам стратегии проверки гипотез [1; 2].

С античных времен (Аристотель, IV в. до н.э.) в логике сложилось направление, получившее наименование формальной, состоящей из двух наук: традиционной логики и математической логики.

Традиционная логика представляет собой учение о законах, правилах и принципах выводного знания, т.е. знания, получаемого из ранее установленных и проверенных опытом истин в результате применения законов и правил мышления.

Общеизвестно, что математические абстракции удобны при сравнительном анализе сразу нескольких предметов и объектов, что делает их незаменимыми при проведении как экологических и в общем естественнонаучных исследований. Д. Пойа [3] объяснил это свойством математики умением "наводить мосты над пропастью". Следовательно, математика способна выделить нечто общее в частном, переносить свои структуры на соседние, близкие и далекие, регионы природы. В то же время, она лишает мир многообразия, как писал математик И. Шафаревич [4]: «Мы имеем, скажем, яблоко, цветок, кошку, дом, солдата, студента, луну. Можно сосчитать и объявить, что их 7. Но 7 чего? Единственный ответ: "7 предметов". Различия между солдатом, луной, яблоком и т.д. исчезают. Они все потеряли свою индивидуальность и превратились в лишенные признаков "предметы"». Следовательно, простое механическое математическое перечисление свойств лишает объект природы индивидуальности, обезличивает его.

Использование языка математики при описании природного объекта, показывает только одну его характеристику и, отслеживая его вариации, выводит общую закономерность, все остальные характеристики при этом отбрасываются, так как мешают проводимому исследованию. Именно поэтому математические абстракции высокого уровня так удобны в исследованиях, но при этом мало информативны для небольших объектов.

Одновременно, вместе с абстрагированием необходимо использовать и математическое обобщение, которое развивалось вне связи с практическими применениями, а просто для достижения логической гармонии, и оказались очень удобным инструментом для осуществления целей построения логических конструкций и выводов, что, в конце концов, привело к выработке особого логико-математического языка для описания абстракций и построения моделей высокого уровня.

Используя логико-математические методы исследования, науки о Земле должны учитывать и ограниченные возможности математики, так как сама по себе математическая обработка содержания, его перевод на язык количественных описаний не дает простого механического прироста информации, а лишь визуализирует ее [5].

ОБСУЖДЕНИЕ

Математическая логика, основы которой были заложены еще в XVII в. Г. Лейбницем, представляет собой вторую и более высокую ступень развития формальной логики, применяющая математико-логические методы и специальный аппарат символов для исследования мышления с помощью исчислений, т.е. формализованных языков.

Для обозначения различных форм отношений и взаимосвязи высказываний математическая логика использует систему знаков (символов), с помощью которых лаконично, наглядно и однозначно можно выразить любую мысль, в которой что-либо утверждается или опровергается. Платой за эти преимущества является потеря формализованным языком красочности и образности живого языка, выражаемых обычно прилагательными (не случайно говорят: прилагательное – украшение языка, а глагол – самая сильная часть речи).

Для тех, кто сомневается в преимуществах формализованного языка предлагаем решить уравнение из школьного курса $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ и перевести его на обычный словесный язык, что будет звучать следующим образом: «квадрат суммы двух чисел равен квадрату первого числа, плюс удвоенное произведение первого числа на второе и плюс квадрат второго числа». А если кто еще сомневается в преимуществах употребления символов, предлагаем перемножить две трехзначные цифры и выразить словесно последовательность и содержание всех выполняемых операций.

Поскольку экология имеет дело с формализованными модельными конструкциями (экосистемы), оперирует со множествами (элементы системы), в экологической литературе широко применяется система знаков (символов) математической логики для обозначения различных форм отношений, взаимодействий и высказываний, заменяющих слова и целые тексты живого языка [6]. Поэтому для освоения содержания современных учебников и публикаций в периодической печати по экологии необходимо знать и уметь пользоваться символикой математической логики.

В таблице 1 приводится список наиболее часто употребляемых в экологической литературе символов математической логики.

В первом столбце даются символы, которыми условно обозначаются различные логические операции с высказываниями, во втором – названия этих логических операций, в третьем – типичные примеры символической записи операций и, наконец, в четвертом столбце указывается, как читается в обычном языке соответствующая символическая запись.

Как видно из таблицы, в математической логике используют два основных вида символов. Одни из них (A, B, M…) обозначают высказывания, т.е. мысли об истинности или ложности, выраженные в повествовательных предложениях естественного языка (истинно, ложно, вероятно, возможно…). Другие значки (^, ˅, ⊃…) обозначают характер логических операций, выполняемых с высказываниями: A˅B (A или B), A^B (A и B), A⊃B (если A, то B) и др. Отсюда видно, что все эти символы не просто формальны по записи, а связаны с определенным содержанием, т.е. буквенные обозначения алфавита заменяются словами и словосочетаниями наподобие иероглифов.

Таблица 1. Основные символы математической логики
Table 1. Basic symbols of mathematical logic

Символ Symbol	**Название** Title	**Пример записи** Example of a record	**Читается** Read
^	конъюнкция / conjunction	A^ B	A и B / A and B
v	дизъюнкция, логическое «или» disjunction, logical "or"	AvB	A или B A or B
→; ⊃	импликация, логическое следование, «влечет» implication, logical following, "entails"	A → B; A⊃B	если A, то B; if A, then B; A влечет B; A attracts B; из A следует B from A follows to B
⊂	обратная импликация reverse implication	A ⊂ B	A, если B; / A if B; A включается в B A is included in B
⊆	включение inclusion	A⊆ B	A есть часть B A is a part B
⊄	отрицание negation	A⊄B	A не есть часть B A is not part B
↓	отрицание negation	A ↓ B	ни A, ни B neither A nor B
¯	отрицание negation	$\overline{A}$	не - A, неверно, что A nah, it's not true that A
∈	принадлежность belonging	**x∈M**	Элемент *x* принадлежит (присущ) множеству M The element *x* belongs to (inherent in) the set M
∉	непринадлежность non-belonging	x∉M	Элемент ***x*** не принадлежит множеству M The element *x* does not belong to the set M
∀	квантор общности quantifier of generality	∀ *x*	для всякого ***x***... for every *x* ...
∃	квантор существования quantifier of existence	**∃ x**	существует такой ***x,*** что... there is such an *x* that...
{ }	множество set	*M= {a_1, a_2 ….}*	множество M, состоящее из элементов ***a_1***, a_2... the set M, consisting of elements *a_1, a_2*...
{|….}	множество set	{ x| … y...}	множество всех таких элементов ***x,*** для которых выполняется условие...***y...*** the set of all such elements *x* for which the condition ...*y* is satisfied...
[ ]	замыкание множества closure of set	[M]	замыкание множества closure of a set
∅	пустое множество / empty set	M =∅	пусто / empty
∩	пересечение intersection	A ∩ B	A пересекает B A intersects B
∪	объединение union	A ∪ B	A объединяется с B A is combined with B
f:	отображение mapping	f:M →L	отображение множества M в множество L mapping the set M to the set L
m ( )	количество элементов number of elements	m (A)	количество элементов множества A the number of elements of the set A
A	отношение relation	xAy	***x*** находится в отношении A с ***y*** *x* is in relation to A with *y*
≡	эквивалентность equivalence	A ≡ B	***A*** тогда и только тогда, когда B ***A*** And if and only if In B
÷	предела знак / limit	A÷B	от A до B / from A to B
Σ	суммирования оператор summation sign operator	$\sum_{i=1}^{4} a_i$	сумма от i = 1 до i = 4 числа a the sum from i=1 to i=4 numbers a
n!	факториал factorial	5!	5! = 1·2·3·4·5 = 120
|	делимости знак divisibility sign	A |B	A делит B; B делится на A A divides B; B is divided by A

В качестве примера рассмотрим следующую запись в символах математической логики, в которой два суждения объединяются в одно (импликативное высказывание) с помощью союза «если... то...»: ∀x(A(x) ⊃ B(x)),

где ∀ – квантор общности, заменяющий слово «все» или «всякий»;

x – предметная переменная, т.е. символ, которым обозначен предмет;

⊃ – знак импликации, т.е. символ, заменяющий выражение «если..., то...»;

A и B – какие-либо конкретно взятые признаки или свойства предмета.

В переводе на естественный язык приведенная формула читается следующим образом: «Для всякого x, если x имеет признак A, то он имеет и признак B».

Рассмотрим несколько примеров прочтения выше приведенной формулы в виде формально-импликативных высказываний и фактически истинных предложений.

Пример 1. Высказывание «твердость алмаза равна 10 по шкале Мооса» трансформируется следующим образом: «Для всякого x, если x – алмаз, то x твердость, равная 10 по шкале Мооса».

Пример 2. Аналогично этому высказывание «Насекомые имеют 3 пары членистых ног» читается так: «Для всякого x, если x – насекомое, то x – членистые ноги числом 3 пары».

Приведенная формула позволяет фиксировать в лаконичной форме и более сложные высказывания и взаимозависимости суждений, умозаключений и понятий (записи законов, принципов и правил).

Пример 3. «Для всякого x, если x – горизонтальная последовательность типов фаций осадочных пород, то x одновременно и вертикальная последовательность фаций осадочных пород в том же месте единого бассейна седиментации» (закон корреляции фаций Вальтера-Головкинского в геологии).

Пример 4. Экологическое правило 10% пирамиды энергии Линдемана можно прочесть так: «Для всякого x, если x – экологическая пирамида питания, то x означает 10% заключенной в пище энергии, передаваемой на каждый последующий трофический уровень» [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разумеется, все вышеизложенное, а также приведенные примеры не убеждают в однозначных преимуществах применения символики математической логики перед словесным изложением. Однако современная экология имеет дело с описанием архисложных систем, включающим операции формализованной постановки задачи, формализованного структурирования экосистем, группировки экосистем по мерам их сходства-различия или включения–пересечения, классификационного отнесения выделенных экосистем к одной из заданных групп, имитационного моделирования и прогнозирования перестройки или развития экосистем под влиянием различных факторов и т.д.

Для примера сошлемся на следующую формулировку сложного высказывания: «Системой Y(t), функционирующей в окружающей среде V(t) = {S_1(t),..., S_R(t)}», называется объект Y(t) = Y(V(t), X(t), Σ(t), F), образованный элементами множества X(t) = {X_1(t),..., X_n(t)}, которые связаны между собой и с окружающей средой определенными связями (отношениями) [8; 9]. Совокупность связей образует структуру Σ(t) = {σ (t),..., σ1(t)}. И состав X(t) и структура Σ(t) изменяются во времени в соответствии с функцией F» [10].

Для словесной характеристики этой лаконичной формулировки понятия «система» нам бы понадобился многостраничный текст, при том нет уверенности, что словесный текст был всеми воспринят однозначно (формулировок понятия «система» в настоящее время существует огромное множество), чего не скажешь по вышеприведенной формулировке, так как математическая запись исключает двоякое толкование.

Перспективность применения логико-математических методов анализа экологических данных становится особенно очевидной, если учесть массированное внедрение в исследовательские процедуры компьютерных технологий переработки информации, а формализация данных – первый и обязательный шаг к этому.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Л.Б. Современная научная гипотеза. В кн.: Материалистическая диалектика и методы естествознания. М.: Наука, 1968, с. 294-321.
2. Гасанов Ш.Ш. Синтез криолитологического знания. М.: Наука, 1984, 89 с.
3. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. 2-е изд., М., 1975.
4. Шафаревич И.Р., Боревич З.И. Теория чисел. 3-е изд., М.: Наука, 1985.
5. Комиссаров, М. Л., Комкова Н. П.. Роль математики в нашей жизни // Юный ученый. 2020. N 2 (32). С. 35-38.
6. Сергеев Ю.Н. Моделирование экологических систем /Основы геоэкологии. Изд. СПбГУ, 1994, с.297-349.
7. Ахмедова Л.Ш., Гасанов Ш.Ш. Биологическое разнообразие и устойчивость экосистем: измерение, оценка, интерпретация. Махачкала: издательско-типографский участок ИПЭ РД «Эко-пресс», 2015, 352с.
8. Дмитриев В.В. Прикладная экология в системе высшего географического и экологического образования / Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов РГГМУ, СПб, РГГМУ, 2002, с.90-96.
9. Дмитриев В.В. Методические указания по дисциплине «Системная экология» для высших учебных заведений. - СПб.: РГГМУ, 2010. 39 с.
10. Федоров В.Д., Гельманов Т.Г. Экология. Изд-во МГУ, 1980, 464с.

REFERENCES

1. Bazhenov L.B. *Sovremennay nauchnay gipoteza* [Modern scientific hypothesis]. In: Materialistic Dialectics and methods of Natural science. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 294–321.
2. Hasanov Sh.Sh. *Sintez kriolitologicheskogo znaniy* [Synthesis of cryolithological knowledge]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 89 p.
3. Poya D. Matematika I pravdopodobnie rassuzhdeniy [Mathematics and plausible reasoning]. 2nd ed., Moscow, 1975.
4. Shafarevich I.R., Borevich Z.I. *Teoriy chisel* [Number theory]. 3rd ed., Moscow, Nauka Publ., 1985.
5. Komissarov M.L., Komkova N.P. The role of mathematics in our life. *Uniy ucheniy* [Young Scientist]. 2020. N 2 (32). pp. 35–38.
6. Sergeev Yu.N. Modeling of ecological systems. *Osnovi geoekologii* [Fundamentals of geoecology]. St. Petersburg State University Publ., 1994, pp. 297–349.
7. Akhmedova L.Sh., Hasanov Sh.Sh. *Biologicheskoe raznoobrazie I ustoychivost ekosistem: izmerenie, osenka, interpretasiy* [Biological diversity and ecosystem sustainability: measurement, assessment, interpretation]. Makhachkala: publishing and printing site of IPE RD "Eco-press", 2015, 352 p.

8. Dmitriev V.V. Applied ecology in the system of higher geographical and environmental education. *Voprosi prikladnoy ekologii* [Questions of applied ecology]. Collection of scientific works of RGGMU, St. Petersburg, RGGMU, 2002, pp. 90–96.
9. Dmitriev V.V. *Metodicheskie ukazaniy po discipline "Sistemnay ekologiy" dly visshih uchebnih zavedeniy* [Methodological guidelines on the discipline "System ecology" for higher educational institutions]. St. Petersburg: RGGMU, 2010. 39 p.
10. Fedorov V.D., Gelmanov T.G. *Ekologiy* [Ecology]. MSU Publ., 1980, 464 p.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лейла Ш. Ахмедова собрала фактический материал, проанализировала данные и написала рукопись. Асият А. Магомедова составила данные часто употребляемых в экологической литературе символов математической логики, проанализировала данные, написала рукопись. Раисат Т. Раджабова составила данные часто употребляемых в экологической литературе символов математической логики. 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

Leyla Sh. Akhmedova collected factual material, analysed the data and wrote the manuscript. Asiyat A. Magomedova compiled data on symbols of mathematical logic often used in environmental literature, analysed the data and wrote the manuscript. Raisat T. Radjabova compiled data on symbols of mathematical logic often used in environmental literature. All authors are equally responsible for the plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Лейла Ш. Ахмедова / Leyla Sh. Akhmedova https://orcid.org/0000-0003-1347-1429
Асият А. Магомедова / Asiyat A. Magomedova https://orcid.org/0000-0003-0496-3691
Раисат Т. Раджабова / Raisat T. Radjabova https://orcid.org/0000-0002-3729-9224

Обзорная статья / Review article
Статья публикуется в авторской редакции
УДК: 574.21
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-212-217

Оценка текущего состояния экосистем с учетом разнообразия адвентивных видов

Магомед-Расул Д. Магомедов[1,2], Вячеслав В. Рожнов[3]
[1]Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (ПИБР ДФИЦ РАН), Махачкала, Россия
[2]Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия
[3]Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, Москва, Россия

Контактное лицо
Магомед-Расул Д. Магомедов, д.б.н., член-корр. РАН, заведующий кафедрой экологии, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79034234600
Email mmrd@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1836-9071

Формат цитирования
Магомедов М.-Р.Д., Рожнов В.В. Оценка текущего состояния экосистем с учетом разнообразия адвентивных видов // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 212-217. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-212-217

Получена 22 сентября 2022 г.
Прошла рецензирование 10 октября 2022 г.
Принята 25 октябрь 2022 г.

Резюме

Цель. При оценке степени трансформации и открытости территории для инвазийных видов, описание текущего состояния их биологического разнообразия необходимо производить с учетом индекса разнообразия адвентивных видов.

Обсуждение. Проблема интенсификации биологических инвазий в настоящее время уже вошла в число острейших мировых проблем. Биологические инвазии чужеродных видов приобрели такие масштабы, что к настоящему времени практически невозможно найти наземные или водные экосистемы, где бы ни встречались адвентивные виды. В практике для оценки биологического разнообразия используется целый ряд категорий и индексов разнообразия, различны методы их измерения и анализа. Но все они оперируют практически двумя показателями – числом видов и их относительным обилием – количественными параметрами, без учета современных качественных изменений видов в составе экосистем.

Заключение. Предлагается при оценках общего биоразнообразия ввести дополнительные оценки – доли адвентивных видов (индекс «адвентивности» территории), которые необходимы для решения целого комплекса практических задач. Они дают представление о состоянии экосистем в данный момент на определенной территории, служат основой для разработки системы менеджмента отдельных видов, необходимы для оценки пригодности потенциальных местообитаний при реинтродукции и т.д.

Ключевые слова
Биологическое разнообразие, чужеродные виды, состояние экосистем, индексы разнообразия, индекс «адвентивности» территории.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

The article is published in the author's edition

Assessment of the current state of ecosystems taking into account the diversity of adventitious species

Magomed-Rasul D. Magomedov[1,2] and Viatcheslav V. Rozhnov[3]
[1]Precaspian Institute of Biological Resources of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia
[2]Dagestan State University, Makhachkala, Russia
[3]A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Principal contact
Magomed-Rasul D. Magomedov, Dr. Sc., Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Head of the Department of "Ecology", Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva str., Makhachkala, Daghestan, Russia 367001.
Tel. +79034234600
Email mmrd@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1836-9071

How to cite this article
Magomedov M.-R.D., Rozhnov V.V. Assessment of the current state of ecosystems taking into account the diversity of adventitious species. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 212-217. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-212-217

Received 22 September 2022
Revised 10 October 2022
Accepted 25 October 2022

Abstract
Aim. When assessing the degree of transformation and openness of the territory for invasive species, a description of the current state of their biological diversity should be made taking into account the diversity index of adventitious species.
Discussion. The problem of intensification of biological invasions has now become one of the world's most acute problems. Biological invasions of alien species have acquired such a scale that by now it is almost impossible to find terrestrial or aquatic ecosystems, wherever adventitious organisms are found. In practice, a number of categories and indices of diversity are used to assess biological diversity, and the methods of their measurement and analysis are also different. But all of them operate with almost two indicators – the number of species and their relative abundance – quantitative parameters, without taking into account modern qualitative changes in species in the composition of ecosystems.
Results. It is proposed to introduce additional estimates of the share of adventitious species (the "adventiousness index") in the assessments of total biodiversity, which are necessary to solve a whole range of practical tasks. They give an idea of the state of ecosystems at the moment in a certain area, serve as the basis for the development of a management system for individual species, are necessary to assess the suitability of potential habitats for reintroduction and etc.

Key Words
Biological diversity, alien species, the state of ecosystems, diversity indices, "adventity index" of territories.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема биологического разнообразия остается одной из центральных в экологии. Показатели биологического разнообразия рассматриваются в качестве основных параметров, характеризующих состояние надорганизменных систем. Естественное, исторически сложившееся биологическое разнообразие компонентов экосистем – важнейшее условие их нормального функционирования и стабильности. Сложная система разномасштабных и разноплановых взаимодействий между отдельными компонентами экосистем определяет их структуру и особенности функционирования, продуктивность, уровень их стабильности и устойчивости к средним генерализованным условиям внешней среды. Поэтому любые исследования экосистемного уровня в качестве стартовой задачи включают выявление их компонентного состава (видового богатства) и соотношений различных количественных показателей участия видов в конкретном сообществе.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из существенных факторов воздействия на естественный состав экосистем является масштабное внедрение чужеродных видов в новые для них биоты, независимо от природы и путей их проникновения. Проблема интенсификации биологических инвазий в настоящее время превращается в единый, нарастающий с годами процесс и уже вошла в число острейших мировых проблем [1–5 и др.]. Биологические инвазии чужеродных видов приобрели такие масштабы, что к настоящему времени на Земле практически невозможно найти наземные или водные экосистемы, где бы не встречались адвентивные организмы (от лат. adventicius – пришлый, чуждый) – организмы, преднамеренно или случайно завезённые человеком в новый для них регион.

По последним, далеко не полным сводкам, только в европейской части России идентифицировано как адвентивные более 1150 видов растений, 192 вида растительноядных насекомых, 59 видов рыб, 62 вида млекопитающих, сотни видов морских беспозвоночных. В большинстве материковых районов Земли адвентивные виды составляют более 10–20%, а в островных биотах их доля может достигать 45–80% [2]. Даже в крупных государственных заповедниках доля адвентивных и синантропных видов во флоре, как правило, превышает 12% [6].

Подобных примеров очень много и по ним созданы различные по охвату территорий международные базы данных – такие, например, как база данных чужеродных видов России («ЧВ России»), включающая 1344 вида. Согласно Топ-100 [5], большинство самых опасных инвазионных видов (63%) были интродуцированы в экосистемы России непреднамеренно, треть (33%) – преднамеренно, ряд видов (4%) попали к нам вследствие саморасселения. Среди них преобладают завезенные в Россию с балластными водами (22 вида), с культурными растениями (16 видов), с обрастанием судов (13), для ландшафтного дизайна (12), с продуктами сельского хозяйства (11), с транспортными потоками (10 видов) и т.д. Все эти виды имеют определенное воздействие на различные аспекты экономики страны и здоровья населения: оказывают существенное влияние на гидроэнергетику – 9 видов, здоровье населения – 35, на сельское хозяйство – 29, лесное – 15, рыбное – 14, охотничье – 5 и на другие аспекты экономики – 28 видов. Среди них 17 видов являются конкурентами аборигенных видов и/или способны их вытеснять, 5 видов участвуют в процессах гибридизации, 43 вида оказывают существенное влияние на экосистемы, воздействия на их структуру и функции [5 и др.].

От вселения некоторых видов происходит практически полная деградация экосистем, снижение или полная потеря их ресурсного потенциала. В частности, важной эпохой биологического загрязнения моря был занос в Черное и Каспийское моря гребневика мнемиопсиса (*Mnemiopsis leidyi*), который оказал огромное влияние на всю их биоту и существенно подорвал ресурсный потенциал этих морей. По масштабу своего воздействия внедрение гребневика мнемиопсиса в воды Каспия значительно превзошло последствия инвазии другого инвазивного вида – моллюска митилястера (*Mytilaster lineatus*), изменившего в свое время всю структуру бентоса Каспийского моря.

Этот пример одного из самых опасных по последствиям варианта изменения экосистемы, когда в нее **з**аносится вид растений, для которого в экосистеме нет соответствующего фитофага, или вид животных, у которого в новых условиях не оказывается врагов (хищника или паразита) или сильных конкурентов. Если продолжать тему Каспийского моря, то практически каждый год здесь обнаруживаются новые вселенцы. Так, в бентосных пробах весной 2013–2015 гг. на побережье Каспийского моря обнаружен не встречавшийся ранее в биоценозах Среднего Каспия моллюск восточная корбикула (*Corbicula fluminalis*) [7], включенный в список 100 самых опасных инвазивных видов Европы; в 2018 г. обнаружен новый многощетинковый червь (*Marenzelleria arctia*), доля которого к 2020 г. в бентосе западной части Северного Каспия уже достигла 45,8% по численности и 27,8% по биомассе (данные «КаспНИРХ»); в 2020 г. в районе г. Махачкалы сотрудниками Каспийского филиала ИО РАН и Южного научного центра РАН были обнаружены единичные экземпляры еще одного хищного гребневика – берое овата (*Beroe ovata*), естественного врага зоопланктофага мнемиопсиса [8], который к настоящему времени встречается уже практически по всему Среднему и Южному побережью Каспия.

Уровень инвазионности естественных сообществ часто зависит от числа чужеродных видов, вторгающихся в ценоз [9–11]. Базовые оценки доли адвентивных видов необходимы для решения целого комплекса практических задач – они дают представление о состоянии экосистем в данный момент на определенной территории; служат основой для разработки системы управления и использования отдельных видов; необходимы для оценки пригодности потенциальных местообитаний при реинродукции видов в пределы их исторических ареалов, на которых они были истреблены или вымерли в результате воздействия тех или иных факторов.

В случаях реинтродукции индекс «адвентивности территории» будет отражать с одной стороны степень трансформации и открытости территории для внедрения новых инвазионных видов, с другой – изначальные уровни рисков, которые могут

определить успех реинтродукции. Хорошо известно, что чужеродные виды, укоренившиеся в экосистемах, могут не только влиять на межвидовые взаимодействия, но и существенно менять инфекционно-паразитический фон аборигенных экосистем, становясь возбудителями, резервуарами или переносчиками паразитарных или инфекционных заболеваний, затрагивающих аборигенные виды и человека [12]. В качестве примера можно привести гибель реинтродукцированной в 2020 г. в Кавказском заповеднике самки переднеазиатского леопарда по кличке *Лаба*. Возможной причиной ее гибели могли быть последствия заражения внутриклеточным паразитом *Cytauxzoon felis* из отряда пироплазм Piroplasmida, поражающим только кошачьих, который ранее впервые был выявлен в России [13], но на Кавказе до последнего времени не регистрировался.

Таким образом, учет качественных и количественных характеристик адвентивных видов в составе каждой отдельной экосистемы (число видов и соотношение количественных выражений их участия в данном сообществе по численности, биомассе, инвазионным свойствам и т.д.), особенно в практическом плане, приобретает в настоящее время значение крайней необходимости. Это важная дополнительная информация дает представление об актуальном состоянии биоты на определенной территории, степени и перспективах трансформации структуры ее коренных видов, стимулирует разработки необходимых мер контроля и реабилитации таких сообществ и экосистем.

Для оценки биологического разнообразия в настоящее время внедрены в практику понятия различных форм разнообразия, используется множество категорий и индексов разнообразия, разнообразны методы их измерения и анализа. Но все они оперируют практически двумя показателями – числом видов и их относительным обилием, т.е. количественными параметрами, без учета современных качественных изменений видов в составе экосистем.

Изменения в численности популяций видов важны как показатель комплексного здоровья экосистемы. В Конвенции, принятой в Рио-де-Жанейро (1992) биоразнообразие определено как «…вариабельность живущих организмов любого происхождения…». Основные научные концепции биоразнообразия были сформулированы и последовательно развивались Р. Уиттекером еще со второй половины XX в. [14–17]. Им изначально были предложены такие базовые индексы как α-, β- γ-разнообразие, характеризующие, соответственно, разнообразие внутри одного местообитания или биогеоценоза (или региона), разнообразие между местообитаниями или биогеоценозами (или регионами), разнообразие в обширных регионах биома, континента, острова (список видов в пределах ландшафта). С тех пор и до настоящего времени ведется разработка различных моделей и мер разнообразия, которые постоянно совершенствуются [18–22 и др.]. Вместе с тем, эти индикаторы, характеризуя текущее состояние экосистемы, не отражают степень изменения ее качественной видовой структуры, в том числе, степени зараженности экосистем инвазионными видами.

Преобладает мнение, что в результате различных форм и возрастающей интенсивности антропогенных воздействий на природные системы биоразнообразие экосистем постоянно снижается. Действительно, глобальный индекс живой планеты (ИЖП), охватывающий на сегодня данные о численности почти 21 000 популяций (4392 видов) различных классов позвоночных, показывает снижение их численности в период с 1970 по 2016 гг. в среднем на 68%. Это не единственный показатель оценки тренда изменения биоразнообразия. Для региональных оценок снижения биоразнообразия и отдельных экосистем в настоящее время применяется такой показатель как индекс сохранности биоразнообразия (ИСБ) – это средний показатель сохранившегося исходного биоразнообразия наземных биотопов в определенном регионе. ИСБ представляет собой один из важных показателей сохранности биосферы, но не в полной мере отражает реальную картину изменения биоразнообразия отдельных регионов или акваторий.

Парадоксально, но факт: на фоне общего снижения биоразнообразия планеты многие экосистемы характеризуются общим нарастанием биоразнообразия. Происходит это за счет адвентивных видов, когда на фоне антропогенных воздействий или глобальных климатических изменений, или по другим причинам, постоянно растут масштабы и темпы «перемешивания видов». К примеру, в Каспийском море к настоящему времени не менее 68 видов беспозвоночных и 26 видов рыб (около 34% видового разнообразия животных) можно считать вселенцами [23]. Реально же среди туводных видов рыб Каспийского моря к исчезнувшим (или находящимся на грани исчезновения) видам на сегодня можно очень условно отнести только четыре (шип, каспийская кумжа, белорыбица, волжская сельдь). Индекс сохранности биоразнообразия (ИСБ), как и в целом, базовые индексы (α-, β- γ-разнообразие), не отражают в своих значениях долю адвентивных видов и, вследствие этого, во многих случаях теряют репрезентативность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, состояние биоразнообразия с учетом чужеродных видов (или доли адвентивных видов), в зависимости от текущих исследовательских задач, очевидно, должно оцениваться несколькими связанными между собой индексами, либо в стандартные индексы следует включать дополнительные согласованные составляющие. Таким индексом, в зависимости от задачи исследователя, может быть, например, отношение каких-либо принятых в настоящее время индексов общего разнообразия видов в экосистеме (Е. Симпсона, К. Шеннона и др.) к индексу разнообразия адвентивных видов с учетом масштабности подхода (α-, β- γ-разнообразие). В экологии и математике разработано множество моделей и индексов для измерения разнообразия, которые требуют различной интерпретации. Вопрос о введении дополнительных индексов или повышение информативности существующих индексов с целью отражения доли адвентивных видов требует дальнейшего конструктивного профессионального обсуждения и рациональных предложений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эльтон Ч.С. Экология нашествий животных и растений. М.: Изд-во иностранной литературы. 230 с.

2. Шварц Е.А. Сохранение биоразнообразия: сообщества и экосистемы. М.: Т-во научных изданий КМК. 2004. 112 с.
3. Дгебуадзе Ю.Ю. 10 лет исследований инвазий чужеродных видов в Голарктике // Российский журн. биолог. инвазий. 2011. N 1. С. 1–6.
4. Бродский А.К. Ускользающая реальность: Биоразнообразие: его роль в поддержании жизни на Земле, закономерности формирования и разрушения. СПб.: Из-во ДЕАН. 2012. 172 с.
5. Самые опасные инвазионные виды России (Топ 100). Ред. Дгебуадзе Ю.Ю., Петросян В.Г., Хляп Л.А. М.: Т-во научных изданий КМК. 2018. 688 с.
6. Шварц Е.А. Хейфец О.А., Морозова О.В., Волков А.Е., Кожаринов А.В., Кревер В.Г., Лысенко И.Г., Пушкарев С.В. Видовое богатство наземных позвоночных и высших растений в государственных заповедниках бывшего СССР // Успехи соврем. биол. 1996. Т. 116. N 6. С. 645–672.
7. Набоженко М.В., Набоженко С.В. *Corbicula fluminalis* (o.f. Müller, 1774) – новый для российского сектора Каспийского бассейна вид двустворчатых моллюсков // Наука юга России (Вестник южного научного центра). 2016. Т. 12. N 1. С. 61–64.
8. Востоков С.В., Гаджиев А.А., Востокова А.С., Рабазанов Н.И. Гребневик *Beroe* cf. *ovata* в Каспийском море. Начало нового этапа эволюции Каспийской экосистемы? // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 4. С. 21–35.
9. Di Castri F. On invading species and invaded ecosystems: the interplay of historical chance and biological necessity // Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin. Dor-drecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. P. 3–16.
10. Williamson M., Fitter A. The characters of successful invaders // Biological Conservation. 1996. V. 78. P. 163–170.
11. Lonsdale W.M. Global patterns of plant invasion, and the concept of invisibility // Ecology. 1999. V. 80. P. 1522–1536.
12. Пельгунов А.Н., Маклакова Л.П. Паразитологические аспекты, связанные с акклиматизацией и интродукцией диких копытных // Российский паразитологический журнал. 2013. N 3. С. 67–75.
13. Naidenko S.V., Erofeeva M.N., Sorokin P.A., Gershov S.O., Yakovenko N.P., Botvinovskaya A.S., Alekseeva G.S. The first case of *Cytauxzoon* spp. in Russia: the parasite conquers Eurasia // Animals. 2022. Vol. 12 (5). P. 593.
14. Whittaker R.H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California // Ecol. Monogr. 1960. V. 30. P. 279–338.
15. Whittaker R.H. Communities and ecosystems. N.-Y.: London: Macmillan. 1970. 162 p.
16. Whittaker R.H. Evolution and measurement of species diversity // Taxon. 1972. V. 21. P. 213–251.
17. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 328 с.
18. Чернов Ю.И. Биологическое разнообразие: сущность и проблемы // Успехи совр. биол. 1991. Т. 111. Вып. 4. С. 499–509.
19. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.
20. Мониторинг биоразнообразия. М.: 1997. 367 с.
21. Лебедева Н.В., Криволуцкий Д.А., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М., Смуров А.В., Максимов В. Н., Тикунов В.С., Огуреева Г.Н., Котова Т.В. География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во Научного и учебно-методического центра, 2002. 253 с.
22. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Структурный анализ экологических систем. Количественные методы экологии и гидробиологии. Сб. научн. трудов, посвященный памяти А.И. Баканова. Тольятти: СамНЦ РАН. 2005. С. 91–129.
23. Карпинский М.Г. Об особенностях вселения морских видов в Каспий // Российский журн. биол. инвазий. 2009. N 2. С. 2–8.

REFERENCES

1. Elton Ch.S. *Ekologiya nashestvii zhivotnykh i rastenii* [Ecology of invasions of animals and plants]. Moscow, From of Foreign literature Publ., 230 p. (In Russian)
2. Schwartz E.A. *Sokhranenie bioraznoobraziya: soobshchestva i ekosistemy* [Conservation of biodiversity: communities and ecosystems]. Moscow, KMK Publ., 2004, 112 p. (In Russian)
3. Dgebuadze Yu.Yu. 10 years of research on invasions of alien species in the Holarctic. Russian Journal of Biological Invasions. 2011, no. 1, pp. 1–6. (In Russian)
4. Brodsky A.K. *Uskol'zayushchaya real'nost': Bioraznoobrazie: ego rol' v podderzhanii zhizni na Zemle, zakonomernosti formirovaniya i razrusheniya* [Elusive reality: Biodiversity: its role in the maintenance of life on Earth, patterns of formation and destruction]. St. Petersburg, DEAN Publ., 2012. 172 p. (In Russian)
5. Dgebuadze Yu.Yu., Petrosyan V.G., Khlyap L.A., ed. *Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (Top 100)* [The most dangerous invasive species of Russia (Top 100)] Moscow, KMK Publ., 2018, 688 p. (In Russian)
6. Schwartz E.A. Heifets O.A., Morozova O.V., Volkov A.E., Kozharinov A.V., Krever V.G., Lysenko I.G., Pushkarev S.V. Species richness of terrestrial vertebrates and higher plants in the state reserves of the former USSR. Biology Bulletin Reviews. 1996, vol. 116, no. 6, pp. 645–672. (In Russian)
7. Nabozhenko M.V., Nabozhenko S.V. *Corbicula fluminalis* (o.f. müller, 1774) is a species of bivalve mollusks new to the Russian sector of the Caspian basin. Nauka yuga Rossii (Vestnik yuzhnogo nauchnogo tsentra) [Bulletin of the Southern Scientific Center]. 2016, vol. 12, no. 1, pp. 61–64. (In Russian)
8. Vostokov S.V., Gadzhiev A.A., Vostokova A.S., Rabazanov N.I. The ctenophore *Beroe* cf. *ovata* in the Caspian Sea. The beginning of a new stage in the evolution of the Caspian ecosystem? *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 21–35. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-21-35
9. Di Castri F. On invading species and invaded ecosystems: the interplay of historical chance and biological necessity. Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin. Dor-drecht, Kluwer Academic Publishers, 1990, pp. 3–16.
10. Williamson M., Fitter A. The characters of successful invaders. Biological Conservation. 1996, vol. 78, pp. 163–170.
11. Lonsdale W.M. Global patterns of plant invasion, and the concept of invisibility. Ecology, 1999, vol. 80, pp. 1522–1536.
12. Pelgunov A.N., Maklakova L.P. Parasitological aspects related to acclimatization and introduction of wild ungulates. Russian Parasitological Journal, 2013, no. 3, pp. 67–75. (In Russian)
13. Naidenko S.V., Erofeeva M.N., Sorokin P.A., Gershov S.O., Yakovenko N.P., Botvinovskaya A.S., Alekseeva G.S. The first case of *Cytauxzoon* spp. in Russia: the parasite conquers Eurasia. Animals. 2022, vol. 12 (5), p. 593.
14. Whittaker R.H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecol.Monogr., 1960, no. 30, pp. 279–338.
15. Whittaker R.H. Communities and Ecosystems. N.-Y.; London, Macmillan, 1970, 162 p.
16. Whittaker R.H. Evolution and measurement of species diversity. Taxon, 1972, vol. 21, pp. 213–251.
17. Whittaker R.H. *Soobshchestva i ekosistemy* [Communities and ecosystems]. Moscow, Progress Publ., 1980, 328 p. (In Russian)
18. Chernov Yu.I. Biological diversity: the essence and problems. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Biology Bulletin Reviews]. 1991, vol. 111, vol. 4, pp. 499–509. (In Russian)
19. Magarran E. [Ecological diversity and its measurement]. Moscow, Mir Publ., 1992, 181 p. (In Russian)
20. *Monitoring bioraznoobraziya* [Monitoring of biodiversity]. Moscow, 1997, 367 p. (In Russian)

21. Lebedeva N.V., Krivolutsky D.A., Puzachenko Yu.G., Dyakonov K.N., Aleshchenko G.M., Smurov A.V., Maksimov V.N., Tikunov V.S., Ogureeva G.N., Kotova T.V. [Geography and monitoring of biodiversity]. Moscow, From the Scientific and Educational-Methodical Center Publ., 2002, 253 p. (In Russian)
22. Shitikov V.K., Rosenberg G.S. Biodiversity assessment: an attempt at formal generalization. In: *Strukturnyi analiz ekologicheskikh sistem. Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii* [Structural analysis of ecological systems. Quantitative methods of ecology and hydrobiology]. Togliatti, SAMNTS RAS Publ., 2005, pp. 91–129. (In Russian)
23. Karpinsky M.G. On the peculiarities of the introduction of marine species into the Caspian Sea. Russian Journal of Biological Invasions [Russian Journal of Biological Invasions]. 2009, no. 2, pp. 2–8. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Магомед-Расул Д. Магомедов / Magomed-Rasul D. Magomedov https://orcid.org/0000-0002-1836-9071
Вячеслав В. Рожнов / Viatcheslav V. Rozhnov https://orcid.org/0000-0002-2142-0763

Оригинальная статья / Original article
УДК 597(26):538
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-218-232

Оценка воздействия электрических полей рыбозащитного устройства на морских рыб

Игорь А. Столбунов[1], Сергей Н. Салиенко[2,3], Елена А. Заботкина[1], Евгений И. Извеков[1], Екатерина Н. Скуратовская[4], Татьяна Б. Сигачева[4], Максим П. Кирин[4], Полина С. Подрезова[4]

[1]Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия
[2]ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», п. Приволжский, Россия
[3]ООО «ОСАННА», Энгельс, Россия
[4]Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

Контактное лицо
Игорь А. Столбунов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии рыб, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (ИБВВ РАН); 152742 Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, 109.
Тел. +79301276939
Email sia@ibiw.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-5052-9111

Формат цитирования
Столбунов И.А., Салиенко С.Н., Заботкина Е.А., Извеков Е.И., Скуратовская Е.Н., Сигачева Т.Б., Кирин М.П., Подрезова П.С. Оценка воздействия электрических полей рыбозащитного устройства на морских рыб // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 218-232. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-218-232

Получена 16 ноября 2021 г.
Прошла рецензирование 14 апреля 2022 г.
Принята 20 сентября 2022 г.

Резюме

Цель. Экспериментальная оценка воздействия электрических полей системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства (СЭПРО КРУЭВ) на рыб Черного моря.

Материал и методы. Исследования выполнены на морском полигоне в Карантинной бухте Черного моря (май-сентябрь, 2021 г.). На молоди и взрослых рыбах массовых видов исследовали: поведенческие реакции на электрическое воздействие рыбозаградителя, выживаемость рыб во время и после воздействия электрического поля рыбозаградителя, воздействие электрорыбозаградителя на репродуктивную систему и биохимические показатели рыб.

Результаты. Проанализированы особенности поведения и распределения молоди и взрослых рыб в электрическом поле рыбозаградителя в режимах разной интенсивности воздействия. Осуществлена оценка выживаемости рыб во время и после электрического воздействия рыбозаградителя. Получены данные о влиянии электрорыбозаградителя на репродуктивную систему и биохимические показатели внутренних органов рыб.

Заключение. Личинки рыб проявляют чёткую первичную реакцию на электрическое воздействие рыбозаградителя. При этом эффект избегания (отход личинок рыб из зоны работающей системы электродов) отсутствует. Мальки рыб совершают активные перемещения из зоны воздействия электрического поля рыбозаградителя. Максимальные дистанции отхода от системы электродов СЭПРО КРУЭВ зафиксированы у взрослых рыб. Достоверные различия в выживаемости контрольной и экспериментальной групп особей разных видов морских рыб после воздействия электрорыбозаградителя не выявлены. Обнаружены различия в структуре гонад и в биохимическом статусе внутренних органов у интактных и подвергнутых электрическому воздействию особей исследованных видов рыб.

Ключевые слова
Электрическое воздействие, рыбозащитное устройство, распределение и поведение рыб, выживаемость, гонады и гаметогенез рыб, биохимические показатели.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Exploring the effect on marine fish of electric fields of a fish-protection

Igor A. Stolbunov[1], Sergey N. Salienko[2,3], Elena A. Zabotkina[1], Evgeny I. Izvekov[1], Ekaterina N. Skuratovskaya[4], Tatiana B. Sigacheva[4], Maxim P. Kirin[4] and Polina S. Podrezova[4]

[1]Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia
[2]Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Privolzhskij, Russia
[3]LLC «OSANNA», Engels, Russia
[4]A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

Principal contact
Igor A. Stolbunov, PhD, Leading Research Scientist, Laboratory of Fish Ecology, Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences; 109 Borok, Nekouzskiy district, Yaroslavl oblast, Russia 152742.
Tel. +79301276939
Email sia@ibiw.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-5052-9111

How to cite this article
Stolbunov I.A., Salienko S.N., Zabotkina E.A., Izvekov E.I., Skuratovskaya E.N., Sigacheva T.B., Kirin M.P., Podrezova P.S. Exploring the effect on marine fish of electric fields of a fish-protection. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 4, pp. 218-232. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-218-232

Received 16 November 2021
Revised 14 апреля 2022
Accepted 20 September 2022

Abstract

Aim. Experimental assessment of the impact of electric fields generated by the Electronic Programmable Complex Fish-protecting Facility on the Electric Principle (EP EPRCFF) on the most common fish species of the Black Sea.

Material and Methods. Experimental studies were conducted at the marine test site in the Quarantine Bay of the Black Sea (May-September, 2021). The following were investigated on larvae, juvenile and adult fish of common species: behavioral responses to electrical fields, survival during and after exposure to the electric field of the fish barrier and the effects of electricity on the reproductive system and biochemical parameters of fish.

Results. The features of behavior and distribution of larvae, juvenile and adult fish in the electric field of a fish barrier in modes of different intensity have been analysed. Survival estimation of fish during and after electric influence of the fish barrier has been carried out. The data on the influence of the electric screen on the reproductive system of fish and the biochemical characteristics of their internal organs were analysed.

Conclusion. The larvae of fish exhibit a clear “first reaction” to the impact of the electric fish screen. However, there is no avoidance effect (i.e. escape of fish larvae from the area of the working electrode system). The juveniles actively move from the operation zone of the fish-protective device, avoiding the influence of the electric field. The maximum distance from the electrode system EPRCFF was recorded in adult fish. Significant differences were not revealed in the direct assessment of the survival rate of control and experimental groups of individuals of different species of marine fish after exposure to the electric fish barrier. Some differences on the reproductive system of the fish species studied in the structure of gonads and reactivity of cells were noted under the influence of the electric barrier. The biochemical status of the internal organs under electrical action differed in various species of marine fish.

Key Words
Electric-field effects, fish-protective facility, fish distribution and behavior, survivability, biochemical parameters.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Электрорыбозаградители различных систем уже давно успешно конкурируют с механическими и гидравлическими заграждениями. Что касается создания морских электрозаградителей – устройств, предотвращающих подход рыб и других животных к тем или иным подводным сооружениям, – то их разработка пока только делает первые шаги. Так, один из лидеров в этой области, компания Smith-Root. сообщает на своем сайте: «Разработанные нами технологии уже успешно работают в воде с электропроводностью до 5000 мкСм/см (при солености до 3.9‰). Сейчас мы разрабатываем варианты, полностью рассчитанные на эксплуатацию в морской воде, с оценкой всех необходимых требований к электрической мощности» [1]. Между тем, в Балтийском море соленость составляет около 7‰, в Азовском 11‰, а в Черном море достигает 18 и более ‰. Так что в этом направлении еще предстоят немалые усилия.

Проблема применения электрозаградителей состоит в том, что электрическое поле, достаточное по величине для отпугивания мелких рыб может вызывать тетанус и оглушение у более крупных особей, в результате чего они захватываются потоком воды. Поэтому главной технической задачей всех рыбозаградителей является создание достаточно широкой (вдоль направления передвижения рыб) зоны электрического поля умеренной интенсивности, чтобы у рыб успевала проявиться реакция отпугивания и не наступала стадия обездвиживания. Эта зона не должна иметь отдельных участков с чересчур высокими или низкими значениями напряженности поля [2].

Один из подходов к созданию такого равномерной конфигурации электрического поля связан с разработкой многорядных заградителей, примером которых может служить электрорыбозаградитель, изготовленный компанией Smith Root Inc. (SRI) в США и известный как рыбозаградитель с дифференциальным (градуированным) полем (Graduated Field Fish Barrier, GFFB) [3]. Оценки эффективности многорядного и других типов электрозаградителей приводятся в целом ряде работ [4–6]. Сообщения охватывают широкий диапазон видов рыб, различных вариантов применения и потенциальных биологических эффектов. Установленная в оптимальных условиях система GFFB, по всей видимости, может стать весьма эффективным барьером для многих видов рыб.

Не менее перспективным подходом к разработке эффективных рыбозащитных устройств является использование принципа «бегущего поля». На этом принципе основана система электронная программируемая (СЭПРО), разработанная в ООО «Осанна» (г. Энгельс) для повышения эффективности защиты рыб и других водных биоресурсов в водоемах любого типа. Работа СЭПРО базируется на эффекте создания слабого анодного поля и сильного катодного поля с перемещением максимума катодного потенциала вдоль системы электродов. Все пространство на внешней границе системы электродов перекрывается воздействием «бегущего» поля с выраженным сильным катодным потенциалом, который создает отпугивающий эффект, ориентируя рыб в направлении от водозабора и предотвращая их попадание в водозаборное сооружение, и слабым анодным потенциалом, не оказывающим на рыб привлекающего действия.

Специальных исследований по оценке экологической безопасности морских электрозаградительных устройств, насколько нам известно, не проводилось. В то же время в мировой литературе имеются данные по оценке воздействия морских электрифицированных тралов, предназначенных для лова рыб и креветок, на различные виды гидробионтов. В связи с недостатком информации по воздействию электрозаградителей эти материалы представляют значительный интерес [7–15], поскольку при создании электрических барьеров, которые должны лишь отпугивать рыб, применяются значительно меньшие уровни напряженности электрического поля, чем для их отлова.

Цель исследования – оценка воздействия электрических полей системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства (СЭПРО КРУЭВ) на массовые виды рыб Черного моря.

Задачи:

– анализ поведения и распределения личинок, мальков и взрослых особей массовых видов морских рыб в зоне действия электрического поля СЭПРО КРУЭВ;

– выживаемость морских рыб после электрического воздействия СЭПРО КРУЭВ;

– оценка воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ на биохимические показатели внутренних органов (печени) и состояние репродуктивной системы морских рыб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования воздействия электрических полей на рыб системы электронной программируемой комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (СЭПРО КРУЭВ), разработчик ООО «ОСАННА», г. Энгельс, проводили на морском полигоне (Черное море, Карантинная бухта, г. Севастополь) в период с мая по сентябрь 2021 г.

Работы осуществляли по следующим направлениям: 1) монтаж экспериментальной установки и электрорыбозаградителя, 2) отлов рыб, 3) эксперимент по оценке поведения и распределения личинок, мальков и взрослых рыб в зоне воздействия СЭПРО КРУЭВ, а также в отсутствие воздействия электрического поля с использованием видеорегистрирующей аппаратуры, 4) исследование воздействия электрорыбозаградителя на репродуктивную систему и биохимические показатели печени рыб.

Рыбу для экспериментальных исследований отлавливали с помощью ловушек, экранов–подъемников и крючковых снастей. Пойманную рыбу до начала серий эксперимента предварительно выдерживали в двух бассейнах общим объемом 1.4 м^3, оборудованных принудительной аэрацией и протокой, создаваемой с помощью погружного насоса производительностью ~200 л/мин, до момента прекращения элиминации травмированных и ослабленных особей – в среднем на протяжении 5–7 суток.

При видовой идентификации рыб использовали ряд атласов-определителей и монографий по ихтиофауне Черного моря [16–18]. Таксономические названия рыб приведены по: Болтачев, Карпова [18].

Список видов и размер рыб в экспериментальных исследованиях:

I. Семейство Атериновые (Atherinidae)

1. Атерина черноморская *Atherina pontica* (Eichwald, 1831); личинки с общей длиной тела (*TL*) 10±3 мм.

II. Семейство Собачковые (Blenniidae)

2. Морская собачка–сфинкс *Aidablennius sphynx* (Valenciennes, 1836); *TL* 87±24 мм.

III. Семейство Ставридовые (Carangidae)

3. Ставрида черноморская *Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev, 1956; *TL* 125±20 мм.

IV. Семейство Бычковые (Gobiidae)

4. Бычок травяник *Zosterisessor ophiocephalus* (Pallas, 1814); *TL* 115 мм.

V. Семейство Губановые (Labridae)

5. Губан рябчик *Symphodus cinereus* (Bonnaterre, 1788); *TL* 104±1 мм.

6. Черноморская зеленушка или рулена *Symphodus tinca* (Linnaeus, 1758); *TL* 77±7 мм.

VI. Семейство Кефалевые (Mugilidae)

7. Кефаль сингиль *Liza aurata* (Risso, 1810): молодь на ранних этапах малькового развития (*TL* 20±5 мм), молодь на поздних этапах малькового развития (*TL* 53±11 мм), взрослые особи (*TL* 150±20 см).

VII. Семейство Барабулевые (Mullidae)

8. Обыкновенная султанка, или барабулька *Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927; *TL* 100±23 мм.

VIII. Семейство Помацентровые (Pomacentridae)

9. Морская ласточка, монашка, хромис *Chromis chromis* Linnaeus, 1758; *TL* 108±15 мм.

IX. Семейство Скорпеновые (Scorpaenidae)

10. Черноморская скорпена-ёрш *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758; *TL* 122±16 мм.

X. Семейство Спаровые, или Морские караси (Sparidae)

11. Ласкирь, морской карась *Diplodus annularis* (Linnaeus, 1758); *TL* 140±37 мм.

12. Спикара (смарида) *Spicara flexuosa* Rafinesque, 1810; *TL* 133±17 мм.

Всего исследовано 354 экз. личинок, мальков и взрослых особей рыб.

Тестирование воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ на поведение и распределение личинок и молоди рыб на ранних этапах малькового периода развития проводили в аквариуме объемом 200 л с проточной водой из Черного моря. Температура воды 17ºС. Скорость поступления воды в аквариум около 2 л/мин. Течение отсутствовало. Аквариум был оборудован подсветкой, расположенной на высоте 5 см от поверхности воды и на расстоянии 10 см от линии электродов.

Тестирование поведенческих реакций молоди на поздних этапах малькового периода развития и взрослых особей рыб на электрическое воздействие СЭПРО КРУЭВ осуществляли в плавучем лотке: каркас из полипропиленовых труб, обтянутый полотном ПВХ (длина – 400 см, ширина – 150 см, высота – 70 см). Общая площадь экспериментального садка составляла 6 м^2, общий объем – 4.2 м^3. Лоток погружали в воду и на растяжках крепили к береговой причальной стенке (рис. 1а). Рыбу для проведения экспериментальных работ высаживали в лоток (период акклимации особей к условиям опыта составлял 30 мин). Серию экспериментальных тестирований распределения и поведения рыб на электрическое воздействие СЭПРО КРУЭВ проводили в условиях дневной освещенности (>10000 лк), при температуре поверхности воды 19–20ºС и солености 18–18.5 ‰; (июнь, 2021 г.).

В ходе испытаний опробована конструкция из 5 цилиндрических электродов СЭПРО КРУЭВ (рис. 1б). Расстояние между соседними электродами составляло ~30 см. Шлейф электродов СЭПРО КРУЭВ монтировали на плавучий лоток (рис. 1б). Тестирование распределения и поведения рыб выполняли при постоянной частоте следования прямоугольных импульсов 5 Гц и длительности импульса 0.25 мс в разных режимах интенсивности электрического воздействия СЭПРО КРУЭВ, ступенчато повышая напряжение на электродах (50-100-150-200 В).

Поведение рыб в зоне действия фрагмента шлейфа электродов СЭПРО КРУЭВ анализировали с использованием видеорегистрирующей камеры Panasonic Lumix DMC-FZ1000.

Сравнительную эффективность различных режимов отпугивания оценивали визуально – по расстоянию между фронтом стаи рыб и защитным шлейфом, исходя из отметок на измерительной планке (с точностью ± 10 см). Кроме того, в лабораторных условиях по видеозаписи определяли точное положение рыб для каждого анализируемого режима. Было выбрано по 10 стоп-кадров (приблизительно через каждые 20 с). С помощью программы ImageJ 1.53e помечали изображение рыб и определяли их координаты в пикселях, а затем в соответствии с масштабным коэффициентом переводили в сантиметры. В общей сложности было произведено 8520 регистраций местоположения рыб (с точностью ± 1 см).

A B

Рисунок 1. Подготовка оборудования (*A*) и плавучий лоток со шлейфом электродов (*B*) для экспериментальных исследований

Figure 1. Preparation of equipment (A) and floating tray with an electrode array (B) for experimental research

Количественными показателями эффективности отпугивания рыб от работающей системы электродов СЭПРО КРУЭВ при расчетах с позиционированием индивидуальных рыб служило среднее удаление особей от системы электродов СЭПРО КРУЭВ (вдоль линии, перпендикулярной штанге с электродами). Достоверность статистических различий между режимами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа, а также критерия Краскела–Уоллиса. Корректность применения используемых статистических методов предварительно проверяли с помощью критериев Шапиро–Вилка (нормальность распределения) и Левена (однородность дисперсии).

Оценка выживаемости молоди рыб во время и после воздействия СЭПРО КРУЭВ. Сходные по численности и размерно-видовому составу выборки рыб (экспериментальную и контрольную) помещали в разные бассейны одинакового объема (0.7 м^3) с аэрацией и проточной водой. Экспериментальную группу рыб подвергали максимальному воздействию электрического поля: напряжение 200 В, частота импульса 5 Гц, длительность импульса 0.25 мс. Длительность экспозиции экспериментальной группы в электрическом поле СЭПРО КРУЭВ составляла 1 час. Контрольная группа рыб размещалась в бассейне с обесточенной системой электродов. По окончании воздействия, а также спустя 24 и 48 часов подсчитывали численность погибшей рыбы в контрольной и экспериментальной группах.

Влияние электрического поля на репродуктивную систему рыб. Подопытных рыб принудительно помещали в электрическое поле в непосредственной близости от системы электродов СЭПРО КРУЭВ (на расстоянии ~ 5 см). Время экспозиции каждого экземпляра рыб экспериментальной группы в поле составляло 2 мин. Контрольные особи не подвергались электрическому воздействию. У части особей из контрольной и экспериментальной групп отбирали пробы гонад для сравнительного гистологического анализа («нулевая точка»). Остальных рыб высаживали в одинаковые промаркированные садки (контроль, опыт) (рис. 2). Плотность посадки и размерно-видовой состав рыб в садках контрольной и экспериментальной групп были сходными. В течение 37 дней (с 11 августа по 17 сентября 2021 г.) обе группы рыб содержались в садках, расположенных в прибрежной зоне Карантинной бухты. Рыбу в садках кормили с периодичностью 1 раз в неделю. В конце периода экспозиции садки поднимали (рис. 3), рыбу отлавливали и производили отбор проб гонад для гистологического анализа.

Рисунок 2. Садки для содержания контрольной и экспериментальной групп рыб (исследование электрического воздействия на состояние и развитие гонад); 11 августа 2021 г.
Figure 2. The cages for control and experimental fish (studying the electrical impact on the state and development of the gonads); 11 August 2021

Рисунок 3. Выемка садков контрольной и экспериментальной групп рыб для проведения сравнительного гистологического анализа состояния и развития гонад; 17 сентября 2021 г.
Figure 3. Landing the cages with control and experimental groups of fish for a comparative histological analysis of the state and development of the gonads; 17 September 2021

При проведении гистологических исследований методами световой и электронной (просвечивающей) микроскопии анализировали развитие ооцитов костистых рыб с целью выявления изменений тонкой структуры и поверхности, а также патологий развития половых клеток рыб после воздействия на них электрического тока, оценивали степень нарушений мейотических и митотических процессов в клетках. Кусочки гонад фиксировали в глутаровом диальдегиде (SPI, USA) (2.5% на 0.1 М фосфатном буфере, pH 7.2) непосредственно после вскрытия свежеснулых рыб. Затем пробы подвергали дополнительной фиксации в 1% растворе тетраокиси осмия (Serva, USA) на том же буфере, обезвоживали в батарее спиртов восходящей крепости и заливали в смесь эпоксидных смол Araldite и Epon 812 (SPI, USA) [19]. После полимеризации образцов изготавливали полутонкие и ультратонкие срезы, которые окрашивали 1% водными растворами уранилацетата и цитрата свинца и просматривали под электронным микроскопом Jem 1011 (Jeol, Japan) при увеличении 1500–25000×.

Биохимический анализ. Исследованы некоторые биохимические показатели печени ласкиря *Diplodus annularis* и рулены *Symphodus tinca* из контрольной (интактной) группы и экспериментальной группы, которая в течение 1 часа подвергалась максимальному воздействию СЭПРО КРУЭВ (напряжение 200 В, частота импульса 5 Гц, длительность импульса 0.25 мс). Анализировали параметры прооксидантно-антиоксидантной системы: активность антиоксидантных ферментов (каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД)), содержание ТБК-активных продуктов (ТБК-АП) и белкового метаболизма (активность аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ), содержание альбумина). Печень несколько раз промывали холодным 0.85% физиологическим раствором, гомогенизировали и центрифугировали (10000 g) 15 мин на холоду. Для дальнейшего анализа использовали супернатант. Содержание вторичных продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) ТБК-АП (нмоль ТБК/мг белка) регистрировали по реакции с тиобарбитуровой кислотой [20]. Активность супероксиддисмутазы (СОД) (усл. ед./мг белка) анализировали в системе нитросиний тетразолиевый – феназинметасульфат – никотинамиддинуклеотид (НСТ-ФМС-НАДН) [21], активность каталазы (КАТ) (цкат/мг белка) – по реакции взаимодействия перекиси водорода с молибдатом аммония [22]. Активность аспартатаминотрансферазы (АСТ) (мкмоль/ч мг белка), аланинаминотрансферазы (АЛТ) (мкмоль/ч мг белка) и содержание альбумина (мг/мг белка) определяли с использованием стандартных наборов реактивов «ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ» (Россия).

Все определения проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ «Спектр», г. Санкт-Петербург, Россия). Биохимические показатели пересчитывали на 1 мг белка сырой массы ткани, концентрацию которого определяли с использованием стандартного набора реагентов «ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ» (Россия). Результаты обрабатывали статистически, вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку средней. Достоверность различий между выборками оценивали с применением U-критерия Манна–Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0.05$. Статистический анализ проводили с использованием компьютерных программ Past 3 и Microsoft Office Excel 2016.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тестирование воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ на поведение и распределение личинок, мальков и взрослых рыб

Личинки рыб. Объект исследования – личинки атерины с длиной тела ~ 10±3 мм.

Контрольная серия опытов (без воздействия СЭПРО КРУЭВ). Движения личинок спокойные в направлении источника света (проявление положительного фототаксиса).

Воздействие 50 В. Группа личинок держится под источником света (положительный фототаксис). Движения спокойные, без рывков. Вероятно, первичная реакция на импульсы электрического тока либо отсутствует, либо незначительная.

Воздействие 100 В. Основная группа личинок держится под источником света в непосредственной близости от электродов. Отдельные особи начинают перемещаться от линии электродов – возможно проявление первичной реакции на электрическое поле. По истечению 10 секунд от начала электрического воздействия у личинок рыб отмечается эффект иммобилизации. Бóльшая часть личинок начинает оседать в нижние горизонты и на дно.

Воздействие 150 В. Группа личинок держится под источником света. После включения сразу отмечается первичная реакция личинок на электрическое воздействие: в стадии возбуждения личинки рыб совершают рывки и хаотичные движения в момент прохождения импульса электрического тока. Отмечается иммобилизирующий эффект электрического поля на личинок рыб. Бóльшая часть личинок в это время обездвиживается и начинает оседать на дно.

Воздействие 200 В. С момента включения электрического поля у личинок рыб проявляется иммобилизирующий эффект и фиксируется реакция электронаркоза. Фактически все личинки рыб вблизи электродов обездвижены и оседают на дно.

Результаты серий экспериментальных наблюдений показали, что личинки рыб проявляют чёткую реакцию на электрическое воздействие СЭПРО КРУЭВ в виде быстрых и резких хаотических движений, и в то же время со слабо выраженным эффектом отхода от работающей системы электродов. Такое поведение личинок рыб объясняется малыми размерами тела и слаборазвитым локомоторным аппаратом на данном этапе их развития. При повышении напряжения (режимы: 100–150–200 В) у личинок рыб вблизи электродов наступает иммобилизация с последующим обездвиживанием и оседанием на дно.

Молодь рыб на ранних этапах малькового периода развития

Объект исследования – ранняя молодь кефали со средним размером 20 мм.

Контрольная серия опытов (без воздействия СЭПРО КРУЭВ). В ходе проведения экспериментальных работ выявлено, что в отсутствие воздействия электрического поля распределение молоди кефали имеет относительно равномерный характер и сравнительно низкую агрегированность. Стаи молоди перемещаются по всей толще воды.

При воздействии 50 В у молоди проявляется первичная реакция на воздействие электрического поля. Четко наблюдается стадия возбуждения: молодь формирует плотную стаю, в которой расстояние между особями составляет ~1–2 длины рыб. Перемещения стаи молоди рыб становятся более активными.

При воздействии 100 В – скопление молоди распадается на отдельные разреженные стаи, которые совершают перемещения преимущественно в верхнем горизонте.

При воздействии 150 В – стаи молоди разделяются по горизонтам. Одни стаи перемещаются в верхнем горизонте, другие – затаиваются в углах аквариума, вероятно, избегая воздействия электрического поля.

При воздействии 200 В – у молоди кефали в непосредственной близости от электродов проявляются мышечные сокращения (подергивание тела). Стаи окончательно распадаются, бóльшая часть особей уходит в нижний горизонт, проявляется реакция затаивания.

Результаты экспериментов показали, что у молоди кефали со средней длиной тела 20 мм не наблюдается эффекта иммобилизации при воздействии электрического поля даже в аквариуме сравнительно небольшого объема. При разных режимах воздействия СЭПРО КРУЭВ меняется пространственное распределение молоди рыб и её стайное поведение: молодь стремится выйти из зоны воздействия электрического поля.

Молодь на поздних этапах малькового периода развития

Объект исследования – молодь кефали со средним размером 53 мм. Поведенческие реакции молоди на электрическое воздействие СЭПРО КРУЭВ осуществляли в плавучем лотке. В ходе эксперимента молодь кефали (в составе смешанной выборки рыб разных видов и размеров) демонстрировала четко выраженное стайное поведение. Это позволило провести визуальные наблюдения за фронтом перемещения стаи и по данным видеорегистрации рассчитать дистанцию удаления особей рыб от линии электродов при разных режимах работы СЭПРО КРУЭВ.

В ходе наблюдений за фронтом распределения стаи молоди было неоднократно замечено, что изменения напряжения могут приводить к изменению положения фронта стайки рыб относительно линейки электродов. Однако при визуальной оценке расстояния по разметочным линиям на измерительной планке вдоль корпуса лотка (с точностью ± 10 см) этот эффект невозможно подтвердить статистически. Поэтому с использованием видеозаписей поведения относительно крупной и, соответственно, хорошо заметной молоди рыб было выполнено детальное сравнение эффективности работы СЭПРО КРУЭВ при ступенчатом повышении напряжения: 50–100–150–200 В (частота импульсов во всех случаях составляла 5 Гц). С этой целью по стоп-кадрам сначала было выполнено позиционирование каждой рыбы в электрическом поле, а затем вычислено среднее удаление особей от системы электродов.

При разной интенсивности воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ характер распределения рыб изменялся. Особи рыб активно перемещались из зоны воздействия СЭПРО КРУЭВ, избегая воздействия электрического поля.

При проведении контрольных наблюдений в отсутствие электрического поля СЭПРО КРУЭВ (система выключена) распределение рыб имело относительно равномерный характер и сравнительно низкую агрегированность. Рыбы перемещались по всем зонам лотка, в том числе пересекая линию электродов. При включении СЭПРО КРУЭВ и по мере увеличения напряжения на электродах средняя дистанция (X') между рыбами и системой электродов увеличивалась (рис. 4). Результаты однофакторного дисперсионного анализа свидетельствуют о том, что наблюдаемый эффект характеризуется высокой степенью достоверности ($F = 69.15$; $p < 0.0001$).

Следует отметить, что усиление интенсивности отхода рыб от системы электродов СЭПРО КРУЭВ сопровождается уплотнением стаи рыб, что проявляется в отчетливом снижении показателей разброса экспериментальных данных (рис. 4, величина доверительных интервалов). В частности, величина среднеквадратического отклонения данных (*SD*) при относительно низком уровне напряжения (50 В) достигает 10 см, а при относительно высоких значениях напряжения (150 и 200 В) значения среднеквадратического отклонения уменьшаются до 3.4 и 2.1, соответственно (рис. 4).

В результате проведенных серий экспериментального тестирования выявлено, что молодь кефали со средней длиной тела 53 мм активно перемещается из зоны воздействия СЭПРО КРУЭВ, избегая воздействия электрического поля. По мере увеличения напряжения среднее расстояние между рыбами и системой электродов увеличивается. При слабом воздействии электрического поля (50 В, 5 Гц) средняя дистанция удаления молоди от линии электродов составляла 25 см, в режиме повышенной интенсивности воздействия СЭПРО КРУЭВ (150, 200 В; 5 Гц) среднее расстояние между рыбами и шлейфом электродов возрастало до 70 см и 90 см соответственно.

Взрослые рыбы

Оценку поведенческих реакция особей на электрическое воздействие проводили в смешанной выборке рыб разного вида и размера (табл. 1).

Результаты исследования показали, что до электрического воздействия СЭПРО КРУЭВ (в контрольной серии опытов) рыбы совершали свободные перемещения по всей площади лотка, распределяясь по разным горизонтам. В придонном горизонте лотка перемещались особи морского ерша, барабульки, морской собачки и бычка. Особи остальных видов (губаны, ставриды, смариды, хромисы) распределялись и совершали горизонтальные перемещения в толще воды. Пространственное распределение рыб имело относительно равномерный характер и сравнительно низкую агрегированность.

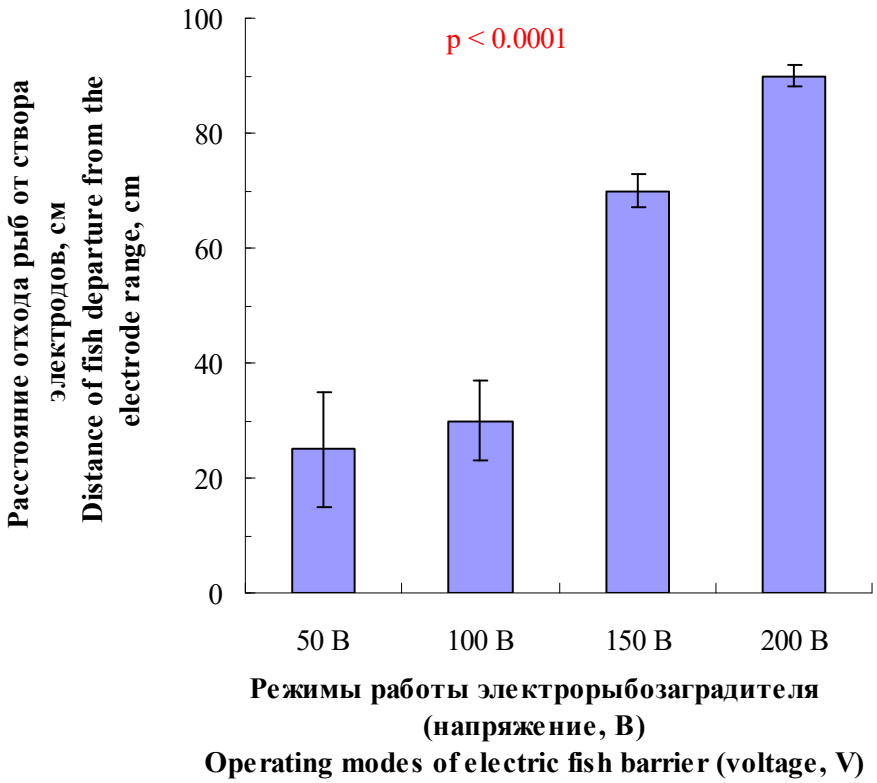


Рисунок 4. Среднее расстояние отхода молоди кефали (*X´* ± *SD*, см) от шлейфа электродов при разных режимах работы рыбозаградителя (напряжение 50-100-150-200 В, частота 5 Гц, длительность импульса 0.25 мс)
Figure 4. Average distance of juvenile mullet retreat (X± SD, cm) from the electrode array at different operating modes of the fish protective device (voltage 50-100-150-200 V, frequency 5 Hz, pulse duration 0.25 ms)

При воздействии электрического поля СЭПРО КРУЭВ пространственное распределение и поведение рыб изменялось. Уже в режиме минимального воздействия (50 В, 5 Гц) у рыб наблюдалась первичная реакция на электрическое воздействие (фаза беспокойства). Экспериментальная выборка рыб в садке разделилась на четко выраженные одновидовые стаи. Дистанция приближения рыб к линии электродов, до момента «разворота» стай и ухода из зоны воздействия, составляла 40–60 см.

Таблица 1. Видовой и размерный состав взрослых рыб в эксперименте
Table 1. Species and size composition of adult fish in the experiment

N	**Вид** / Species	**Длина, см** / Length, cm
1	Морская собачка-сфинкс / Sphynx blenny	7–12
2	Ставрида черноморская / Sea horse mackerel	11–13
3	Бычок травяник / Grass goby	11
4	Губан рябчик / Grey wrasse	10–11
5	Рулена / Peacock wrasse	6–8
6	Кефаль сингиль / Golden grey mullet	13–17
7	Барабулька / Red mullet	9–12
8	Хромис / Damselfish	10–12
9	Скорпена-ёрш / European black scorpionfish	11–14
10	Спикара (смарида) / Pickarel	12–14

При нарастании напряжения средняя дистанция удаления рыб от створа электродов возрастала, составляя: при 100 В – 80–100 см, при 150 и 200 В – 100 см и 120 см, соответственно. При режимах работы СЭПРО КРУЭВ с увеличением напряжения на электродах (150 В, 200 В) стаи рыб фактически прекращали перемещения. Особи рыб проявляли элементы оборонительного поведения на воздействие электрического поля – затаивались в углах, прижимались ко дну и стенкам лотка. У отдельных особей смариды наблюдалось изменение цвета тела – проявлялась «стрессовая розоватая окраска». Одиночные особи и стаи разных видов рыб (скорпена, хромис, кефаль, смарида, губаны, морская собачка) совершали перемещения сквозь линию электродов. Так, отмечены неоднократные «проходы» морского ерша-скорпены через створ электродов при напряжении 50 В и 100 В. При режиме 150 В особи скорпены не пересекали линию электродов – минимальная дистанция приближения рыб к электродам составляла 17.5 ± 3.5 см.

Таким образом, в результате тестирования выявлено, что взрослые особи рыб активно перемещались из зоны воздействия СЭПРО КРУЭВ, избегая воздействия электрического поля. При

воздействии электрического тока пространственное распределение и поведение рыб изменялось: происходило формирование одновидовых стай рыб сходного размера. При нарастании напряжения на электродах (150 В, 200 В) стаи рыб фактически прекращали перемещения. Особи рыб проявляли элементы оборонительного поведения (избегание и затаивание) в ответ на воздействие электрического поля. Наряду с этим были отмечены случаи прохода отдельных особей и стай разных видов рыб сквозь створ электродов.

Реакция рыб на воздействие электрического поля в зависимости от их видовой принадлежности и размера различается. Видовая чувствительность рыб к электрическому току характеризуется величиной напряженности поля, вызывающего первичную реакцию. При сравнении видовой электрочувствительности различных рыб в качестве меры обычно используют величину условного напряжения тела: разность потенциалов между головой и хвостом рыбы, расположенной в электрическом поле вдоль линии тока. В ранее проведенных работах по определению электрочувствительности черноморских рыб [23] было показано, что из 13 исследованных видов рыб (ставрида, скумбрия, тюлька, смарида, хамса, шпрот, барабуля, сельдь, судак, сарган, скорпена, ласкирь, звездочет) наиболее восприимчивыми к электрическому воздействию к току оказались ставрида и скумбрия, наименьшая чувствительность выявлена у саргана. Отмечено, что чувствительность черноморских рыб к электрическому току очень разнообразна. Тем не менее среди черноморских рыб, по мнению авторов [23], нельзя выделить группы, резко отличающиеся по электрочувствительности.

Следует особо отметить, что полученные результаты оценки воздействия СЭПРО КРУЭВ на поведение и распределение рыб носят предварительный характер. Для подбора и установления оптимальных параметров работы электрорыбозаградителя, способствующих эффективному отпугиванию и препятствующих попаданию черноморских рыб в водозаборы и водоприемники, требуется проведение дальнейших исследований.

Экспериментальная оценка выживаемости рыб во время и после воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ

В ходе выполнения цикла экспериментальных исследований случаи гибели рыб при работе электрорыбозаградителя не отмечены. Тем не менее, была проведена прямая оценка выживаемости модельных видов рыб после электрического воздействия рыбозаградительного устройства. Следует отметить, что экспериментальная оценка выживаемости рыб, подвергнутых воздействию электрических полей электрорыбозаградителей или орудий электролова, как правило, осуществляется в течение непродолжительного периода действия электрического тока: от 10 до 60 с [24]. Однако отмечены случаи, когда рыбы, испытавшие отпугивающее действие электрического барьера не отходят в безопасную зону и могут на протяжении длительного времени держаться достаточно близко к электрорыбозаградителю [25]. Поэтому эксперименты по оценке экологической безопасности электрозаградителя обязательно должны включать в себя проверку «худшего сценария», когда рыбы на протяжении длительного периода экспозиции испытывают максимальные по интенсивности воздействия. Исходя из этого, при проведении прямой оценки выживаемости рыб после воздействия электрорыбозаградителя (СЭПРО КРУЭВ) был выбран период экспозиции в электрическом поле равный 1 ч. Данный период экспозиции рыб в электрическом поле рыбозаградителя намного превышает ожидаемые значения (десятки секунд) и позволяет с большим запасом надежности оценить устойчивость рыб к электрическому воздействию.

В результате проведенной оценки выживаемости рыб во время и после воздействия электрического поля СЭПРО КРУЭВ (200 В, 5 Гц, 0.25 мс) обнаружено, что по завершении экспозиции рыб в электрическом поле рыбозаградителя, а также спустя 24 и 48 часа элиминации особей в контрольных и экспериментальных группах рыб не наблюдалось.

Проведенное тестирование не выявило различий в уровнях выживаемости у подопытных (подвергнутых электрическому воздействию СЭПРО КРУЭВ) и контрольных (интактных) рыб.

Биохимические исследования влияния электрического поля СЭПРО КРУЭВ на рыб

В результате исследований не установлено достоверных отличий биохимических параметров печени рулены из опытной и контрольной групп, что может свидетельствовать как об отсутствии негативного влияния СЭПРО КРУЭВ на биохимический статус печени рыб, так и о видоспецифической устойчивости рулены к электрическому воздействию (табл. 2).

В печени ласкиря из опытной группы активность СОД и АСТ была достоверно выше, чем в контроле ($p < 0.05$). Для остальных биохимических параметров достоверных различий не обнаружено (табл. 2). Полученные результаты могут свидетельствовать о чувствительности отдельных звеньев метаболизма ласкиря к воздействию СЭПРО КРУЭВ и отражают адаптивную ответную реакцию рыб к присутствию фактора за счет усиления антиоксидантной защиты и интенсификации белкового обмена.

Гистологические исследования влияния электрического поля СЭПРО КРУЭВ на гонады рыб

Рулена. Влияние электрического тока оценивали по изменению состава и структуры клеток яичников. Рулена имеет структуру яичников перкоидного типа. Самцы и самки созревают на 2-м году жизни, достигнув размера 6.5–7 см [18].

Исходный контроль («нулевая точка»). В августе, при постановке эксперимента, яичники рыхлые, ооцитов старше стадии протоплазматического роста не обнаружено, часть клеток подвергается резорбции – вокруг них располагаются скопления макрофагов, по периферии ламеллы находятся оогонии и ооциты стадии протоплазматического роста (рис. 5а).

Ооциты, перешедшие к протоплазматическому росту, располагаются пристеночно, размеры их увеличиваются по мере созревания от 15 до 50 мкм. Клетки окружены однослойной фолликулярной оболочкой. Клетки размером менее 20 мкм имеют рыхлое ядро с сетью гетерохроматина и плотным ядрышком. По мере созревания клетки объем цитоплазмы увеличивается, количество ядрышек в ядре также увеличивается до 4 и более.

Таблица 2. Некоторые биохимические показатели (M ± m) печени ласкиря и рулены из контрольной и опытной групп
Table 2. Some biochemical parameters (M ± m) of the liver of the Annular Seabream and Peacock Wrasse from the control and experimental groups

Параметр / Parameter	**Ласкирь** / Annular Seabream	
	Контроль / Control (n=7)	**Опыт** / Experiment (n=6)
ТБК-АП, нмоль/мг белка TBARS, nmol/mg protein	2.25±0.45	2.18±0.17
СОД, усл. ед./мг белка/мин SOD, arbitrary units/mg protein/min	17.97±5.46	79.36±3.24*
КАТ, мкат/мг белка CAT, mkat/mg protein	0.31±0.11	0.32±0.05
АЛТ, мкмоль/ч мг белка ALT, μmol/mg protein/h	0.18±0.06	0.21±0.09
АСТ, мкмоль/ч мг белка AST, μmol/mg protein/h	0.16±0.02	0.26±0.03*
Альбумин, мг/мг белка Albumin, mg/mg protein	3.37±0.84	3.54±1.17
	Рулена / Peacock Wrasse	
	Контроль / Control (n=6)	**Опыт** / Experiment (n=7)
ТБК-АП, нмоль/мг белка TBARS, nmol/mg protein	2.41±0.43	2.39±0.38
СОД, усл. ед./мг белка/мин SOD, arbitrary units/mg protein/min	55.96±4.37	45.13±5.93
КАТ, мкат/мг белка CAT, mkat/mg protein	0.17±0.05	0.12±0.03
АЛТ, мкмоль/ч мг белка ALT, μmol/mg protein/h	0.15±0.06	0.092±0.02
АСТ, мкмоль/ч мг белка AST, μmol/mg protein/h	0.11±0.02	0.14±0.04
Альбумин, мг/мг белка Albumin, mg/mg protein	2.59±0.82	2.95±0.55

*Примечание: * – достоверность различий между значением показателей рыб из контрольной и опытной групп. ТБК-АП – ТБК-активные продукты, СОД – супероксиддисмутаза, КАТ – каталаза, АЛТ – аланинаминотрансфераза, АСТ – аспартатаминотрансфераза, M – среднее значение, m – ошибка среднего, n – количество экземпляров.*
*Notes: * – significant difference between parameters of control and experimental groups (p<0.05). TBARS – thiobarbituric acid reactive substances, SOD – superoxide dismutase, CAT – catalase, ALT – alanine aminotransferase, AST – aspartate aminotransferase, M – mean value, m – standard error of the mean, n – number of specimens.*

После воздействия электрическим током. Пробы, отобранные непосредственно после воздействия электрическим током показали, что наибольшие изменения произошли в ооцитах стадии протоплазматического роста размером 80–100 мкм. По сравнению с клетками в контроле они имели очень крупное ядрышко в ядре, иногда кольцевидной формы, и несколько мелких, цитоплазма содержала более развитые каналы эндоплазматического ретикулума. По мнению некоторых исследователей, крупные ядрышки могут быть результатом стрессового воздействия (в частности, теплового шока) на клетки, в том числе половые, и являются частью защитного механизма [26]. Кровеносные сосуды расширены и заполнены эритроцитами (рис. 5b).

Через 37 суток эксперимента. У части ооцитов ядрышко также стало крупным, порой заполняя почти всю площадь ядра. Некоторые ооциты перешли в превителлиновую стадию (рис. 5c).

В опытной группе рыб через 37 суток после воздействия тока наблюдали отличия в структуре клеток. Отмечена десинхронизация деления оогониев (рис. 5d). По сравнению с контролем, присутствовало большее количество ооцитов начала протоплазматического роста, ядрышки в большинстве клеток были крупными и занимали почти все ядро, в цитоплазме видна перинуклеарная зона. Клеток на превителлиновой стадии не обнаружено. Структура кровеносных сосудов стала сходной с таковой контроля, но в ткани гонад присутствовали скопления макрофагов в большем количестве, по сравнению с контролем.

Таким образом, у рулены изменения после воздействия электрическим током выразились в стазе кровеносных сосудов и увеличении ядрышек в ядрах ооцитов. Стаз кровеносных сосудов мог ухудшить кровоснабжение органа, обмен питательными веществами и снабжение кислородом. По-видимому, это могло стать причиной как рассинхронизации деления и развития оогониев, так и замедления созревания ооцитов в опытной группе по сравнению с контролем.

Ласкирь. Результаты исследования влияния электрического тока показали, что в контроле в яичниках ласкиря присутствовали оогонии и ооциты в стадии протоплазматического роста и превителлогенеза (рис. 6a), окруженные трофическими клетками. Оогонии были расположены группами по 4–6 клеток у боковой поверхности ламеллы яичника. Ооциты на стадии протоплазматического роста составляли основную массу клеток. Их размеры колебались от 50 до 80 мкм. Около

10–15% клеток составляли ооциты превителлиновой стадии размером от 60 до 90 мкм. Их характерной чертой было наличие гранул желтка диаметром 1–2 мкм в перинуклеарной зоне (рис. 6a). Вместе с тем присутствовали ооциты с вакуолями в ядре, а также клетки с признаками резорбции. Они составляли в контрольной группе 1–2% всех клеток. По-видимому, появление вакуолей в ядре можно считать начальной стадией резорбции ооцита. В целом яичники всех исследованных рыб находились на второй – начале 3 стадии развития. Учитывая литературные данные о том, что самки ласкиря достигают половой зрелости на 2-м году жизни (самцы – на первом), а нерест растянут и длится с июня по сентябрь [18], размеры, возраст и стадию зрелости гонад исследованных рыб, участие данных особей в нересте в текущем году было маловероятно.

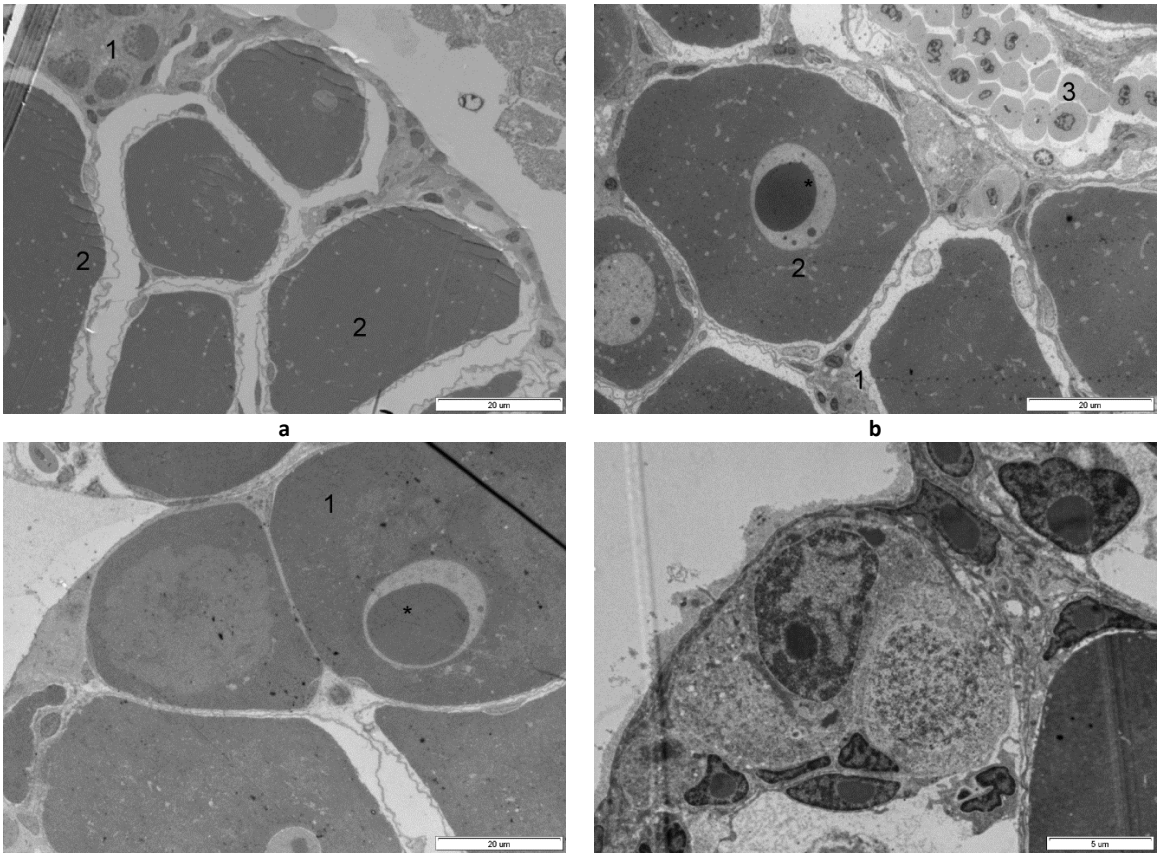


Рисунок 5. Клетки гонад рулены: a – исходный контроль, b – эксперимент, 1 час, c – контроль, 37 сут., d – эксперимент, 37 сут., асинхронное деление оогониев. 1 – оогонии, 2 – ооциты протоплазматического роста, 3 – кровеносный сосуд.* - крупное ядрышко.

Figure 5. Cells of Peacock Wrasse gonads: a – initial control, b – experiment, 1 hour, c – control, 37 days, d – experiment, 37 days, asynchronous division of oogonia. 1 – oogonia, 2 – protoplasmic growth oocytes, 3 – blood vessel; * – large nucleolus.

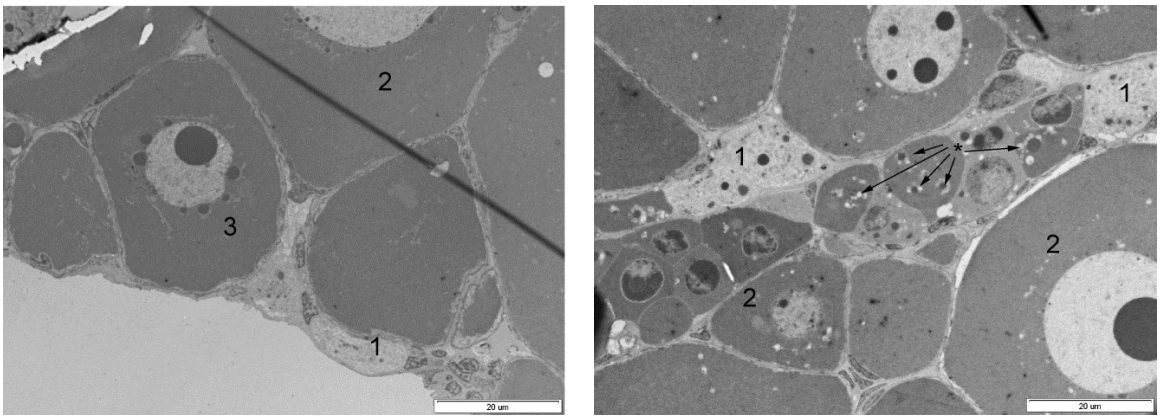
После воздействия электрического поля у самок отмечены гонады 2-х типов: первый тип соответствовал таковому рыб контрольной группы, однако в начальную стадию трофоплазматического роста вступило меньшее количество клеток (не более 5% от общего числа клеток), кроме того, фолликулярная оболочка этих клеток была более развитой, с хорошо выраженными складками и мелкими включениями. Меньшее количество ооцитов превителлиновой стадии в сочетании с изменением структуры оболочек ооцитов протоплазматического роста свидетельствует о замедлении оогенеза, а увеличение клеток с вакуолями в ядре (при отсутствии других видимых признаков резорбции) предполагает начальные стадии разрушения клеток.

Второй тип гонад характеризовался значительно большим пулом делящихся клеток и значительная долей ооцитов на стадии трофоплазматического роста (рис. 6b).

Оогонии на разных стадиях деления составляли около 8–10% всех клеток, ооциты протоплазматического роста – до 80% клеток. До 70% из них имеют размеры от 10 до 20 мкм и составляют пул клеток для следующего нереста. Около 10% имеют размеры от 50 до 80 мкм.

Отличительная черта гонад второго типа – присутствие гранул желтка в ооцитах, которые по размерам и локации, скорее, должны находиться на стадии протоплазматического роста. В клетках всех типов наблюдали митохондрии с разрушенными кристами и вакуоли в ядре. Однако в целом доля этих клеток была ниже, чем в контроле (менее 1% клеток).

Таким образом, несмотря на внешне сходно определяемые стадии зрелости гонад, особи, вероятно, относятся к разным группам: нерестившихся / или не вступивших в нерест самок.



a b

Рисунок 6. Клетки яичника ласкиря: A – контроль, 37 сут.; b – экперимент, 37 сут. 1 – оогонии, 2 – ооциты протоплазматической стадии, 3 ооциты превителлиновой стадии; * – гранулы желтка
Figure 6. The ovary cells of Annular Seabream: A – control, 37 days; b – experiment, 37 days. 1 – oogonia, 2 – oocytes of the protoplasmic stage, 3 – oocytes of the previtellin stage; * – yolk granules

Особый интерес представляет появление гранул желтка в небольших по размеру ооцитах протоплазматического роста и отсутствие их в крупных клетках. Не исключено, что воздействие электрического поля и стресс, вызванный отловом и пересадкой рыб, вызвали сдвиг в созревании половых клеток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования выявлено, что личинки рыб (атерина, длина 10 мм) проявляют чёткую первичную реакцию на электрическое воздействие СЭПРО КРУЭВ в виде быстрых и резких хаотических движений, и в то же время со слабо выраженным эффектом избегания работающей системы электродов. При повышении напряжения (100–150–200 В) у личинок рыб вблизи электродов проявляется иммобилизация (обездвиживание и оседание на дно).

У разных размерных групп молоди рыб (кефаль, средняя длина 20 мм и 53 мм) иммобилизации при воздействии электрического поля не наблюдается. Молодь рыб активно перемещается из зоны воздействия СЭПРО КРУЭВ, избегая воздействия электрического поля. По мере увеличения напряжения СЭПРО КРУЭВ среднее расстояние между молодью и створом электродов увеличивается.

Взрослые особи исследованных 10 видов рыб активно перемещались из зоны воздействия СЭПРО КРУЭВ, избегая воздействия электрического поля. При воздействии электрического тока пространственное распределение и поведение рыб изменялись: происходило формирование одновидовых стай рыб сходного размера. При нарастании напряжения на электродах (150 В, 200 В) стаи рыб фактически прекращали перемещения. Рыбы проявляли элементы оборонительного поведения (избегание и затаивание) в ответ на воздействие электрического поля. Наряду с этим отмечены случаи прохода отдельных особей и стай разных видов рыб сквозь створ электродов.

Необходимо отметить, что полученные результаты экспериментальных исследований поведения рыб в электрическом поле имеют предварительный характер. Для подбора и установления оптимальных параметров работы СЭПРО КРУЭВ, способствующих эффективному отпугиванию и препятствующих попаданию морских рыб в водозаборы и водоприемники, требуется проведение дальнейших исследований.

Прямая оценка выживаемости разных видов морских рыб во время и после воздействия тестируемого режима СЭПРО КРУЭВ (200 В, 5 Гц, 0.25 мс) во время экспозиции рыб в электрическом поле (1 ч) не выявила различий в элиминации рыб. В контрольной и экспериментальной группах на протяжении 48 часов после электрического воздействия гибели рыб не отмечено.

Выявлено отсутствие негативного влияния СЭПРО КРУЭВ на биохимический статус печени рулены. У ласкиря результаты биохимического анализа свидетельствуют о чувствительности отдельных звеньев метаболизма к воздействию СЭПРО КРУЭВ и отражают адаптацию рыб к данному фактору за счет усиления антиоксидантной защиты и интенсификации белкового обмена.

При оценке электрического воздействия СЭПРО КРУЭВ на воспроизводительную систему у рыб разных видов обнаружены различия, как в структуре гонад, так и реакции их клеток. Обнаружено, что степень восприимчивости к стрессору – импульсному току – зависит от стадии зрелости гонад: неполовозрелые и половозрелые особи со зрелыми гонадами в меньшей степени чувствительны к действию фактора, чем особи рыб сразу после нереста. Очевидно, что помимо видовой принадлежности, значение имеет также размер и возраст рыб. У неполовозрелых и не нерестившихся ласкирей электрическое воздействие на ооциты поздней протоплазматической стадии вызывает резорбцию небольшой части клеток, а в ооцитах ранней протоплазматической стадии стимулирует выработку вителлина. У рулены стресс после воздействия током вызвал рассинхронизацию в делении оогониев и замедление созревания ооцитов. Вместе с тем чтобы выяснить, какие последствия эти изменения будут иметь для последующего нереста рыб и как это повлияет на качество икры, требуются дальнейшие исследования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Искренне признательны администрации ФИЦ ИнБЮМ за помощь и содействие в реализации научно-

исследовательских работ. Особую благодарность выражаем отделу флота и бригаде рыбаков ФИЦ ИнБЮМ за помощь в отлове рыб для проведения экспериментальных исследований. Авторы выражают благодарность коллективу сотрудников кабинета электронной микроскопии ИБВВ РАН (С.И. Метелеву, Г.В. Быкову и З.Л. Быковой) за помощь в подготовке материала для электронной микроскопии.
2. Работа выполнена в рамках государственного задания ИБВВ РАН 121051100104-6 и 121050500046-8.
3. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ 121030100028-0.

ACKNOWLEDGMENT

1. We are sincerely grateful to the administration of IBSS for their help and assistance in the implementation of research projects. We express our special gratitude to the department of the fleet and the brigade of fishermen of the IBSS for help in catching fish for experimental research. The authors are grateful to the team of the staff of the electron microscopy room of the IBIW RAS (S.I. Metelev, G.V. Bykov, and Z.L. Bykova) for their help in preparing material for electron microscopy.
2. The work was performed within the framework of state assignment IBIW RAS 121051100104-6 and 121050500046-8.
3. The work was performed within the framework of state assignment IBSS 121030100028-0.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fish Guidance and Deterrence Barriers. URL: http:// Smith-Root (дата обращения: 24.12.2021)
2. Стернин В.Г., Никоноров И.В., Бумейстер Ю.К. Электролов рыбы (основы теории и практика). Москва: Пищевая промышленность, 1972. 360 с.
3. Turnpenny A.W.H., Struthers G., Hanson K.P. A UK guide to intake fish-screening regulations, policy and best practice. Oxon, UK: Harwell Laboratory, Energy Technology Support Unit. 1998. 127 p.
4. Maceina M.J., Slipke J.W., Grizzle J.M. Effectiveness of three barrier types for confining grass carp in embayments of Lake Seminole, Georgia // North American Journal of Fisheries Management. 1999. V. 19. P. 968–997. DOI: 10.1577/1548-8675(1999)019<0968:EOTBTF>2.0.CO;2
5. Clarkson R.W. Effectiveness of electrical fish barriers associated with the central Arizona project // North American Journal of Fisheries Management. 2004. V. 24. N 1. P. 94–105. DOI: 10.1577/M02-146
6. Dettmers J.M., Creque S.M. Field Assessment of an electric dispersal barrier to protect sport fishes from invasive exotic fishes. Annual Report to Division of Fisheries Illinois Department of Natural Resources. F-150-R-2. 2004. 20 p.
7. Извеков Е.И., Асланов Г.А. Экологическая безопасность электролова рыбы и эффективность промысла во внутренних водоемах // Москва: ВНИЭРХ, 2000. Вып. 2. С. 1–68.
8. Извеков Е.И. Влияние электромагнитных полей // Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. С. 308–323.
9. Извеков Е.И. Воздействие антропогенных электрических полей на биоресурсы водоемов: итоги и перспективы исследований // Материалы докладов I Всероссийской конференции с международным участием «Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов», Борок, 12–16 сентября 2011, Москва: АКВАРОС, 2011. Т. 1. С. 267–276.
10. Мишелович Г.М. Технико-биологическое обоснование экологически безопасных параметров электромагнитного поля для промысла и защиты рыб // Проблемы экологической безопасности промысла рыб на внутренних водоемах. Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2004. Вып. 330. С. 43–60.
11. van Marlen B., Wiegerinck J.A.M., van Os-Koomen E., van Barneveld E. Catch comparison of flatfish pulse trawls and a tickler chain beam trawl // Fisheries Research. 2014. V. 151. P. 57–69. DOI: 10.1016/j.fishres.2013.11.007
12. de Haan D., Fosseidengen J.E., Fjelldal P.G., Burggraaf D., Rijnsdorp A.D. Pulse trawl fishing: characteristics of the electrical stimulation and the effect on behaviour and injuries of Atlantic cod (*Gadus morhua*) // ICES Journal of Marine Science. 2016. V. 73(6). P. 1557–1569. DOI: 10.1093/icesjms/fsw018
13. Desender M., Chiers K., Polet H., Verschueren B., Saunders J.H., Ampe B., Mortensen A., Puvanendran V., Decostere A. Short-term effect of pulsed direct current on various species of adult fish and its implication in pulse trawling for brown shrimp in the North Sea // Fisheries Research. 2016. V. 179. P. 90–97.
14. Desender M., Decostere A., Adriaens D., Duchateau L., Mortensen, A., Polet H., Puvanendran V., Verschueren B., Chiers, K. Impact of pulsed direct current on embryonated eggs, larvae and young juveniles of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and its implication in electrotrawling for brown shrimp // Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science. 2017. V. 9. P. 330–340.
15. Desender M., Dumolein L., Duchateau L., Adriaens D., Delbare D., Polet H., Chiers K., Decostere A. Pulse trawling: The impact of pulsed direct current on early life stages of sole Solea solea // North American Journal of Fisheries Management. 2018. V. 38(2). P. 432–438. DOI: 10.1002/nafm.10039
16. Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. Москва; Ленинград: Наука, 1964. 554 с.
17. Васильева Е.Д. Рыбы Черного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригалинных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С. В. Богородским. Москва: ВНИРО, 2007. 238 с.
18. Болтачев А.Р., Карпова Е.П. Морские рыбы Крымского полуострова. 2-е изд. Симферополь: БизнесИнформ, 2017. 170 с.
19. Миронов А.А., Комиссарчик Я.Ю., Миронов В.А. Методы электронной микроскопии в биологии и медицине. Санкт-Петербург: Наука, 1994. 400 с.
20. Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы в биохимии. Москва: Медицина, 1977. С. 66–68.
21. Nishikimi M., Rao N.A., Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen // Biochim. Biophys. Res. Commun. 1972. V. 46. N 2. P. 849–854.
22. Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. 1988. N 1. С. 16–19.
23. Балаев Л.А., Федоренко Г.С., Гусар А.Г. Реакция некоторых черноморских рыб в однородных полях постоянного тока // Вопросы физиологии рыб. 1970. Вып. 2. С. 268–277.
24. Hilgert P.J. Evaluation of a graduated electric field as a fish exclusion device. Final report to Puget Sound Power and Light Co. Environmental Sciences. PO Box 97034. Bellevue, Washington 98009-9734. USA. 1992. 29 p.
25. Gosset C., Travade F., Garaicoechea C. Influence d'un écran électrique en aval d'une usine hydroélectrique sur le comportement de remontée du saumon atlantique (*Salmo salar*). ENGL: Influence of an electric screen downstream from an hydroelectric plant on upstream migration of the Atlantic

salmon (*Salmo salar*) // Bull. Fr. Pêche Piscic. 1992. V. 324. P. 2–25.
26. Frottin F., Schueder F., Tiwary S., Gupta R., Körnert R., Schlichthaerle T., Cox J., Jungmann R., Hartl F.U., Hipp M.S. The nucleolus functions as a phase-separated protein quality control compartment // Science. 2019. V. 365. Iss. 6451. P. 342–347. DOI: 10.1126/science.aaw9157.

REFERENCES

1. Fish Guidance and Deterrence Barriers. Available at: http:// Smith-Root (accessed 24.12.2021)
2. Sternin V.G., Nikonorov I.V., Bumeister Yu.K. *Elektrolov ryby (osnovy teorii i praktika)* [Electrofishing (basics of theory and practice)]. Moscow, Pishch. Promyshlennost Publ., 1972, 360 p. (In Russian)
3. Turnpenny A.W.H., Struthers G., Hanson K.P. A UK guide to intake fish-screening regulations, policy and best practice. Oxon, UK, Harwell Laboratory, Energy Technology Support Unit, 1998, 127 p.
4. Maceina M.J., Slipke J.W., Grizzle J.M. Effectiveness of three barrier types for confining grass carp in embayments of Lake Seminole, Georgia. *North American Journal of Fisheries Management*, 1999, vol. 19, pp. 968–997. DOI: 10.1577/1548-8675(1999)019<0968:EOTBTF>2.0.CO;2
5. Clarkson R.W. Effectiveness of electrical fish barriers associated with the central Arizona project. *North American Journal of Fisheries Management*, 2004, vol. 24, no. 1, pp. 94-105. DOI: 10.1577/M02-146
6. Dettmers J.M., Creque S.M. Field Assessment of an electric dispersal barrier to protect sport fishes from invasive exotic fishes. Annual Report to Division of Fisheries Illinois Department of Natural Resources. F-150-R-2. 2004. 20 p.
7. Izvekov E.I., Aslanov G.A. *Ekologicheskaya bezopasnost' elektrolova ryby i effektivnost' promysla vo vnutrennikh vodoemakh* [Ecological safety of electrofishing and the efficiency of fishing in inland waters]. Moscow, VNIERKh Publ., 2000, vol. 2, pp. 1–68. (In Russian)
8. Izvekov E.I. Influence of electromagnetic fields. In: *Ekologicheskie problemy Verkhnei Volgi* [Environmental problems of the Upper Volga]. Yaroslavl, YaGTU Publ., 2001, pp. 308–323. (In Russian)
9. Izvekov E.I. Vozdeistvie antropogennykh elektricheskikh polei na bioresursy vodoemov: itogi i perspektivy issledovanii [The impact of anthropogenic electric fields on the bioresources of water bodies: results and prospects of research]. *Materialy dokladov I Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennikh vodoemov», Borok, 12–16 sentyabrya 2011, Moskva* [Materials of the reports of the I All-Russian Conference with international participation "The current state of bioresources of inland waters", Borok, September 12-16, 2011]. Moscow, AKVAROS Publ., 2011, vol. 1, pp. 267–276. (In Russian)
10. Mishelovich G.M. Feasibility study of environmentally safe parameters of the electromagnetic field for fishing and protecting fish. In: *Problemy ekologicheskoi bezopasnosti promysla ryb na vnutrennikh vodoemakh* [Problems of ecological safety of fishery in inland waters]. Saint Petersburg, GosNIORH Publ., 2004, vol. 330, pp. 43–60. (In Russian)
11. van Marlen B., Wiegerinck J.A.M., van Os-Koomen E., van Barneveld E. Catch comparison of flatfish pulse trawls and a tickler chain beam trawl. *Fisheries Research*, 2014, vol. 151, pp. 57–69. DOI: 10.1016/j.fishres.2013.11.007
12. de Haan D., Fosseidengen J.E., Fjelldal P.G., Burggraaf D., Rijnsdorp A.D. Pulse trawl fishing: characteristics of the electrical stimulation and the effect on behaviour and injuries of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *ICES Journal of Marine Science*, 2016, vol. 73(6), pp. 1557–1569. DOI: 10.1093/icesjms/fsw018
13. Desender M., Chiers K., Polet H., Verschueren B., Saunders J.H., Ampe B., Mortensen A., Puvanendran V., Decostere A. Short-term effect of pulsed direct current on various species of adult fish and its implication in pulse trawling for brown shrimp in the North Sea. Fisheries Research. 2016, vol. 179, pp. 90–97.
14. Desender M., Decostere A., Adriaens D., Duchateau L., Mortensen, A., Polet H., Puvanendran V., Verschueren B., Chiers, K. Impact of pulsed direct current on embryonated eggs, larvae and young juveniles of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and its implication in electrotrawling for brown shrimp. Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science. 2017, vol. 9, pp. 330–340.
15. Desender M., Dumolein L., Duchateau L., Adriaens D., Delbare D., Polet H., Chiers K., Decostere A. Pulse trawling: The impact of pulsed direct current on early life stages of sole *Solea solea*. *North American Journal of Fisheries Management*, 2018, vol. 38(2), pp. 432–438. DOI: 10.1002/nafm.10039
16. Svetovidov A.N. *Ryby Chernogo morya* [Black Sea fish]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1964, 554 p. (In Russian)
17. Vasilyeva E.D. *Ryby Chernogo morya. Opredelitel' morskikh, solonovatovodnykh, evrigalinnykh i prokhodnykh vidov s tsvetnymi illyustratsiyami, sobrannymi S. V. Bogorodskim* [Fishes of the Black Sea. Key to marine, brackish, euryhaline and anadromous species with color illustrations collected by S. V. Bogorodsky]. Moscow, VNIRO Publ., 2007, 238 p. (In Russian)
18. Boltachev A.R., Karpova E.P. Morskie ryby Krymskogo poluostrova [Marine fish of the Crimean peninsula]. Simferopol, Biznes Inform Publ., 2017, 2-nd Ed. 170 p. (In Russian)
19. Mironov A.A., Komissarchik Ya.Yu., Mironov V.A. *Metody elektronnoi mikroskopii v biologii i meditsine* [Electron microscopy methods in biology and medicine]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 1994, 400 p. (In Russian)
20. Stalnaya I.D., Garishvili T.G. Method for the determination of malondialdehyde using thiobarbituric acid. In: *Sovremennye metody v biohimii* [Modern methods in biochemistry]. Moscow, Meditsina Publ., 1977, pp. 66–68. (In Russian)
21. Nishikimi M., Rao N.A., Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen. Biochim. Biophys. Res. Commun. 1972, vol. 46, no. 2, pp. 849–854.
22. Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Maiorova I.G., Tokarev V.E. Method for determining catalase activity. Laboratornoe delo [Laboratory business]. 1988, no. 1, pp. 16–19. (In Russian)
23. Balaev L.A., Fedorenko G.S., Gusar A.G. Reaction of some Black Sea fishes in homogeneous DC fields. Voprosy fiziologii ryb [Questions of fish physiology]. 1970, vol. 2, pp. 268–277. (In Russian)
24. Hilgert P.J. Evaluation of a graduated electric field as a fish exclusion device. Final report to Puget Sound Power and Light Co. Environmental Sciences. PO Box 97034. Bellevue, Washington 98009-9734. USA. 1992. 29 p.
25. Gosset C., Travade F., Garaicoechea C. Influence d'un écran électrique en aval d'une usine hydroélectrique sur le comportement de remontée du saumon atlantique (*Salmo salar*). ENGL: Influence of an electric screen downstream from an hydroelectric plant on upstream migration of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). Bull. Fr. Pêche Piscic. 1992, vol. 324, pp. 2–25.
26. Frottin F., Schueder F., Tiwary S., Gupta R., Körnert R., Schlichthaerle T., Cox J., Jungmann R., Hartl F.U., Hipp M.S. The nucleolus functions as a phase-separated protein quality control compartment. *Science*, 2019, vol. 365, iss. 6451, pp. 342–347. DOI: 10.1126/science.aaw9157

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Игорь А. Столбунов, Сергей Н. Салиенко, Максим П. Кирин, Полина С. Подрезова провели экспериментальные исследования. Екатерина Н. Скуратовская и Татьяна Б. Сигачева выполнили биохимический анализ рыб. Елена А. Заботкина провела гистологическую обработку ихтиологического материала. Игорь А. Столбунов, Елена А. Заботкина, Евгений И. Извеков, Екатерина Н. Скуратовская, Татьяна Б. Сигачева, Максим П. Кирин проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Igor A. Stolbunov, Sergey N. Salienko, Maxim P. Kirin and Polina S. Podrezova conducted experimental studies. Ekaterina N. Skuratovskaya and Tatiana B. Sigacheva performed biochemical analysis of fish. Elena A. Zabotkina carried out the histological processing of the ichthyological material. Igor A. Stolbunov, Elena A. Zabotkina, Evgeny I. Izvekov, Ekaterina N. Skuratovskaya, Tatiana B. Sigacheva and Maxim P. Kirin analysed the data and wrote the manuscript. 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

Игорь А. Столбунов / Igor A. Stolbunov https://orcid.org/0000-0001-5052-9111
Сергей Н. Салиенко / Sergey N. Salienko https://orcid.org/0000-0001-5559-9207
Елена А. Заботкина / Elena A. Zabotkina https://orcid.org/0000-0003-1784-8393
Евгений И. Извеков / Evgeny I. Izvekov https://orcid.org/0000-0002-7623-9822
Екатерина Н. Скуратовская / Ekaterina N. Skuratovskaya https://orcid.org/0000-0003-4501-5065
Татьяна Б. Сигачева / Tatiana B. Sigacheva https://orcid.org/0000-0003-3125-898X
Максим П. Кирин / Maxim P. Kirin https://orcid.org/0000-0002-4214-565X
Полина С. Подрезова / Polina S. Podrezova https://orcid.org/0000-0001-5995-1634

Original article / Оригинальная статья
УДК 619:616.98:578.832.1:636.52
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-233-263

The article is published in the author's edition

An early warning system for highly pathogenic viruses borne by waterbird species and related dynamics of climate change in the Caspian Sea region: Outlines of a concept

Guy Petherbridge[1], Alimurad A. Gadzhiev[1], Alexander M. Shestopalov[2], Alexander Yu. Alekseev[2], Kirill A. Sharshov[2] and Madina G. Daudova[1]

[1]Dagestan State University, Makhachkala, Russia
[2]Research Institute of Virology, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Principal contact
Guy Petherbridge, Professor, Caspian Centre for Nature Conservation, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367000.
Tel. +79886340050
Email caspianconservation@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-7196-3937

How to cite this article
Petherbridge G., Gadzhiev A.A., Shestopalov A.M., Alekseev A.Yu., Sharshov K.A., Daudova M.G. An early warning system for highly pathogenic viruses borne by waterbird species and related dynamics of climate change in the Caspian Sea region: Outlines of a concept. *South of Russia: ecology, development.* 2022, vol. 17, no. 2, pp. 233-263. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-233-263

Received 3 December 2022
Revised 14 December 2022
Accepted 15 December 2022

Abstract

Aim. Formulation of the outlines of the concept of ViEW (**Vi**ral **E**arly **W**arning) which is intended as a long term system of multidisciplinary transboundary cooperation between specialist institutions of all five Caspian region states to research, regularly monitor and share data about the generation, transmission and epidemiology of avian-borne pathogens and their vectors in the region, and the ways climate change may affect these processes.

Material and Methods. The concept is based on the multidisciplinary experience of the authors in researching the processes incorporated in the ViEW concept and on an in-depth survey of the literature involved.

Results. The outlines of the ViEW concept are presented in this study for review and comment by interested parties and stakeholders.

Conclusion. Review of activities and opinions of specialists and organizations with remits relating to the development, establishment and maintenance of ViEW, indicates that such a system is a necessity for global animal and human health because of the role that the Caspian region plays in the mass migration of species of waterbird known as vectors for avian influenza and the already evident impacts of climate change on their phenologies. Waterbirds frequenting the Caspian Sea littorals and their habitats together constitute a major potential global hotspot or High Risk region for the generation and transmission of highly pathogenic avian influenza viruses and other dangerous zoonotic diseases.

Key Words
Caspian Sea, bird migration, avian influenza, surveillance, global hot spot, climate change impacts, early warning, high risk virus detection strategy.

© 2022 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Статья публикуется в авторской редакции

Система раннего предупреждения о высокопатогенных вирусах, переносимых водоплавающими птицами, и связанная с этим динамика изменения климата прибрежных районов Каспийского моря: основные положения концепции

Гай Петербридж[1], Алимурад А. Гаджиев[1], Александр М. Шестопалов[2], Александр Ю. Алексеев[2], Кирилл А. Шаршов[2], Мадина Г. Даудова[1]

[1]Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

[2]Научно-исследовательский институт вирусологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины» Сибирского отделения Российской Академии наук (ФИЦ ФТМ СО РАН), Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Гай Петербридж, Профессор, Каспийский центр охраны природы, Институт экологии устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21

Тел. +79886340050

Email caspianconservation@mail.ru

ORCID https://orcid.org/0000-0001-7196-3937

Формат цитирования

Петербридж Г., Гаджиев А.А., Шестопалов А.М., Алексеев А.Ю., Шаршов К.А., Даудова М.Г. Система раннего предупреждения о высокопатогенных вирусах, переносимых водоплавающими птицами, и связанная с этим динамика изменения климата прибрежных районов Каспийского моря: основные положения концепции // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 2. С. 233-263. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-233-263

Получена 3 декабря 2022 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2022 г.

Принята 15 декабря 2022 г.

Резюме

Цель. Формулировка общих черт концепции ViEW (**Vi**ral **E**arly **W**arning – ранее предупреждение о вирусах), которая задумана как долгосрочная система междисциплинарного трансграничного сотрудничества между специализированными учреждениями всех пяти государств Каспийского региона для исследования, мониторинга и обмена данными о возникновении, передаче и эпидемиологии переносимых птицами патогенов, а также то, как изменение климата может повлиять на эти процессы.

Материалы и методы. Концепция основана на междисциплинарном опыте авторов в исследовании процессов, включенных в концепцию ViEW и на углубленном изучении соответствующей литературы.

Результаты. В этом исследовании представлены основные положения концепции ViEW для рассмотрения и комментирования заинтересованными сторонами.

Заключение. Обзор деятельности и мнений специалистов и организаций, имеющих полномочия, связанные с разработкой, созданием и поддержанием ViEW, свидетельствует о том, что такая система является необходимостью для глобального здоровья животных и человека, так как Каспийский регион играет большую роль в массовой миграции водоплавающих птиц, известных как переносчики птичьего гриппа, и уже очевидных последствий изменения климата для их фенологии. Водно-болотные птицы, посещающие прибрежные районы Каспийского моря, и их местообитания вместе представляют собой крупную потенциальную глобальную горячую точку или регион высокого риска образования и передачи высокопатогенных вирусов птичьего гриппа и других опасных зоонозных инфекций.

Ключевые слова

Каспийское море, миграция птиц, птичий грипп, эпиднадзор, глобальная горячая точка, последствия изменения климата, раннее предупреждение, стратегия обнаружения вирусов высокого риска.

© 2022 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Prolegomena: Alignment with Priority Policies of the Russian Federation in Regard to Potential Biological Threats

On 25 March 2020, prior to the full understanding of the global pandemic danger presented by the COVID-19 coronavirus, Inger Anderson, Executive Director of the United Nations Environmental Programme (UNEP) warned: "*Nature is sending us a message*" *...Seventy-five percent of all emerging infectious diseases come from wildlife. Our continued erosion of wild spaces has brought us uncomfortably close to animals and plants that harbour diseases that can jump to humans. Human infectious diseas outbreaks are rising and in recent years there have been Ebole, bird flue, Middle east respiratory syndrome (MERS), Rift Valley fever, sudden acute respiratory syndrome (SARS), West Nile virus and Zika virus, all of which have crossed from animals to humans. Never before have so many opportunities existed for pathogens to pass from wild and domestic animals to people*". "*...We need to go into the future armed with nature as our strongest ally*".

In response to this situation, specialists at the Institute of Ecology and Sustainable Development od Dagestan State University and at the Federal Centre of Fundamental and Translational Medicine of the Siberian Branch of the Russian Acedmy of Sciencess have developed the concept of ViEW (**Vi**ral **E**arly **W**arning) responds to national strategic policies of the Russian Federation in a range of ways, particularly with regard to: "*International scientific and technical cooperation and international integration in the field of research and technology, which protect the identity of the Russian scientific sphere and state interests in the context of the internationalization of science and increase the effectiveness of Russian science through mutually beneficial international cooperation*" and "*the formation and promotion of the current scientific agenda of the state as a member of international organizations, increasing the level of participation of Russia in international systems of scientific and technical expertise and forecasting*". (Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation, 1 December 2016 No. 642), and also the implementation of the above as expressed in the Presidential address to the Russian Federal Assembly of 15 January 2020: "*I would like to stress that Russia is ready to support Russian and foreign scientists' joint research on ecology, climate change, environmental and ocean pollution. These are global development challenges shared by everyone*".

ViEW is intended as long term programme of multidisciplinary transboundary cooperation between specialist institutions of all five Caspian Sea littoral states to research, monitor (to an agreed methodology and regular schedule) and share data on the generation, transmission and epidemiology of avian borne pathogens in the Caspian region, with a particular emphasis on the ways climate change may affect these matters. In turn this information would be passed to those national, regional and international bodies which are tasked to incorporate and respond to such data within their respective global mandates.

The establishment of ViEW as an early detection and warning system for avian and inter-species viral transmission would also be a key component of the national scientific response to potential biogenic threats, as articulated in the Decree of the President of the Russian Federation of 11 March 2019 No. 97, "On the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the field of ensuring chemical and biological safety for the period up to 2025 and beyond". This policy has identified new priority areas in the field of ensuring chemical and biological safety, the main biological threats to Russia's security being considered to include modification of the properties and forms of pathogenic biological agents and the properties of their carriers; design and creation of pathogens using synthetic biology technologies and terrorist attacks associated with the use of hazardous biological substances.

Two of the Russian Federation's key viral research, monitoring and analytical centres in regard to biological threats posed by highly infectious animal-borne disease are located in Novosibirsk (Federal Centre for Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences) and in Makhachkala (Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University) on the Caspian Sea coast, which would coordinate the ViEW programme.

ViEW would be established by agreement and in collaboration with the member institutions of the Association of Universities and National Research Centres of Caspian Region States, whose International Institute of Ecology and Sustainable Development of Universities and National Research Centres of Caspian Region States is directed by Director of the Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University.

The endorsement and support of ViEW by the principal responsible international intergovernmental agencies (FAO, UNEP, WHO, UNESCO and WOAH) for ViEW would be sought, as would its structural incorporation into their regional and global strategies, in particular those relating to the Tehran Convention (Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea) of which the Russian Federation is a signatory.

1. ViEW: Introduction

Prior to the COVID-19 pandemic, the most severe pandemic in modern human history was that of the highly contagious influenza outbreak of 1918-1920, which caused some 50 million deaths. Scientific opinions differ, but it may have been caused directly or indirectly by an H1N1 virus of avian origin. There are four main influenza virus species: A, B, C and D. Type A viruses are known to infect a wide variety of birds and mammals, while the other species have more restricted host ranges. Influenza A viruses (IAV) include all avian influnza viruses (Lycett, 2019). The first documented occurrence of highly pathogenic avian influenza in a wild bird population was in 1961, when an outbreak in Common Terns (*Sterna hirundo*) killed about 1,600 birds in South Africa. Current avian influenza viruses (AIV) have a fast mutation rate and virus strains have been circulating and diversifying in wild bird populations for more than a century. Exchange of genes between virus strains that co-infect cells in the same host, a process known as reassortment, further increases the evolutionary speed of the virus. Direct transmission of the virus from wild birds to humans appears to be very rare (or non-existent), presumably due to the low frequency of contact between the two populations; however, transmission from domestic avian

species to humans does occur, especially in live poultry (wet) markets in Asia. Already in the present century there have been a number of avian influenza outbreaks of concern, of particular virulence being the highly pathogenic HPAI H5N1 strain first reported in Central Asia and Eastern Europe in 2005 and continuing to spread into Europe and south west Asia in 2006-2007. In 2009 the "swine flu", a strain of H1N1 virus resulting from a reassortment of avian, swine and human influenza viruses, caused more than 284,000 fatalities globally (Lycett, 2019; Mehrabanpour et al., 2012).

Since the 2005 outbreak, increasing attention has been placed on researching and monitoring avian influenza viruses in both wild and domestic birds. Because some bird populations can travel long distances, there are high chances of AIV reaching a wider range of birds or other species. Waterbirds, especially those of the order Anseriformes, are known as a natural reservoir for avian influenza viruses (AIV) (Stallknecht 2003), with the viruses being most prevalent in dabbling (surface – feeding) ducks, especially Mallard (*Anas platyrhyncos*) (Olsen et al., 2006; Vandegrift et al., 2010). Certain gulls and terns are also identified as significant viral vectors.

New avian viruses and subtypes are generally documented as developing in east or south-east Asia, then spreading to Mongolia, Siberia and Europe and can cause extensive mortality in both wild birds and poultry. Migratory water birds mixing with domestic or farmed poultry may contribute to the generation of new viruses by reassortment which may eventually spread intra- and intercontinentally.

Migratory birds are also one of the best groups of animals to monitor for the effects of climate change, which may in turn impact on the generation and dissemination of new pathogens. Most birds are day-time active, conspicuous, easy to identify and are popular with many groups of people, including amateur birdwatchers and professional scientists (Ferrer et al., 2008). In the analysis of Ferrer and colleagues, "many parts of Europe and North America, particularly, their distributions and numbers, as well as the timing of their migrations and breeding seasons, have been well monitored for decades. Migratory birds are likely to be more vulnerable than non-migrants because they can influenced by conditions in three different geographic locations: their breeding grounds, their wintering areas, and their migration routes. A growing body of field and laboratory evidence indicates that, far from being a static and conservative trait, migration is a dynamic and flexible behaviour in birds that is greatly influenced by external factors. Thus we can expect that in addition to population effects in migrants, migratory behaviour, itself, is likely to change in association with climate change. And, indeed, many changes in migration already have been reported. Many migrants are migrating earlier in spring than formerly, and some are migrating later in autumn as well. Most examples of shifts of migratory behaviour involve species that have extended their breeding ranges into higher latitude areas where over-wintering was not possible or was highly risky in the past. On the other hand, some species that once were entirely migratory are now partially migratory, with increasing numbers of individuals staying on their breeding grounds year-round. In yet other species, individuals are now migrating shorter distances than formerly, and are over-wintering farther north" (Ferrer et al., 2008).

Accordingly, in the last two decades significant research internationally has been ongoing into the causes, vectors and epidemiology of AIV and the documentation of associated impacts of climate change. A considerable number and geographical scope of national, regional and global surveys of these inter-related phenomena have been undertaken. In North American and European countries, in particular, a significant body of epidemiological data has been gathered regarding the circulation of AIVs in wild birds. Nonetheless, little is known about the prevalence of AIVs in wild birds in West and Central Asian regions, where many countries have been severely affected by each successive wave of outbreaks (Marashi et al., 2020).

In some cases, surveys undertaken have been reactive, focusing on the reporting of birds found dead and the analysis of the biological cause of individual deaths (Fereidoini et al., 2010). In other cases work has been undertaken to attempt to forensically reconstruct from pre-existing monitoring and other data what may have led to the outbreak and spread of a particular outbreak (Delaney et al., 2006). There have also been a number of initiatives over an extended time period of time to monitor or collate monitoring data on species of waterbirds which research has shown to be primary vectors for avian influenza viruses. A good example of the latter approach is the Asia-Pacific Working Group on Migratory Waterbirds and Avian Influenza (APWG-MWAI) which was established under the auspices of the Asia-Pacific Migratory Waterbird Conservation Committee, the predecessor of the East Asian-Australasian Flyway Partnership and the Central Asian Flyway (CAF) Action Plan. The goal of the group is to coordinate, facilitate and promote collation of avian influenza-related waterbird programmes and activities in the East Asian-Australasian and the Central Asian Flyways.

Rarely, however, has there been instituted an integrated regional or global system to regularly monitor high risk waterbirds in the field over an indefinite future time span, although there are some exemplary exceptions.

The Caspian region is one of the potential global HPAI hotspots in Eurasia which requires just such a system of AIV surveillance, being located at the intersection of three major migratory routes: the Central Asian flyway, the East Africa/West Asian flyway and the Black Sea/Mediterranean flyway (Fig. 1). Due to the richness of its large saltwater bays, lagoons, river deltas and inland wetlands, the Caspian region represents a primary route for the seasonal migrations of many bird species in Eurasia. Ecological characteristics of these unique habitats allow wild waterfowl and shorebirds to use numerous Caspian wetlands for both wintering and nesting. Moreover, this region also provides staging sites for species that migrate further to and from Europe or Africa (Gulyaeva et al., 2021). As noted below, some waterbird species do not always fly either south or north through the Caspian region in their seasonal migrations but also westwards to Crimea and the western Black Sea coasts in particularly cold winters after passing through the northern Caspian region.

2. The ViEW concept

Through ViEW (**Vi**ral **E**arly **W**arning System) the intention is to establish and operate a long term programme of multidisciplinary transboundary cooperation between

specialist institutions of all five Caspian Sea littoral states to research, monitor (to an agreed methodology and regular schedule) and share data on the generation, transmission and epidemiology of avian borne pathogens in the Caspian region, with a special emphasis on the ways climate change may affect these processes. In turn this information would be passed to those national, regional and international bodies which are tasked to incorporate and respond to such data within their respective global mandates. A key body in this respect is the Scientific Task Force on Avian Influenza and Wild Birds which was co-convened by the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) in response to large-scale outbreaks of highly pathogenic avian influenza (HPAI) in wild birds. It works as a communication and coordination network that keeps under review the role of wild birds in the epidemiology of AI and the impact of the disease on wild birds, promoting a balanced opinion based on currently available evidence. Task Force members include FAO, CMS, the African Eurasian Waterbird Agreement (AEWA), BirdLife International, EcoHealth Alliance, International Council for Game and Wildlife Conservation (CIC), Ramsar Convention, Royal Veterinary College, Wetlands International, and Wildfowl & Wetlands Trust (WWT). Task Force observers include the United Nations Environment Programme, the World Health Organization and the World Organisation for Animal Health (WOAH).

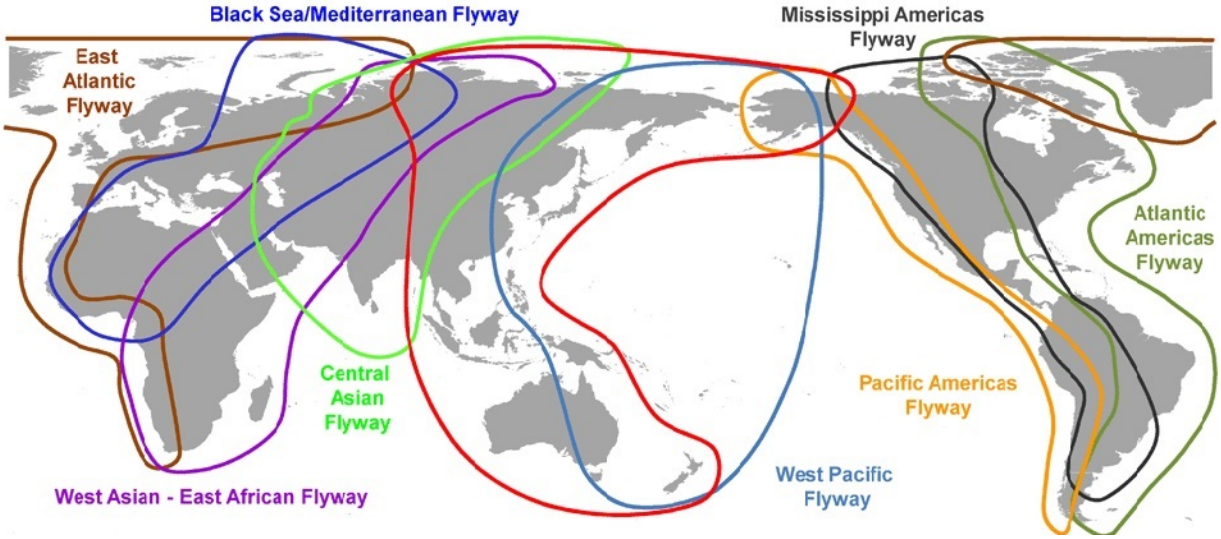


Figure 1. World migratory flyway zones

Another important international resource is the Global Consortium for H5N8 and Related Infuenza Viruses (GISAID) platform was launched on the occasion of the Sixty-first World Health Assembly in May 2008. Created as an alternative to the public domain sharing model, GISAID's sharing mechanism took into account the concerns of Member States by providing a publicly accessible database designed by scientist for scientist, to improve the sharing of influenza data. Since its launch GISAID plays an essential role in the sharing of data among the WHO Collaborating Centers and National Influenza Centres for the bi-annual influenza vaccine virus recommendations by the WHO Global Influenza Surveillance and Response System (GISRS).

2.1 Rationale behind the ViEW concept

The concept of ViEW is currently being developed by a Russian research team in Dagestan and Siberia to address the current overall deficit in systematic data for the Caspian Sea region by monitoring the presence and dynamics of viruses in waterbirds resident, wintering in or seasonally migrating through this potential global HPAI hotspot. Also important is the regular monitoring of threats to human and other mammalian health carried by waterbirds such as the West Nile virus (in Iran crows have been identified as vectors of this bird-mosquito borne malady (Sharti, 2020)), the schistosome parasite that causes cercarial dermatitis and heavy metals caused by anthropogenic pollution in the living environment of waterbirds

ViEW would also collect further information to understand and respond to the growing impacts of climate change on these birds and on critical aspects of the biodiversity of the Caspian and other regions they frequent. Parallel monitoring would be undertaken on the bat species inhabiting the region and the Caspian Seal, both of which have been identified as viral vectors.

The ViEW surveillance concept builds on the experience and activities of specialists of all Caspian Sea littoral states (Azerbaijan, Iran, Kazakhstan, Russia and Turkmenistan) within the policy framework of the Tehran Convention (Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea), and particularly draws particularly on the scientific resources and networks of the International Institute of Ecology and Sustainable Development of the Association of Universities and National Research Centres of Caspian Region States.

As a response to the 2005 outbreak of the Avian Influenza Asian Lineage HPA1 H5N1 virus which spread from east Asia to south-west Siberia, the Kazakhstan and the Urals, the European Commission sponsored an “Urgent preliminary assessment of ornithological data relevant to the spread of Avian Influenza in Europe” by Wetlands International and EURING (European Union for Bird Ringing) (Delany et al., 2006). Migratory birds were suspected of playing a role in the spread of the disease which meant that the European Union could be under

direct threat as a number of waterbird species which were known as avian influenza viral vectors (geese, ducks and shorebirds in particular) were known to migrate through already infected areas in Eurasia and south-west Asia to the EU in winter. The aims of the project were: (1) to identify species which posed a relatively high risk of spreading H5N1 along their migration routes to the European Union, (2) to analyse the migration routes of these so-called Higher Risk Species on the basis of recoveries of ringed birds, (3) to identify wetland sites where Higher Risk Species concentrate in large numbers during migration and wintering and (4) to develop and test a format for the rapid assessment of ornithological data at the level of wetland sites, in order to prepare wetland managers and EU communities for an outbreak of H5N1.

The EU initiative's identification of Higher Risk Species focused on the Anseriformes (swans, geese and ducks) and the Charadriiformes (shorebirds, gulls and terns). Firstly, all species of both groups which occur in Europe and which are migratory were selected. Then each species was characterised on the basis of behavioural and ecological characteristics which were assumed to be related to the chance of becoming infected with H5N1 outside the territory of the EU. The characteristics chosen were habitat use, gregariousness and degree of mixing with other species. Species were selected which occurred in agricultural and/or freshwater habitats, which were highly gregarious and which showed a high degree of mixing, which led to a list of 26 Higher Risk Species being identified. Contact risk with poultry was also estimated, resulting in the highest scores for Mallard (*Anas platyrhynchos*) and the Black-headed Gull (*Larus ridibundus*).

Three maps (here Figs. 2-4) contained in the resulting published study (Delany et al., 2006) and replicated here indicate quite clearly why the Caspian region is of particular research significance with regard to waterbirds which are potential vectors for AIV and the useful potential role the implementation of the ViEW system could play in providing timely data on emerging viruses to the appropriate national and international health authorities and organisations.

Figure 2. (Fig. 2.1 in original publication) shows the locations of peak January counts between 1990 and 2000 of all species counted – once again the map shows that the south Caspian Sea area exceeded all other areas surveyed in Europe, Africa and West Asia

Figure. 3. (Fig. 2.3 in original publication) shows the number of 17 waterbird species considered to pose a Higher Risk of spreading avian influenza recorded at each International Waterbird Census site during its regular January counts between 1990 and 2005 in Europe, Africa, West and Central Asia. The map shows that the highest concentration of these species in the whole region surveyed was in the area of the south Caspian Sea

Figure 4. (Fig. 2.4 in original publication) shows the locations of all sites where combined counts of Higher Risk waterbird species exceeded 20,000 between 1990 and 2005 and where two or more of these species occurred in numbers exceeding thresholds of 100, 250 or 500 (depending on the species). The highest combined counts are in the south Caspian Sea area.

High Risk species of duck identified in this research were: Eurasian Wigeon, Common Teal, Mallard, Northern Pintail, Garganey, Northern Shoveler, Marbled Teal, Red-crested Pochard, Common Pochard and Tufted Duck. All these occur in the Caspian region, residing or migrating (Figs. 5; 6).

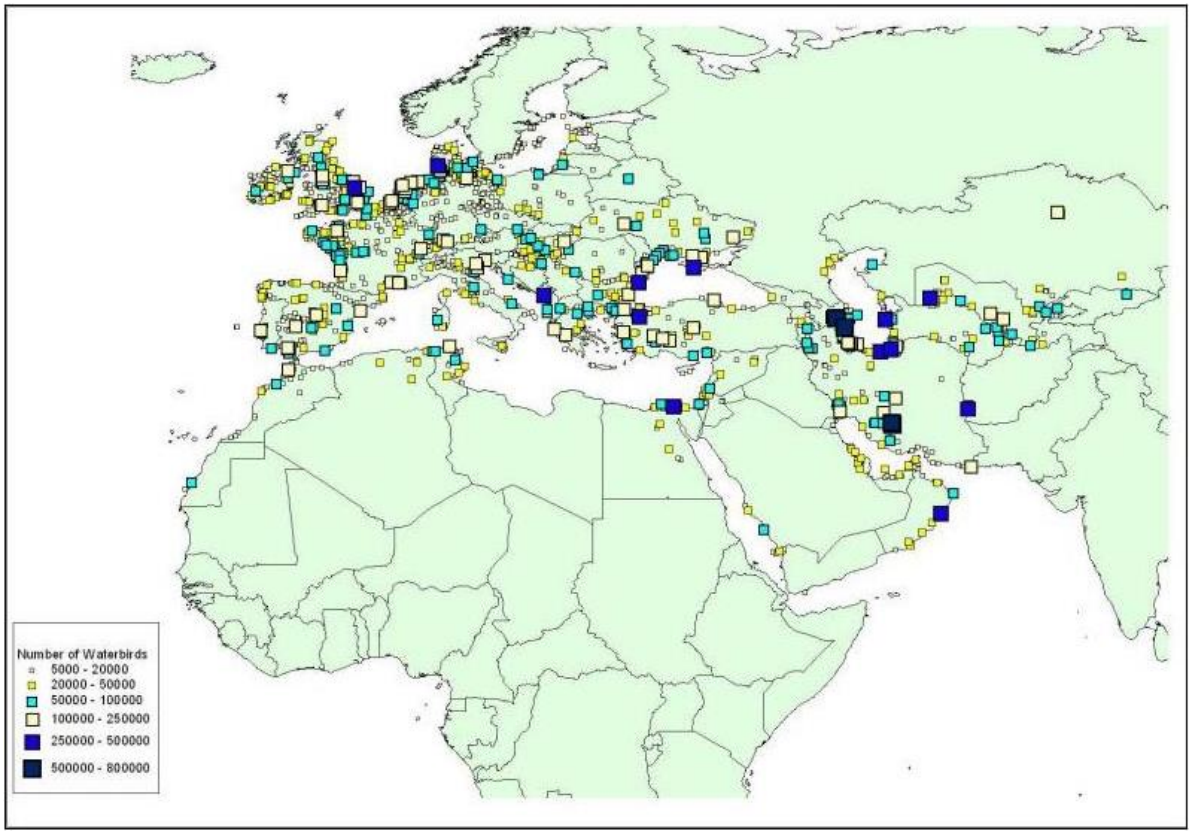


Figure 2. Peak January counts between 1990 and 2005 of all waterbird species combined (after Delaney et al., 2006 – Fig. 2.1)

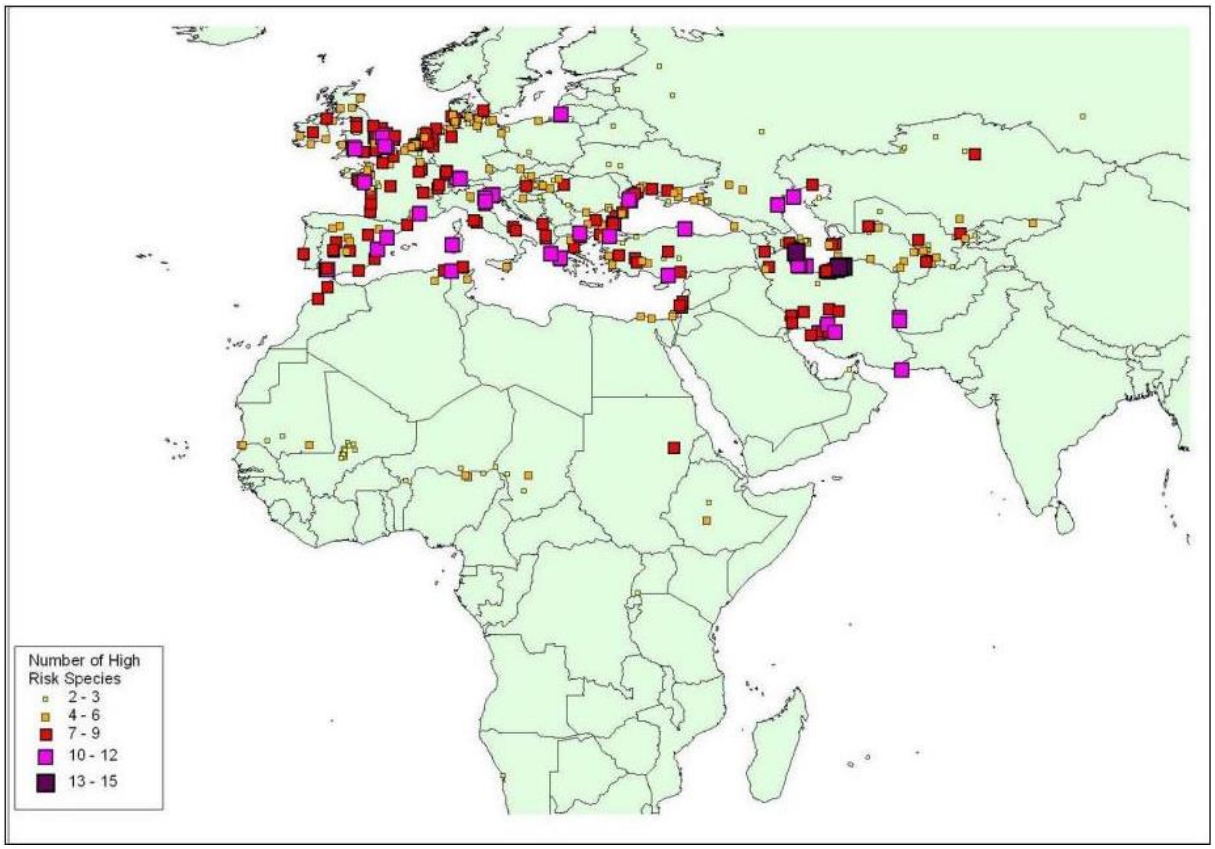


Figure 3. Number of 17 waterbird species considered to pose a High Risk of spreading Asian influenza recorded at each International Waterbird Census site during January counts between 1990 and 2005 in Europe, Africa, West and Central Asia (after Delaney et al., 2006 – Fig. 2.3)

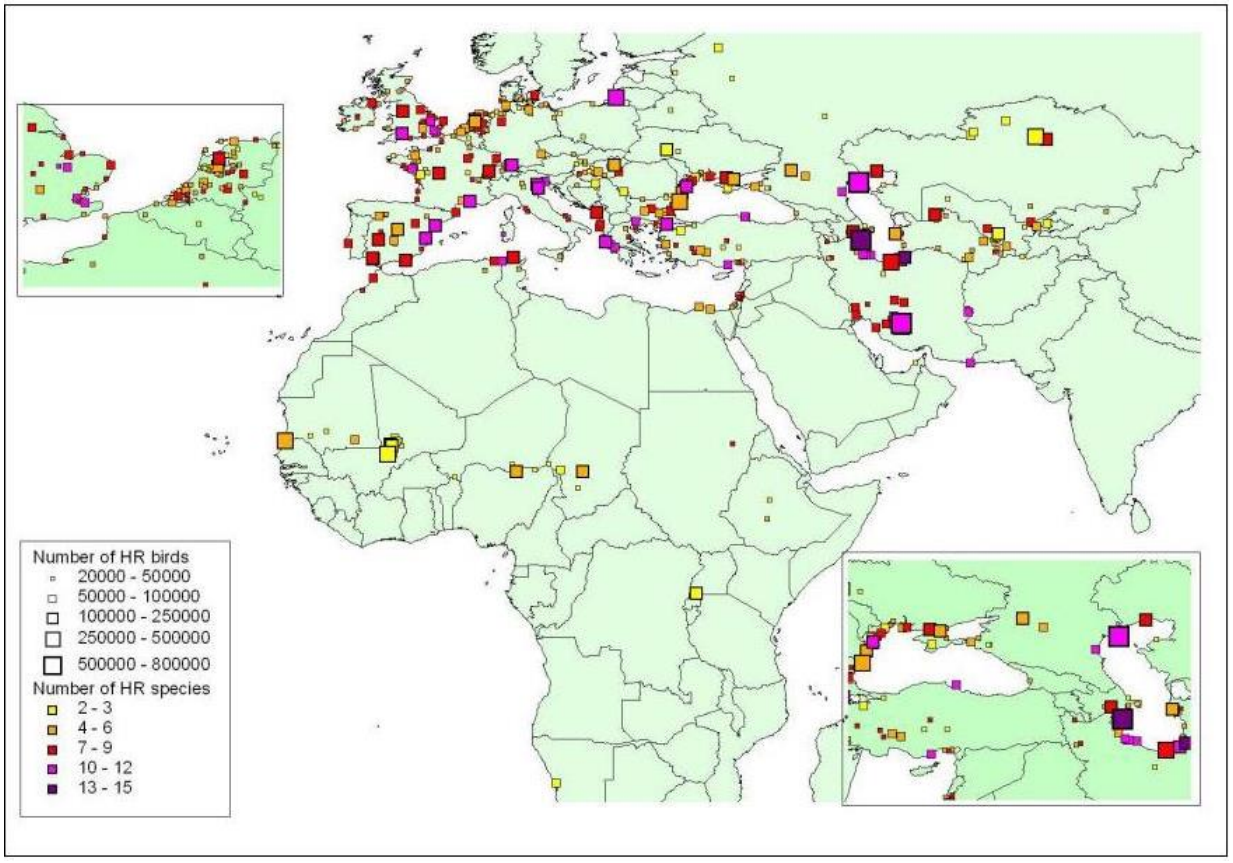


Figure 4. All sites where combined counts of High Risk waterbird species exceeded 20,000 between 1990 and 2005 and where two or more of these species occurred in numbers exceeding thresholds of 100, 250 or 500 depending on the species (after Delaney et al., 2006 – Fig. 2.4)

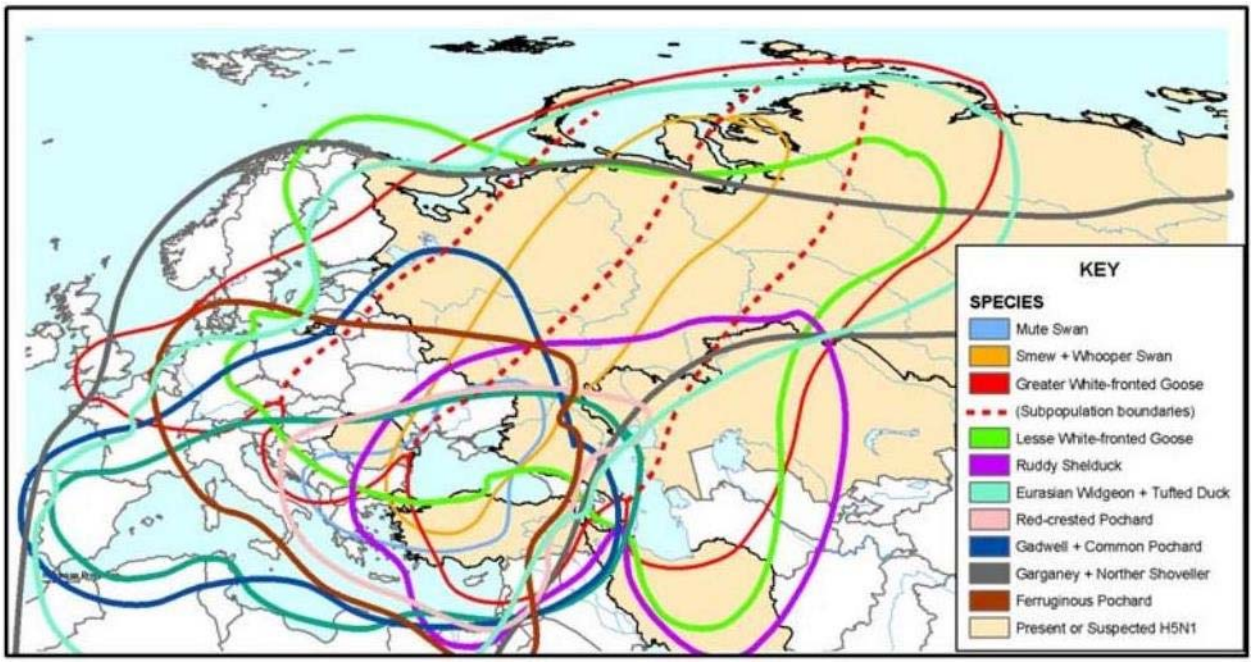


Figure 5. Map of migration zones in Europe and West Asia of certain individual waterbird species (after ArcGIS Development Team, March, 2000)

Figure 6. Main geographical populations of Anatidae in western Eurasia: (1) Northern White Sea/North Sea population; (2) European Siberia/Black Sea-Mediterranean population; (3) West Siberia/Caspian/Nile population and (4) Siberian-Kazakhstan/Pakistan India population (after Isakov, 1967; Boere & Stroud, 2006)

3. ViEW: Principal locations along the Caspian Sea littoral where waterbirds congregate as residents or migrants
(Fig. 7)
Note: The information in this section (3.1-3.3) has been compiled primarily from Ramsar data sheets on each of its sites, Birdlife International Datazone fact sheets on most sites, relevant UNESCO Biosphere reserve information and data from government information sources of the five Caspian region states.

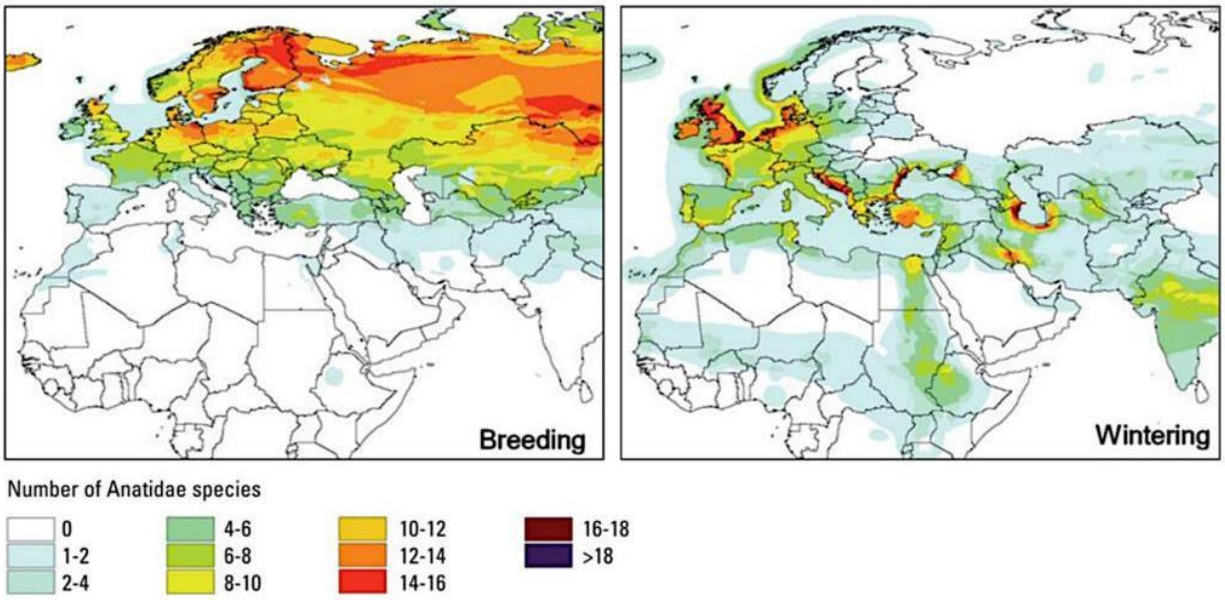


Figure 7. Map identifying the distribution of Anatidae breeding and wintering areas, colour coded according to number of species. As indicated in Figs. 2-4 above, there is a particularly high concentration of species in the winter in south Caspian littoral and inland wetlands from Dagestan in the west to Turkmenistan in the east (after Gilbert et al., 2008)

3.1. Western Caspian littoral:
Russia: Russia has many areas of ornithological significance. Birdlife International has identified 470 Important Bird Areas (IBAs) in European Russia and 137 in Central Asian Russia.

• Astrakhansky Nature Reserve in the outer Volga River delta. This general area is also registered as the Volga Delta Ramsar site and a UNESCO Biosphere Reserve. It is a staging area for migrating waterbirds, shorebirds, raptors and songbirds, which breed further north in the west Siberian Plain, north Kazakhstan and other northern latitudes and winter further south. The delta is one largest in the world and characterized by a highly braided morphology, creating over 1,000 channels in the lower delta. The protected areas are along its seaward edge and are composed of extensive areas of open water, numerous islands, reedbeds, and other aquatic plants. During mild winters, the delta supports up to 750,000 waterbirds, including swans, geese and ducks. Summer moulting ducks reach 400,000 individuals.

• Agrakhansky Federal Nature Reserve. While previously this was also primarily a stop-over point for migrating waterbirds flying south to winter and returning north in spring, rising temperatures in some recent winters have resulted in some waterbirds wintering there. These birds return north to breed in the spring.

• Kizlyar Bay on the Dagestan coast is one of the largest bays in the Caspian Sea and is also one of the largest migratory routes for waterbirds and other birds in Eurasia, connecting European parts of Russia, western Siberia and north Kazakhstan with Transcaucasia, western Asia, the Near East, North and East Africa. It is designated a UNESCO Biosphere Reserve and represents a diversity of marine, coastal and desert-steppe ecosystems. It holds three IBAs of global significance (IBA EU-RU419 "Nizhnekumskiye Floods", IBA EU-RU172 "Kizlyar Bay", and IBA BC 038 "Tyuleni Island"), two potential Ramsar sites ("Kizlyar Bay" and "Nizhnekumskiye Floods"). The entire water area of the biosphere reserve lies within the boundaries of a special North Caspian Protected Fishery Zone, the status of which is close to that of nature sanctuary.

• Turalinsky Lagoon (near the city of Mahachkala) and Turali 1 Lagoon (near the city of Kaspiisk). Despite being very close to major urban areas, these a significant stop-over sites for migrating waterbirds.

• Lake Aji-Papas. Located in the central coast of Dagestan, this wetland provides suitable habit and climatic conditions for some waterbirds to permanently reside there. Others migrate from the north to winter there (although some species which previously did this now sometimes winter in the Aghragansky wetlands further north). There also are species which winter further south but migrate north to breed in the Lake Aji-Papas wetlands.

Azerbaijan: There are a number of protected wetlands in Azerbaijan, where some waterbirds permanently reside, while some stop over on their passage further south and others winter there, returning north to breed in the spring. Birdlife International has identified 53 IBAs across the country. An important staging site for migrating birds is the topographical corridor of Besh Barmag on the coast north of the Absheron Peninsula. The greatest concentration of waterbirds in Azerbaijan occurs in the Gyzylagach Bay State Reserve. To its north are the Kura River delta reserve and some smaller sites along the north Azerbaijan coast, while inland there are a number of wetland reserves, among

them the Aggol National Park (a Ramsar site), the Sarisu lakes system in the Bilasur-Kurdamir area and Lake Urmiah, which are also important habitats for both resident and migratory waterbirds.

• The Gyzylagach State Reserve is one of the most important places for wintering and breeding waterbirds in the Western Palearctic. It comprises four main parts: (1) Great Gyzylagach Gulf and Little Gyzylagach Gulf; (2) a maritime belt of reed growth in Great Gyzylagach Gulf; (3) an extensive area of shallow waters and reeds; and (4) areas of semi-desert in the rest of the reserve. Despite the importance of this area it is under-surveyed, as the last counts took part in 1990, but it is estimated that about 500,000 waterbirds winter there. The reserve is registered as a Ramsar site.

• Birdlife International considers the Lake Sarisu area to be one of the best sites for waterbirds in the interior of Azerbaijan with some 70,000-150,000 wintering birds of which 90% are ducks. The site is a system of saline lakes with vast reedbeds with three areas of open water, a few small islands and shallows.

3.2. Southern Caspian Littoral

Iran: A number of major wetlands along the south Caspian Sea coast of Iran provide habitats for some resident waterbirds, while hosting very large numbers of wintering migrants and others in passage south as staging points. The principal coastal locations are (from west to east): Anzali Wetlands; Bujagh National Park; Amirkelayeh Lake; Fereidoun-Kenar Wetland, Miankaleh Wetland and Gomishan Lagoon adjacent to Turkmenistan. There are also a number of inland wetlands important to certain duck and other aquatic species. Birdlife International has identified 105 IBAs in the territory of Iran.

• Anzali wetland complex. This is located in Gilan province in the south-west corner of the Caspian Sea adjacent to the port city of Banda-e-Anzali. Parts of the wetland are protected as the Siakesheem protected area and Selke wildlife refuge. Other areas are mainly used for rice and vegetable crops and grazing. Registered as a Ramsar site, this is a large, freshwater lagoon fed by several rivers and separated from the sea by a dune system. It supports extensive reedbeds and abundant submerged and floating vegetation. Several perpetual streams emanating in the nearby Talesh Mountains feed into the Anzali complex. The permanent wetland is surrounded by seasonally flooded marshes and ab-bandans (man-made water impoundments for rice cultivation). Many of the ab-bandans surrounding the wetland are traditional managed as duck-trapping areas (damgah) throughout the winter months when they are intentionally flooded to attract (see below) (Vuosalo-Tavakoli et al., 2008). At these sites, the duck trappers employ a traditional hand-netting technique to catch ducks and coots dazzled by a bright light from a boat at night. Of great concern is that many ducks are also killed by shotgun (some 100,000 each year). The site is of international importance for breeding, staging and wintering waterbirds. Annual mid-winter waterfowl censuses have been carried out by the Ornithology Unit of the Department of the Environment since 1967. Many ornithological studies have been carried out at other times of the year, including comprehensive waterfowl censuses in mid-November in 1972, 1973, 1974, 1979, 1980, 1983, 1984, 1985, 1986 and a duck-ringing programme was initiated by the ornithology unit in 1974. The Department of the Environment has also carried out investigations on duck-hunting in the wetland, and on the invasive spread of *Azolla*, an introduced floating water fern which is suppressing native flora which is important food for waterbirds. The Department has established 35 monitoring stations throughout the wetland, to measure a variety of parameters, including changes in water level, water quality and physico-chemical characteristics. Excellent research facilities are available at the nearby town of Bandar-e Anzali.

• Bujagh National Park is a Ramsar site on the delta of the Sefid Rud River in Gilan Province. The park includes different types of important ecosystems having two large lagoons (the Bujagh and Kiashahr), the Sefid Rud River (the second largest river in Iran) and its flooded plains, the deltaic system (the largest in the south Caspian), sandy shoreline and marine ecosystem and some rice fields. Kiashahr Lagoon is a shallow sea bay which once linked the freshwater and brackish marshes and the nearby riverine marshes at the mouth of the Sefid Rud but is now open to the sea. There are also open grassy areas and dunes near the mouth of the river. The site is important because of its wide variety of waterfowl. It is registered as a Ramsar site.

• Amirkelayeh Lake is located on the coastal plain in Gilan province. It is a rather deep, permanent, coastal freshwater lake with rich floating and submerged vegetation, extensive reed-beds and some willow thickets. The water is very clear and it is one of the few freshwater wetlands located near the Caspian Sea. The wetland provides a suitable habitat for mostly migratory species and is important for several species of wintering waterbirds, mostly Anatidae (ducks, geese, swans, etc.), including the endangered white-headed duck (*Oxyura leucocephala*). It is registered as a Ramsar site.

• Fereidoun-Kenar, Ezbaran and Sorkh Ruds Ab-Bandans. This Ramsar site is an artificially created wetland in the South Caspian lowlands, 5km south of the town of the same name and 13 km southwest of Babolsar in Mazandaran province. The site is comprised of damgah surrounded by forest strips and reedbeds. The area is of outstanding importance as wintering grounds for the entire western population of the Siberian Crane (*Grus leucogeranus*), listed as 'critically endangered' in the IUCN Red Book. Apart from rice farming the land is used for forestry and fishery. As in the Anzali wetlands, an important traditional activity is duck trapping in damgah (Vuosalo-Tavakoli et al., 2018), long a main source of income during the winter months through the sale of the birds in local live poultry markets. In the past at the end of each duck trapping season the area was opened up for gun hunting in a massive "shoot-out", creating a potential threat for Siberian Cranes to be shot accidentally, but in 2001 the Department of Environment designated the whole site as a Non-Shooting Area. Conservation measures include annual mid-winter waterfowl censuses and a MoU on Siberian Cranes with 9 'range states' of the Convention on Migratory Species. A GEF project, implemented through UNEP and coordinated by the International Crane Foundation and CMS, aims to conserve the critical sites used by Siberian Cranes for breeding, staging during migration, and the main wintering grounds.

• Miankaleh, Gorgan Bay and Lapoo-Zaghmarz Ab-bandan: Just to the east of the city of Miankaleh in the province of Matandaran there is a brackish bay almost completely cut off from the sea, which supports freshwater marshes and seasonally flooded woodland, and a freshwater lagoon supporting extensive reedbeds. Gorgan

Bay is a shallow, brackish embayment, almost cut off from the Caspian Sea by Miankaleh Peninsula, a 60 km long sand dune ridge, partly covered by grassland and scrubs. The bay receives freshwater inflow from a number of small rivers and streams rising on the humid northern slopes of the Alborz Mountains. Some freshwater marshes occur at the western end of the bay, where freshwater input is greatest. The Lapoo-Zaghmarz Ab-bandans are long, narrow freshwater lagoons located at the landward end of Miankaleh Peninsula, about 10 km west of Gorgan Bay. The Miankaleh Peninsula, Gorgan Bay and Lapoo-Zaghmarz Ab-bandan are together designated a UNESCO Biosphere Reserve and a Ramsar site. They constitute an extremely important for area for breeding, passage, nesting and wintering of many waterbirds including species identified as AIV vectors.

- Gomishan Lagoon: Situated in Golestan province in the south-east corner of the Caspian Sea and at the edge of the Turkmen steppe, this lagoon is separated from the sea by a narrow sandy barrier which is frequently overrun by the sea. It is an important area for the breeding, passage, nesting and wintering of many waterbirds including species identified as AIV vectors. It is registered as a Ramsar site.

3.3. Eastern Caspian Littoral

Turkmenistan: A number of waterbirds migrate along the east coast of the Caspian Sea to winter in Turkmenistan or use its bays and wetlands as staging points on the Afro-Eurasian flyway and part of the Central Asian-Indian flyway along the Caspian Sea coast and via four small reservoirs (Saryyaznskoye, Zeid, Oguzkhan and Sarykamysh). Turkmenistan has designated two disjoined coastal sectors of the country as the Khazar Nature State Reserve, which is currently on the UNESCO World Heritage Tentative List.

- Khazar State Nature Reserve. The conservation zone of the reserve includes all areas of water of Turkmenbashi and North-Cheleken Bays, a buffer zone of salt marshes around them, North-Cheleken spit, islands in Michailov Bay and Dag-Ada Island in the north-east corner of Turkmenbashi Bay. In 1994 a large island in the Caspian Sea, known as the Ogurchinsky State Sanctuary, was included in the reserve. The Khazar State Nature Reserve was previously (1968-1994) known as Krasnovodsky State Nature Reserve. The reserve and its sanctuaries are under the management of the Ministry of Agriculture and Environmental Protection of Turkmenistan. In 1978 the reserve was designated a Ramsar site. The reserve is classified as an Important Bird Area (IBA) and is located on one of the most important migratory flyways for waterbirds breeding in western Siberia, Kazakhstan and other regions of Central Asia, providing a valuable stopover and wintering site. The Khazar State Nature Reserve can only be compared in size and importance with the Gyzylagach State Nature Reserve in Azerbaijan and the Miankaleh State Nature Reserve in Iran. Birdlife International has identified 50 IBAs in the territory of Turkmenistan.

Within the Khazar State Nature Reserve, Turkmenbashi Bay encompasses several shallow brackish bays, spits, islands and dunes. About 5-8 million waterbirds pass along the east coast of the Caspian Sea on migration and up to 0.8 million winter in Turkmenbashi Bay. It is thus the largest wintering area for waterbirds that nest in western Siberia, Kazakhstan and other regions of northern Asia. It is registered as a Ramsar site.

In 2018, The Norwegian Institute of Nature Research (NINA) issued a report on the status of the wildlife of Turkmenistan (NINA 2018), in which was stated, “The general impression is of a quite healthy bird fauna and a very low level of impact of agriculture chemicals or other pesticides on the wildlife in general. Most of the habitats appear to be in good condition. Although the avifauna seems to be in a good situation there appears to be very little investment in monitoring or protection of birds. This avian diversity makes Turkmenistan a potentially attractive birdwatching destination. Trip reports of birdwatchers can fill out the very significant gaps of bird information for most of the territory of the country and can contribute to better preservation of the bird fauna. Even more valuable can be some research projects between Turkmenistan experts and research institutes from Europe, targeting specific areas or scientific questions”.

“International co-operation in the sphere of biodiversity conservation within Turkmenistan is mainly implemented via UNDP. There are also some proposals from UNEP, TACIS, and the World Bank, which have only recently become more specific and turned into the form of real projects. The most significant projects are the National Environmental Action Plan for Turkmenistan (NEAPT) and Capacity-21. Regional co-operation is mainly of a data-sharing character, though biodiversity problems were touched upon in the Nukus and Almaty Declarations at the level of the Ministers of Environment. Several existing regional projects should be mentioned: the Aral Sea Project (World Bank, UNDP) and the “Biodiversity” component of the Caspian Ecological Program (CEP). Various Central Asian projects are at the stage of development and approval”.

Kazakhstan: Kazakhstan has many wetlands of importance to waterbird and other species, most of which are situated in the far north or east of the nation’s territory. One site, Saryarka, has up to 2 million birds breeding in its wetlands. The Saryarka steppe and lakes of Northern Kazakhstan are designated a UNESCO natural World Heritage Site and comprise two protected areas, the Naurzum State Nature Reserve and the Korgalzhyn State Nature Reserve. Here there are wetlands of outstanding importance for migratory waterbirds which are key stop-over points and crossroads on the flyways from Africa, Europe and South Asia to their breeding places in western and eastern Siberia. The site includes two groups of fresh and salt water lakes situated on a watershed between rivers flowing north to the Arctic and south into the Aral-Irtysh basin. Kazakhstan has 127 IBAs.

There are three state designated wetland reserve areas on Kazakhstan’s north-east Caspian Sea littoral, which, however, because of low temperatures and ice in winter (excepting sections of Lake Karakol), mainly function for waterbirds as staging points as they migrate further south for winter and return in spring to breed further north:

- Lake Karakol is located 10 km south-east of the city of Aktau. It is an artificial reservoir in a natural depression close to the Caspian Sea coast employed as a water settling basin of the Mangistau nuclear power plant since 1967 (according to other sources, it was created in 1968 as a result of the flooding of the Karakolshor salt marsh by waste waters of industrial enterprises in the city of Aktau). As a result, an extensive shallow reservoir with

numerous islets was formed. These and the western lake shore are overgrown with reeds. This created favourable conditions for nesting, wintering and resting on migration for a range of waterbirds. Where warm waters are discharged from the power plant the reservoir does not completely freeze even in the coldest winters. It is a specially protected natural area of the Karagiye-Karakol state zoological reserve of republican significance, created in 1986. Lake Korakol is classified by Birdlife International as an Important Bird Area.

- Lower reaches of the Emba River which flows into the Caspian Sea.
- Ural River delta (near the city of Atirau). The delta and adjacent Caspian Sea coast are designated as a Ramsar site and are part of Kazakhstan's North Caspian Nature Reserve. The wetland comprises a large variety of marine/coastal and inland wetland types. Due to its mixed water supply and seasonal variation, the site has a range of marine and freshwater habitats and supports considerable numbers and diversity of species. The site is significant for large numbers of nesting, moulting and migratory species, among them appreciable numbers of Mallard (*Anas platyrhynchos*) (12,000) and Eurasian Teal (*Anas querquedula*) (44,000).
- Tyuleni Archipelago. The islands are desert-like and sandy, with little grass. There are reeds on the leeward side of Kulaly Island as well as on the other islands, which are much lower and waterlogged. In past centuries many Caspian seals frequented the islands' shores, hence the name of the group. The islands are classified by Birdlife International as an Important Bird Area and declareded by Kazakhstan as a National Protected Zone (State Reservation). There are large concentrations of seagulls and wetland birds, like coots, wild ducks, swans, egrets, and waders in the archipelago during their nesting period. The Tyuleniy Archipelago is also an important breeding ground for the Sandwich tern (*Sterna sandvicensis*).
- Eastern sector of Volga River delta. The site consists of areas of inundated flatland with prolific reed growth. The mosaic of waterbodies (pools, large areas of open water, channels etc.) and reedbeds is typical for a large freshwater estuary. Several canals run seawards and are interspersed, in their turn, by channel-like connections. Terrestrial sections of the shore support stands of flood-forest. The wetlands are classified by Birdlife International as an Important Bird Area and states that the overall number of migrating waterfowl significantly exceeds 20,000 individuals but that precise supporting data is scarce.

4. ViEW: Research undertaken on Caspian Sea waterbirds and on specific avian pathogens identified in the region

Azerbaijan: The principal research activity being undertaken on the ecology of waterbirds resident in or migrating to or through Azerbaijan is being undertaken by the working group for ornithology of the Laboratory of Terrestrial Vertebrates of Institute of Zoology of the Azerbaijan National Academy of Sciences (headed by E.H. Sultanov). An ongoing project is the study of winter ornithological complexes of Azerbaijan in order to identify principal threats and to determine systematic responses to them. Work on avian influenza the monitoring of avian influenza and other epizootic diseases is undertaken within the laboratories of the Azerbaijan State Veterinary Control Service (SVCS) (see below).

Since 2006, the Azerbaijan SVCS has conducted an annual serosurveillance program for AI H5 and Newcastle Disease in which all 12 regional Zonal Veterinary Laboratories (VLs) participate. Each Zonal Veterinary Laboratory is responsible for collecting samples from 4 to 5 districts to ensure that surveillance occurs throughout the country. Field veterinarians collect serum samples from domestic fowl, and tissue samples are collected from dead wild birds in Azerbaijan's national parks and nature reserves (Zeynalova et al., 2015).

Iran: Iranian scientists and institutions have undertaken and continue to engage in extensive activities relation to the research, surveillance, sampling, prevention and response to zoonotic infectious diseases throughout the country, references to which are included in the bibliography below. Many key publications are in English.

Four articles providing a useful insight into the scientific evolution and direction of this work in Iran are those of Fereidouni et al. (2005a, 2005b), Nourani et al. (2015), Modiri Hamadan et al. (2021) and Mehrabadi et al. (1397 AH).

The latter study by Mehrabadi et al., stressed the economic and public health challenges posed by HPAI carried by resident and migratory waterbirds and identified over 300 wetlands, natural and artificial lakes and ponds in Iran which they frequent. It noted a wide range of weaknesses in the nation's responses and attitudes and considered that addressinging thess challenge requires national determination, higher organizational supervision, collaborative and practical cooperation of related organizations, and short and long-term planning based on the realities of the country. Modiri Hamadan et al. (2021) noted the dangers of transmission of pathogens posed by the sale of wild migratory aquatic birds at live poultry markets (a traditional fresh meat source) and the need for proper controls. Nourani et al. (2015) provide an overview of threats to Anatidae in Iran.

Kazakhstan: As noted above, the main wetlands where waterbirds congregate in Kazakhstan are in lakes and wetlands in the north of the country where they nest in summer. Kazakhstan's north-east Caspian Sea waters and coast freeze in winter and thus have no year round resident waterbirds although they constitute a significant stopping point for waterbirds migrating to and from warmer southern wintering points further south.

Nevertheless, there is a good body of work relating to the surveillance and laboratory analysis of avian influenza viruses and paramyxoviruses of the wild birds of Kazakhstan (Karamendin et al., 2014; Sultankulova et al., 2022). The latter study investigated the transmission of closely related strains or identical subtypes of AIVs by a flock-unit of migratory birds or annual cyclical pattern of subtype dominance. The finding of the simultaneous circulation of genome segments of the Asian, European and Australian genetic lineages of H3N8 AIVs in wild birds in Kazakhstan indicated the important role of Central Asia as a transmission hub of AI viruses linking the East Asian migratory flyways with European flyways and vice versa.

Russia: A considerable body of research applicable to the implementation of ViEW concept has already been published by the Russian team currently engaged in its development. A group of the partners involved from the Federal Centre for Fundamental and Translational

Medicine of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences has considerable experience in the long term AI–related surveillance of wild birds. For example, they have undertaken a 10-year monitoring programme (2006-2016) on Uus Nuur Lake in Siberia (Shestopalov et al., 2016) and are currently engaged in an Russian Science Foundation financed investigation of viral metapopulations in migratory birds of the Asian part of Russia and China for the early detection of new variants of viral pathogens (RNF Project No. 23-44-0026). A number of their studies have been published in English. One by Iverson et al. (2011) describes the sporadic transmission of H5N1 avian influenza virus from east to west via the migratory movements of waterfowl in Central Asia. Waterbirds in the genera *Anas* and *Tadorna* are suspected as vectors in the long-distance transmission of this highly pathogenic virus (Fig. 6). The former Soviet Republics of Central Asia are situated at important migratory crossroads for these and other species of birds that bridge regions where the disease is prevalent. However, waterfowl movements through Central Asia are poorly quantified. In the study by Iverson et al., historical data derived from over 80 years of bird ringing were combined with recent satellite tracking data to delineate migration routes, movement chronology and habitat use patterns of waterfowl in relation to H5N1 outbreak locations. The results have confirmed migratory linkage between breeding and moulting areas in northern Kazakhstan and southern Siberia, with non-breeding areas in the Caspian, Black and eastern Mediterranean Sea basins, as well as with South Asia. However, unlike the situation in neighbouring regions, most notably western China, H5N1 outbreaks have not been recurrent in Central Asia since they were first reported during summer 2005 and spring 2006. These findings have implications in relation to potential sampling biases, species-specific variation in migratory behaviour and continuing regional H5N1 transmission risks.

Another study by Shestopalov et al. (2022) provides a useful overview of wild animal migration as a potential threat of introduction of new viruses into Russia, while an article by Sharshov et al. (2019) reports the results of a study into the characteristics and phylodynamics of reassortment H12Nk viruses in northern Eurasia. During a 10-year long period of surveillance, Sharshov and his colleagues isolated five rare H12N5 and one H12N2 viruses in three different distinct geographic regions of Northern Eurasia and studied their characteristics. Wild waterfowl birds are known to be the main reservoir for a variety of avian influenza viruses of different subtypes but some subtypes, such as H2Nx, H8Nx, H12Nx, and H14Nx, occur relatively rarely in nature. H12N2 from the Far East region is a double reassortant containing hemagglutinin (HA), non-structural (NS) and nucleoprotein (NP) segments of the American lineage and others from the classical Eurasian avian-like lineage. H12N5 viruses contain Eurasian lineage segments. The researchers therefore suggest a phylogeographical scheme for reassortment events associated with geographical groups of aquatic birds and their migration flyways. The H12N2 virus is of particular interest as this subtype has been found in common teal in the Russian Far East region, and it has a strong relation to North American avian influenza virus lineages, clearly showing that viral exchange of segments between the two continents does indeed occur. The results of the research emphasize the importance of AIV surveillance in Northern Eurasia for the annual screening of virus characteristics, including the genetic constellation of rare virus subtypes, in order to understand the evolutionary ecology of AIV.

The work of Gulyaeva et al. (2021) focused on the Caspian Sea region to understand what genetic reservoirs are present there and to determine the biological properties and genetic characterization of novel low pathogenic H7N3 avian influenza virus isolated from Mallards in Dagestan. As already noted, wild ducks, in particular mallards (*Anas platyrhynchos*), have been recognized as key reservoir hosts in which most AIV subtypes are maintained by migratory and/or resident bird populations. It is supposed that bird movements are minimally affected by low pathogenic (LP) AIV infection, consequently resulting in the potential for virus shedding, spread, and reassortment during stopovers along the migration route. The study stresses tha the precise role of migrating and resident birds in amplifying and dispersing AIV is poorly understood, and in some occurrences, migratory birds can reinforce local circulation of AIV in resident populations. Shifts from intraspecies to interspecies transmission and gene reassortment events represent additional aspects of AIV's evolutionary strategy, enabling viral gene flow during the annual cycles of migratory behavior among wild bird species.

Considering the emergence of HPAI subtypes, studies on AIV ecology in natural ecosystems are of particular importance to better identify emerging health risks associated with wild bird reservoir hosts. As noted above, the Caspian region is one of the key points for AIV surveillance in Eurasia, being located at the intersection of three major migratory routes: the Central Asian flyway, the East Africa/West Asia flyway and the Black Sea/Mediterranean flyway. To understand AIV in the ecological context of the Caspian region, the researchers conducted surveillance efforts in both wild birds and poultry and analyzed sequence data from an evolutionary perspective. Two new viruses of H7N3 subtype were isolated from Mallards from which samples were taken in wetlands on the central coast of Dagestan. Although Caspian wetlands are the nesting, wintering and stopover grounds of a great number of migrating waterfowl, according to the available literature the isolation of the H7 AIV subtype seems to be a quite rare event in Caspian region in particular and in Russia in general. The molecular and biological properties as well as the pathogenicity characteristics of these new AIV strains were analysed in this study.

The findings of this work suggest that H7N3 viruses may frequently undergo reassortment and can be a natural recombinant that includes viral gene segments shared with both LPAIV and HPAIV. Thus, the results highlight the need for continuous and intensive surveillance of avian influenza in this region, with very active intersection of wild bird flyways suggestive of the exchange of AIV genes in a multi-host reservoir over a wide swathe of Eurasia (Gulyaeva et al., 2021).

Here the field work of ornithologists from the Russian and the other four Caspian region states should be highlighted for their great contribution to our knowledge of its waterbird species, notably that of E.B. Vilkov in Dagestan, who has emphasized issues relating to both antropogenic degradtations and threats to habits and the effects of climate change on species both resident and migratory (Vilkov 2016), Every state has its own ornithological society, each of which plays a most valuable role in documenting bird life in all its aspects. An important

regional organization in regard to the potential implementation of the ViEW concept is the Ornithological Society of the Middle East, Caucasus and Central Asia (OSME).

Turkmenistan: Scientific research into pathogens carried by birds in Turkmenistan is limited, although there is a legacy of valuable data on the country's natural history and ecology from the Soviet period. The Ministry of Agriculture and Environmental Protection has a National Institute of Deserts, Flora and Fauna which provides scientific support.

In 2018, The Norwegian Institute of Nature Research (NINA) issued a report on the status of the wildlife of Turkmenistan (NINA 2018), in which was stated, "Although Turkmenistan supports many wildlife species, there is very little up-to-date and accessible information about its status. ... The general impression is of a quite healthy bird fauna and a very low level of impact of agriculture chemicals or other pesticides on the wildlife in general. Most of the habitats appear to be in good condition. Although the avifauna seems to be in a good situation there appears to be very little investment in monitoring or protection of birds. This avian diversity makes Turkmenistan a potentially attractive birdwatching destination. Trip reports of birdwatchers can fill out the very significant gaps of bird information for most of the territory of the country and can contribute to better preservation of the bird fauna. Even more valuable can be some research projects between Turkmenistan experts and research institutes from Europe, targeting specific areas or scientific questions".

"International co-operation in the sphere of biodiversity conservation within Turkmenistan is mainly implemented via UNDP. There are also some proposals from UNEP, TACIS, and the World Bank, which have only recently become more specific and turned into the form of real projects. The most significant projects are the National Environmental Action Plan for Turkmenistan (NEAPT) and Capacity-21. Regional co-operation is mainly of a data-sharing character, though biodiversity problems were touched upon in the Nukus and Almaty Declarations at the level of the Ministers of Environment. Several existing regional projects should be mentioned: the Aral Sea Project (World Bank, UNDP) and the "Biodiversity" part of the Caspian Ecological Program (CEP). Various Central Asian projects are at the stage of development and approval".

5. ViEW: Organizational Structure, Surveillance Regime and Laboratory Analysis

5.1 Organisational Structure

ViEW activities are conceived as being undertaken with the coordination of the International Institute of Ecology and Sustainable Development of the Association of Universities and National Research Centres of Caspian Region States, whose Director also heads the Institute of Ecology and Sustainable Development of Dagestan State University in Makhachkala.

5.2 Surveillance Regime

In this regard, in 2019 Alekseev et al. published an analysis of the wetlands of the Republic of Dagestan in order to justify the selection of the collecting sites for material from migratory aquatic and semi aquatic birds in order to monitor the influenza A virus. The sites identified were wetlands of Lake Aji (Papas), Lake Yuzhny Agrakhan, Agrakhansky Gulf, the Terek River delta and the artificial Achikolsky lake systems west of the Agrakhansky Reserve.

The other primary potential surveillance and sampling points around the Caspian region which have been identified as hosting considerable numbers of waterbirds of the species considered as the primary carriers of viruses are: Azerbaijan – Gyzylagach Bay Nature Reserve; Iran – Anzali Wetlands and Miankaleh Reserve; Kazakhstan – Ural River Delta Reserve; and Turkmenistan – Khazar State Nature Reserve.

To an agreed regular annual schedule and sampling methodology, representatives of each sentinel organization would take a standard numbers of samples from one or more specific species in these locations, together the recording of related phenological and ecological data. They would also undertake other documentation relating to the impacts of climate change which would contribute to meeting ViEW's objectives.

5.3 Laboratory analysis

Due to the constantly evolving nature of influenza viruses, the World Health Organisation maintains a Global Influenza Surveillance and Response System (GISRS). It emphasizes the importance of global surveillance to rapidly detect virological, epidemiological and clinical changes associated with circulating influenza viruses that may affect human (or animal) health together with timely virus sharing for risk assessment.

The WHO states that "thorough investigation of all potential novel influenza human infections is warranted. All human infections caused by a novel influenza subtype are notifiable under the International Health Regulations (IHR), and State Parties to the IHR are required to immediately notify WHO of any laboratory-confirmed case of a recent human infection caused by new influenza A subtype with the potential to cause a pandemic. Evidence of illness is not required".

"In the case of a confirmed or suspected human infection, a thorough epidemiologic investigation of history of exposure to animals, of travel, and contact tracing should be conducted, even while awaiting the confirmatory laboratory results. The epidemiologic investigation should include early identification of unusual respiratory events that could signal person-to-person transmission of the novel virus. Clinical samples collected from the time and place that the case occurred should be tested and sent to a WHO Collaboration Center for further characterization" (WHO, 2011).

The Scientific Task Force on Avian Influenza and Wild Birds recommends that authorities with responsibility for animal health should apply One Health approaches for communicating and addressing avian influenza. That means recognizing that the health of humans, domestic and wild animals, plants, and the wider environment are interlinked and acting with a coordinated and unified approach. A One Health Joint Plan of Action was launched in 2022 by the Quadripartite – the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the United Nations Environment Programme (UNEP), the World Health Organization (WHO), and the World Organisation for Animal Health (WOAH).

In all countries of the Caspian region except Iran and Russia, the presence of avian influenza in birds is viewed as best detected and monitored by specialist and central laboratories of the state veterinary service of each country, including National Reference Laboratories. Now that the Association of Universities of Caspian Region

States has now incorporated National Research Centres within its organisation, the various state veterinary service laboratories of the region would be the appropriate bodies to undertake the regular analyses of samples gathered as part of the ViEW system. Through ViEW the veterinary faculties in universities would also be involved, as would those higher educational institution faculties of medicine which specialise in epizootic infectious diseases.

Azerbaijan: Motahhar et al. (2022) report that following the appearance of influenza A/H5 virus infection along the Caspian Sea coast near Baku in several wild and domestic bird species in February 2006, two clusters of potential human avian influenza due to A/H5N1 (HPAI) cases were detected and reported by the Ministry of Health (MoH) to the World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe during the first two weeks of March 2006. That same month the WHO led an international team, including infection control, clinical management, epidemiology, laboratory, and communications experts, to support the Azerbaijan MoH in investigation and response activities. The investigations revealed eight cases with influenza A/H5N1 virus infection confirmed by a WHO Collaborating Centre for Influenza and one probable case for which samples were not available. The cases were in two unrelated clusters in Salyan and Tarter districts. Close contact with and the de-feathering of infected wild swans were considered to be the most plausible sources of exposure to influenza A/H5N1 virus in the Salyan cluster. These cases constitute the first outbreak worldwide where wild birds were the most likely source of influenza A/H5N1 virus infection in humans. The rapid mobilisation of resources to contain the spread of influenza A/H5 in the two districts was achieved through collaboration between the MoH, WHO and its international partners. Control activities were supported by the establishment of a field laboratory with real-time polymerase chain reaction (RT-PCR) capacity to detect influenza A/H5 virus. Daily door-to-door surveillance undertaken in the two affected districts made it unlikely that human cases of influenza A/H5N1 virus infection remained undetected. Two outbreaks of Newcastle Disease were also recorded in Azerbaijan in 2006 (Agayeva & Zeynalova, 2011).

Following the 2006 outbreak of H5N1, the Azerbaijan State Veterinary Control Service (SVCS) initiated active serological monitoring for AI in poultry. Under the SVCS program, blood samples from poultry are tested for the presence of antibodies against H5 by the hemagglutination inhibition (HI) assay using WOAH-standardized reagents. Twelve Zonal Veterinary Laboratories and Regional Veterinary Offices in Azerbaijan are engaged in this surveillance program. Sample collection from domestic birds occurs between September and May each year and testing is performed at the Republican Veterinary Laboratory or its branches. These national laboratories have dedicated Virology Departments. When the Regional Veterinary Offices submit samples for H5 testing, they may also request ND disease testing, which is performed by HI using WOAH-standardized reagents. ND testing is requested for approximately half of the samples submitted (Agayeva & Zeynalova, 2011; Zeynalova et al., 2015).

The Azerbaijan State Veterinary Control Service (SVCS) also conducts the monitoring of migratory birds for detection of avian influenza, which also involves experts of the Ministry of Health and the Ministry of Environment. It covers staging points of migratory birds on their way to national parks and reserves, coastal areas on the Absheron peninsula and the Shabran, Agjabedi, Lankaran and Salyan regions of Azerbaijan. In addition, samples are taken for analysis from poultry and private households. When the pandemic avian influenza was registered in 2006, the Azerbaijan authorities declared a ban on the hunting of birds for many years (Zeynalova et al., 2011).

Iran: In Iran there are a number of scientific institutions and specialists engaged in the detection of pathogens carried by birds. The Department of Environment is very actively involved in this endeavor throughout the country. Perhaps best known internationally, however, is the Razi Vaccine and Serum Research Institute which has branches in various places in the country. It now has a laboratory dedicated to this subject, as well as other departments occupied with related activities. A partial list follows:

- Department of Avian Diseases Research and Diagnostics, Razi Vaccine and Serum Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation (Karaj, Tehran)
- Wildlife Diseases Research Laboratory, Razi Vaccine and Serum Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation (Karaj, Tehran & Shiraz)
- Department of Poultry Diseases, Razi Vaccine and Serum Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation
- Departments of Virology and of Microbiology, Razi Vaccine and Serum Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation (Shiraz).

Islamic Azad University is also involved into research in this field, as are departments of the Faculty of Veterinary Medicine of the University of Tehran:

- Department of Clinical Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University (Tehran, Karaj, Alborz & Tehran)
- Department of Microbiology, Fars Science and Research Branch, Islamic Azad University, Fars
- Department of Microbiology, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz
- Departments of Immunology and of Clinical Science, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran
- Department of Clinical Science, School of Veterinary Medicine, Islam Azad University, Kazeroun Branch.

The Iran Veterinary Organisation has the following specialist facility:

- National Refence Laboratory, Diagnostics and Applied Studies Centre, Iran Veterinary Organisation (Tehran Province).

See also the Iran Veterinary Organisation Avian Influenza Portal: int.ivo.ir/news/Avian-Influenza-Portal.

Kazakhstan: In Kazakhstan avian viruses are monitored and analysed through its extensive government veterinary system within the Ministry of Agriculture under the direction of a Committee of Veterinary Control and Supervision, which is structured as follows:

- A National Veterinary Reference Centre undertakes epizootic monitoring and also provides samples to the WOAH (World Organisation for Animal Health) and FAO UN Food and Agricultural Organization) Reference

Laboratory for Avian Influena and Newcastle Disease in Britain. There is also a Republican Veterinary Laboratory with 16 district regional branches and 188 regional diagnostic branches. 16 are accredited according to ISO/IEC 17025. These undertake sampling and diagnosis of especially dangerous and epizootic animal diseases. A Republican Antiepizootic Detachment undertakes removal and destruction of sick animals. Under Akimat, state eterinary support and management is provided in Nur-Sultan, Almaty and Shimkent and in 197 cities of regional significance, as well as in rural locations throughout the country. Its responsibilities include veterinary measures related to particularly dangerous and epizootic diseases and the maintenance of an animal identification data basis.

The Kazakh Veterinary Scientific Research Institute undertakes fundamental and applied scientific research and provides scientific advisory and practical assistance to economic entities of the Republic of Kazakhstan to ensure veterinary welfare.

There are also two other centres of expertise in this field:

- National Centre for Biotechnology (Nur-Sultan)
- National Laboratory Astana, Nazarbayev University (Nur-Sultan).

Russia: The Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance of the Russian Federation (Rosselkhoznadzor) is the national authority with the responsibility to oversee the monitoring of epizootic diseases nation-wide. Its policy is that public vigilance and close collaboration between the public health, veterinary and environmental authorities together are important to ensure rapid detection of avian influenza viruses in birds and to protect human health. The FGBI "ARRIAH" (hereinafter, the ARRIAH) is involved in control and surveillance activities in veterinary field being subordinated to the Rosselkhoznadzor since 2004. Associated Russian state entities, centres and laboratories are:

- National IHR (International Health Regulations Focal Point)
- Federal Centre for Animal Health (ARRIAH). ARRIAH is involved in control and surveillance activities in the veterinary field being subordinated to Rosselkhoznadzor since 2004
- State Research Centre for Virology and Biotechnology VECTOR (WHO H5 Reference Laboratory), Vladimir
- Laboratory for Epizootology and Monitoring, ARRIAH, Vladimir
- Reference Laboratory for Avian Viral Diseases, ARRIAH, Vladimir.
- The World Organization for Animal Health (WOAH) has granted the Federal Centre for Animal Health (ARRIAH) three international statuses:
  - WOAH Regional Reference Laboratory for FMD (1995)
  - WOAH Collaborating Centre for Diagnosis and Control of Animal Diseases for Eastern Europe, Central Asia and Transcaucasia (1997)
  - WOAH Regional Reference Laboratory for Highly Pathogenic Avian Influenza and Low Pathogenic Avian Influenza (Poultry) and Newcastle Disease (2018).
  - The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has given ARRIAH the status of FAO Reference Centre for Foot-and-Mouth Disease for Central Asia and Western Eurasia to ARRIAH (2013).

ARRIAH has become one of the leading institutions for development and production of veterinary drugs intended for animal disease specific prophylaxis and diagnosis, as well as rendering scientific assistance to veterinarians. It is also actively engaged in training programmess. It has a Dissertation Council for defense of candidate and doctor theses for the Higher Attestation Commission of the Russian Federation, as well as the Department of Education and the Department of Postgraduate Studies. Staff training courses and individual internship programmes are regularly organized.

In February 2021, the National IHR Focal Point for the Russian Federation notified the WHO of detection of avian influenza A(H5N8) in seven human clinical specimens. These are the first reported detection of avian influenza A(H5N8) in humans. Positive clinical specimens were collected from poultry farm workers who participated in a response operation to contain an avian influenza A(H5N8) outbreak detected in a poultry farm in Astrakhan region in the Russian Federation. The laboratory confirmation of specimens was performed by the State Research Centre for Virology and Biotechnology VECTOR (WHO H5 Reference Laboratory) in Vladimir.

In December, a total of 101 000 of 900 000 egg laying hens on the farm died, prompted an investigation. Samples were collected from these birds and an initial detection of avian influenza A(H5N8) was performed by the Russian regional veterinary laboratory. The outbreak was further confirmed by the World Organisation for Animal Health (WOAH) Reference laboratory, and the Federal Centre for Animal Health (ARRIAH), in Vladimir. Outbreak containment operations were instituted.

The human cases remained asymptomatic for the whole follow-up duration of several weeks. Nasopharyngeal swabs were collected during medical observation period and tested negative for avian influenza A(H5N8). No obvious clinical manifestations were reported from any farm workers under medical surveillance, their family members or other close contacts of the seven cases.

The influenza A(H5N8) viruses isolated from the Astrakhan poultry outbreak belonged to clade 2.3.4.4b of avian influenza A(H5Nx) viruses. In 2020, H5N8 viruses were also detected in poultry or wild birds in Bulgaria, the Czech Republic, Egypt, Germany, Hungary, Iraq, Japan, Kazakhstan, the Netherlands, Poland, Romania, the United Kingdom, and the Russian Federation.

Since AI outbreaks were recorded in Crimea in 2005-2008, ARRIAH scientific personnel based both in Simferopol and Crimea have periodically undertaken avian influenza monitoring of wild birds in the wetlands of Crimea and analysed samples in the laboratories of the State Centre for Virology and Biotechnology at Vladimir or locally at:

- Laboratory and Diagnosis Centre, Laboratory for Molecular Diagnostics, Laboratory and Diagnosis Centre, ARRIAH Crimea Branch, Simferopol
- Laboratory for Animal Disease Diagnostics, Laboratory and Diagnosis Centre, ARRIAH Crimea Branch, Simferopol.

See further below: Section 9 "Monitoring avian influenza in Crimea: Dnepr and Azov-Black Sea migratory flyways and connections with Caspian Sea waterbird populations".

Much core scientific field work and analyses of avian influenza and other epizootic diseases is also being undertaken in various research centres, institutes and laboratories of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in Novosibirsk, in particular the following:

- Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine
- Department of Experimental Modeling and Pathogenesis of Infectious Diseases, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine
- Genomics Core Facility, Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine
- Laboratory of Behavioral Ecology, Institute of Animal Systematics and Ecology.

The Department of Natural Science at Novosibirsk State University also collaborates with the above organisations, as does the Laboratory of Marine Microbiota, National Scientific Centre of Marine Biology, Vladivostok and the Institute of Ecology and Sustainable Development of Dagestan State University in Makhachkala.

Turkmenistan: In 2021 the GHS (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals) compiled a detailed Joint External Evaluation (JEE)) of Turkmenistan's capacities in all sectors concerned with the analysis, prevention and response to biological threats (GHS 2021).

Since 2007, as Turkmenistan has important stop-over areas for many thousands of migratory birds which could carry HPAI and other viruses, the World Bank has been supporting the country's efforts to contain and control the spread of avian influenza viruses and to prepare for a possible outbreak affecting people and animals.

Following a thorough assessment of Turkmenistan's laboratory services, the country's central veterinary laboratory was renovated and equipped to allow virus testing in a highly secure and contained environment. 130 staff members were trained to handle and test avian influenza samples safely and accurately. Regional laboratories were also renovated and provided with basic equipment so that staff there could perform preliminary tests. Several Turkmen specialists were also able to attend additional advanced laboratory training programmes of an international calibre.

Key ministries and government agencies practiced responding to a simulated outbreak. As a result, they put in place a number of interagency responses and coordination mechanisms to insure effective collaboration among the Ministry of Health and Medical Industry, the Veterinary Union and Ministry of Agriculture and Nature Protection. An extensive national public communications programe was also undertaken by the Ministry of Health and Medical Industry with input from UNICEF. Nearly three million posters, booklets, brochures, information calendars for each target group—health workers, veterinary workers, schoolchildren, hunters – were printed and disseminated throughout the country.

In 2010, with the support of FAO, the "Anti-Epizootic Action Plan for Counteracting the Pandemic of Highly Pathogenic Avian Influenz" and "Guidelines for Avian Influenza and Information on Swine Influenza for Veterinary Professionals" were developed. These documents are available in Russian and Turkmen.

Consequently, the key responsible Turkmenistan state entities in this sector are currently:

- State Veterinary Service, Ministry of Agriculture and Environmental Protection
- Special Centre for the Control and Prevention of Infectious Diseases, Ministry of Health and Medical Industry of Turkmenistan
- State Sanitary and Epidemiological Services Laboratory (Ashgabat).

Turkmenistan's Ministry of Health and Medical Industry has a Department for Zoology, Parasitology and Animal Care that is responsible for organizing and carrying out collection of materials from the field for analysis in the central laboratory. The Department is now part of the Special Centre for the Control and Prevention of Dangerous Infectious Diseases.

The State Sanitary Epidemiological Service (SSES), also part of the Ministry of Health and Medical Industry, is the National IHR Focal Point for Turkmenistan. Prior to the SSES being tasked to oversee counter measures against outbreaks of zoonotic diseases, that duty was performed by the State Veterinary Department (SVD), which was overseen by the Ministry of Agriculture.

The State Sanitary Epidemiological Service (SSES), maintains regular contact with the WOAH to exchange information on cases of registration of highly contagious infectious diseases in the world

Currently, both the Central and District Veterinary Laboratories have all the necessary diagnostic kits for the detection of Newcastle Disease. The staff of the veterinary laboratory carry out monitoring studies of caught waterfowl. Reports on laboratory tests carried out are sent to the State Veterinary Service. To date, veterinary laboratory specialists have not detected a positive result for AI and ND.

The State Sanitary Epidemiological Service closely cooperates with the WOAH (formerly know as the OIE), USAID, FAO, and the European Union. In 2013, the first OIE PVS mission was carried out to assess the activities of the Veterinary Service of Turkmenistan. The second OIE PVS mission to assess the performance of the Veterinary Service of Turkmenistan took place in November 2017. Every year, its specialists actively participate in training and practical seminars in foreign countries in order to study the latest world achievements and experience in the field of veterinary activities and their implementation in our country

The result has been that the country has had no recorded cases of avian influenza to-date and is now better prepared to respond to any potential outbreaks.

The Training Programs in Epidemiology and Public Health Interventions Network (TEPHINET – the global network of Field Epidemiology Training Programms) provided logistical support for a two-year Field Epidemiological and Laboratory Training Program (FELTP) in Turkmenistan, so that participants could complete FELTP core competencies and successfully graduate from the program. FELTPs play a critical role in advancing global health security by building the public health workforce needed for countries to detect and respond to acute public health threats, including outbreaks, natural disasters, and humanitarian crises. The Turkmenistan programme is listed as ongoing with the United States Center for Disease Control and Prevention (CDC) helping to provide funding. According to the JEE, no structured courses in applied epidemiology equivalent to the short-term FELTP were offered in Turkmenistan itself as part of educational

training, though the Turkmen State Medical University did include some elements of FELTP in a specialized education programme. The JEE said that the university's Preventative Medicine and Epidemiology program incorporates core concepts of field epidemiology and can be generally considered equivalent to the full FELTP course.

In 2018 the Ministry of Agriculture and Environmental Protection of Turkmenistan initiated the preparation of a new published version of the National Strategy of Turkmenistan on Climate Change, with the assistance of the UNDP. This document serves as the main instrument of Turkmenistan reflecting the standpoint of the country during the negotiations and acts as the fundamental document for the preparation of reports on the implementation of its obligations in the framework of global climate agreements, with particular concern for Turkmenistan's concerns over the state of the Aral Sea.

6. Duck species (Anatidae) recorded in the Caspian Sea region and their IUCN Red Book status with note on gulls and terns in the North Caspian region

The following list identifies the ducks species (Anatidae) recorded in the Caspian Sea region with their scientific names and commonly-recognised names in English and Russian. The map (Fig. 8) from the 2008 core publication on climate change and avian influenza by Gilbert et al. indicates the distribution of Anatidae which breed in a geographical range from Western Europe to Central Eurasia and where they winter. As indicated in maps in the EU commissioned assessment of migratory waterbirds which might carry dangerous avian pathogens to Europe (Delaney et al., 2006) (Figs. 2-4), there is a particularly high number of species of Anatidae which winter in central and south Caspian wetlands, when conversely they may transmit to these highly concentrated bird population viruses from the extensive territories in Europe and Eurasia which they frequent in summer.

Oxyura leucocephala	White-headed Duck	Савка	EN
Marmaronetta angustirostris	Marbled Teal	Мраморный чирок	VU
Aythya ferina	Common Pochard	Красноголовый нырок	LC
Aythya nyroca	Ferruginous Duck	Белоглазый нырок	NT
Aythya fuligula	Tufted Duck	Хохлатая чернеть	LC
Anas crecca	Common Teal	Чирок-свистунок	LC
Tadorna ferruginea	Ruddy Shelduck	Огарь	LC
Tadorna tadorna	Common Shelduck	Пеганка	LC
Anas platyrhyncos	Mallard	Кряква	LC
Anas/Mareca penelope	Eurasian Wigeon	Свиязь	LC
Anas/Mareca strepera	Gadwall	Серая утка	LC
Anas acuta	Northern Pintail	Шилухвость	LC
Anas/Spatula querquedula	Garganey	Чирок тресунок	LC
Anas/Spatula clypeata	Northern Shoveler	Широконоска	LC
Clangula hyemalis	Long-tailed Duck	Морянка	VU
Melanitta nigra	Common Scoter	Синьга	LC
Melanitta fusca	Velvet Scoter	Турпан	EN
Netta rufina	Red-crested Pochard	Красноносый	LC
Sibirionetta formosa	Baikal Teal	Чирок-клоктун	LC
Mareca falcata	Falcated Duck	Костатка	NT
Aythya marila	Greater Scaup	Морская чернеть	LC
Bucephala clangula	Common Goldeneye	Обыкновенный гоголь	LC
Mergellus albellus	Smew	Луток	LC

As noted above, certain gulls and terns have also been identified as AI viral vectors. In 2022 a considerable number of ill and dead Caspian Terns (*Hydroprogne caspia*) and a lesser number of Black-Headed Gulls (*Larus ridibundus*) which were apparently suffering from avian influenza were recorded on Maliy Zhemchuzniy Island (historically known as Seal Island) in the Russian north-east waters of the Caspian Sea. The island is protected as an Astrakkhan State Natural Biosphere Reserve and is the only location where Black-Headed Gulls are documented as nesting in the Caspian region. Considerable research was undertaken in the late Soviet period on documenting the gulls and terns frequenting this island and identifying viruses they carried (Andreev et al., 1980; Aristova et al., 1982, 1986). The virus affecting island birds in 2022 is currently being investigated by the Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine of the Siberian Brach of the Russian Academy of Sciences in Novosibirsk. Caspian Seals also frequent this location, which may have been a source of the infection of the approximately 2,500 Caspian Seals which died in the Caspian Sea in November 2022. In this context, it is worth noting that in the summer of 2022 there were elevated Grey and Harbour Seal mortalities along the coast of Maine in the USA, the cause of which was determined as Highly Pathenogenic Avian Influenza H5N1 by the National Veterinary Services Laboratories of the U.S. Department of Agriculture's Animal and Plant Health Inspection Service.

7. Effects of infected ducks on a unique traditional economy in the south Caspian Sea region

In the southern Caspian coastal areas of Iran, there is an unusual pathway of transmission of harmful viruses of avian origin which has affected local traditional subsistence livelihoods since the avian influenza H5N1 outbreak of 2006. As noted above, in the past, following the harvesting of the annual rice crop, the enclosed rice fields or damgah were flooded and became an attractive haven for migratory ducks which were netted and sold. The ducks were not only eaten by the trappers and their families but

sold as a source of income in in the live poultry markets of local bazaars. This practice was officially curtailed following the 2006 avian influenza outbreak, causing significant consequences to local customary agricultural practices in this region. There was such pressure on the income of local damgah owners that they started to resort to planting a second rice crop in the damgah fields, whose earthen embankments were no longer maintained (Vuosalo-Tavakoli et al., 2008). This led to a debate between the local trappers and the Department of the Environment. During the summer of 2007, agreement was reached and the trappers again started to inundate their lands and prepare their damgah to attract waterfowl in winter. The basis of the agreement was that their birdcatching methods are ecologically more sound than the alternatives (such as shooting), and thus an NGO (the Mazandaran Crane Conservation Association) and the Department of the Environment undertook to compensate them for their losses (Mansouri, 2009).

Figure 8. Satellite image of Caspian Sea region with locations of principal protected littoral wetland reserves frequented by residential and/or migratory waterbirds (Anseriformes and Charadriiformes) indicated by numbers: (1) Astrakhansky Reserve (Volga River Delta); (2) Agrakhansky Reserve; (3) Kislyar Bay Reserve; (4) Lake Adji-Pappas; (5) Gyzylagach Reserve; (6) Anzali wetlands; (7) Miankaleh Reserve; (8) Khazar Reserve; (9) Karagiye-Karakol Reserve; (10) Ural River Delta Reserve. Note: the numbers only indicate the approximate centre of each wetland. For further information on the official protective designation and territory of each protected reserve, see relevant RAMSAR, UNESCO Biosphere, Birdlife International and state online resources

Another example of damgah are those constituting the wetland of Fereidoun-Kenar further east on the southern Caspian coastal plain. The wetland is basically artificial, but serves as an exceptional winter habitat for migratory waterbirds, the trappers obtaining sufficient income each year from this long-established and ecologically sustainable custom (Nourani et al., 2015).

8. Monitoring avian influenza in Crimea: Dnepr and Azov-Black Sea migratory flyways and connections with Caspian Sea waterbird populations

Two important migratory flyways cross the Crimean Peninsula, the Dnepr flyway (geese and ducks) and the Azov-Black Sea flyway (geese, ducks, sandpipers, swans and rooks). An in-depth investigation into the dynamics of the outbreaks of the H5N1 virus in the Azov Sea-Crimea-Black Sea regions was undertaken in the course of the study "Urgent preliminary assessment of ornithological data relevant to the spread of Avian Influenza in Europe" which the European Commission commissioned Wetlands International and EURING (European Union for Bird Ringing) to undertake (Delany et al., 2006).

There are also well-documented connections between the Caspian Sea and the northern and western Black Sea littoral with waterbirds moving from the former to the latter in reaction to cold weather. There is also an exchange of waterbirds between the Sivash lagoon behind the narrow Arabat Spit along the western Asov Sea and the Black Sea wetlands (Fig. 9). In winter, during severe weather conditions, parts of the Eastern Sivash with low salinity may freeze up and then waterbird concentrations move to open hypersaline water areas in the southern part of the Eastern and Central Sivash. In the extremely severe winter of 2006 all Sivash waters became frozen and all wintering waterbirds concentrated along the southernmost coast of the Crimean peninsula, some moving to the western wetlands of the Black Sea where they may have contributed to the outbreak of the H5N1 virus in these areas (Delaney et al., 2006).

Here it should be noted that according to EURING's Data Bank, at least two species of duck, the Northern Shoveller (*Anas clyreata*) (Fig. 10) and the Red-crested Pochard (*Netta rufina*), as well as the Black Tern (*Chlidonas niger*) have migratory routes between the wetlands of the north-west Caspian Sea and the Crimean peninsula (Fig. 11) (Bauer et al., 2006).

Villages throughout the Eastern Sivash commonly keep free roaming chickens, ducks, geese and turkeys. Domestic geese and ducks visit ponds, canals and artesian-fed reservoirs in the vicinity of villages. As the number of these sources of fresh water is limited, birds from different households congregate in such places which are also frequented by wild birds. To combat the risk of transmission of pathogens state veterinarians instruct local people to keep their poultry (and domestic dogs and cats as well) within their yards (Delany et al., 2006).

As along the coasts and islands of the Caspian Sea, gulls and terns may play a linking role in the spread of disease carrying the virus from the habitats of concentrations of wild waterbirds to various water bodies frequented by domestic birdsgull. In August, when their numbers reach a maximum, many gulls and terns forage over agricultural fields and come close to settlements, roosting on ponds in or near villages (Delany et al., 2006)

A series of outbreaks of H5N1 occurred in the Eastern Sivash in the winter of 2005-2006. The first outbreak was recorded in October in the village of Nekrasovka which is located next to one of the most important waterbird concentration areas in the Sivash. Many of waterbirds (especially Greater White-fronted Geese (*Anser albifrons*) and Mallards (*Anas platyrynchos*)) forage on agricultural fields near villages where they mingle with domestic ducks and geese. A second outbreak occurred in November 2005, shortly after a cold spell had brought thousands of waterbirds to the area, among which were some 15,000 Greater White-fronted Geese. A third outbreak took place in mid-January 2006. At that time the Volga delta had become totally frozen, resulting in large numbers of waterbirds leaving the Caspian Sea area, visiting the Eastern Sivash, after which they were forced further westwards by freezing conditions. In all cases the onset of outbreaks could be related to the existence of waterbird concentrations or major migratory movements of these birds (Delany et al., 2006).

From March 2006 through November 2008, 20 AI viruses were isolated in the peninsula with an overall frequency of virus recovery of 3.3%. All viruses isolated were from three species of dabbling ducks: mallard (*Anas platyrhynchos*), wigeon (*Anas penelope*), and garganey (*Anas querquedula*), making the frequency of virus recovery for dabbling ducks 6.3%. The viruses were mainly isolated during the fall sampling period (Kulak et al., 2010; Vorotilova et al., 2015). 62% of cases were reported in the Eastern Sivash lagoon behind the narrow Arabat Spit (whose previously saline waters had been flooded with fresh water from the North-Crimean Canal from Ukraine since 1963), 23% in the Black Sea littoral of the Feodosia municipality and the Chernomorsky and Krasnoperekopsky districts and 15% in Central Crimea (Simferipolsky, Belogorsky and Krasnogvardeisky districts). In total some 265,110 birds (poultry and wild) were estimated to have died from HPAI in Crimea from 2005-2008 (Gadzevich et al., 2018).

In 2018, further monitoring of avian influenza on aquatic and semi-aquatic birds in the Azov Sea and Sivash wetlands area was undertaken by specialists of the Federal Centre for Animal Health (ARRIAH) branch and laboratory in Simferopol, Crimea, in collaboration with ARRIAH in Vladimir, Rosselkhoznadzor and onithologists. During their expeditions biological material samples were collected, bird species identified and bird fauna estimated in waterfowl aggregation sites (Kuchuk-Ajigol, Sasyk-Sivash, Donuzlav lakes and Sivash lagoon) (Gadzevich et al., 2018).

Testing of samples was undertaken by the Central Research Institute of Epidemiology of the Federal Service for Customer Rights Protection and Human Well-being in Vladimir. Laboratory PCR tests of the biological material collected in the wild as well from killed birds and poultry revealed no AIV type A. As the number of waterbirds in their post-1963 aggregation in the Sivash wetlands had decreased due to the fact that fresh water supply through the North-Crimean Canal has ceased since 2014, it was considered that the Crimean Peninsula would manage to maintain HPAI freedom despite the fact that the disease was reported close to the peninsula. In the winter of 2018-2019 there was indeed recorded a significant decrease in the number of wintering of birds (Common Pochards, *Aythya ferina*, for example, had not wintered in Crimea the previous two years, possibly due to the absence of feed). Nevertheless, notwithstanding the fact that since 2009 no

HPAI cases or related deaths among poultry had been reported in the Crimean peninsula, ARRIAH advised that the threat of virus introduction to commercial and backyard farm stocks still existed as the peninsula is located on bird migration routes and that AI epidemiological monitoring must continue to be undertaken, because the risk of virus introduction was still high (Gadzevich et al., 2018).

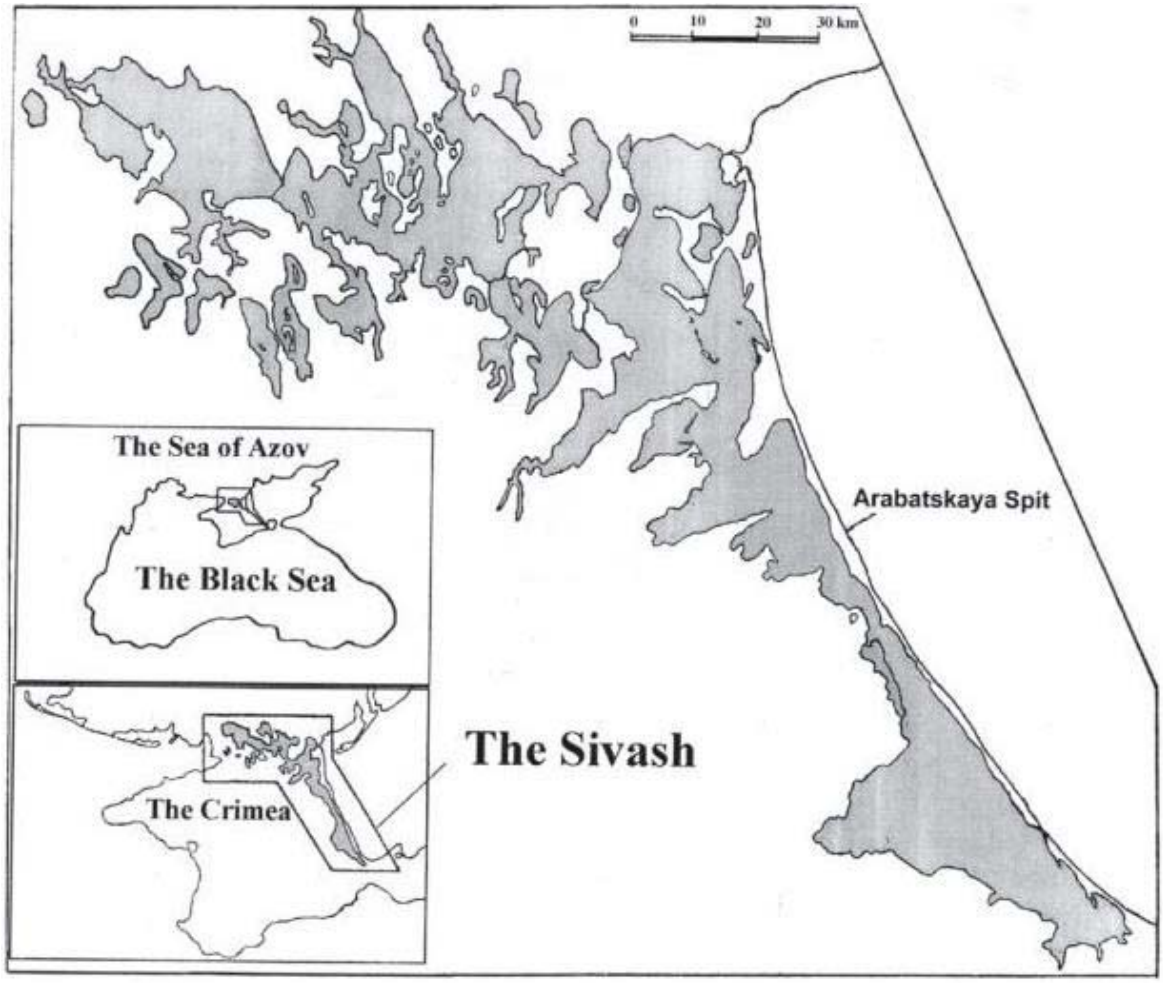


Figure 9. Map of the Crimean Peninsula with the location of the Sivash lagoon system behind the Arabat spit (after Khomenko, 2006)

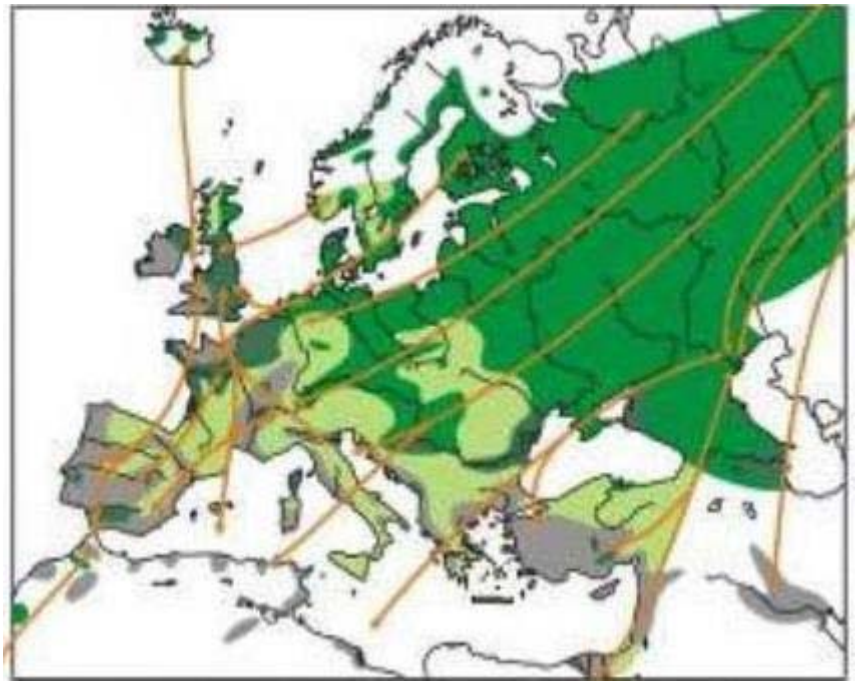


Figure 10. Northern Shoveller (*Anas clyreata*) wintering migration map (after Bauer et al., 2006; Aula Verlag)

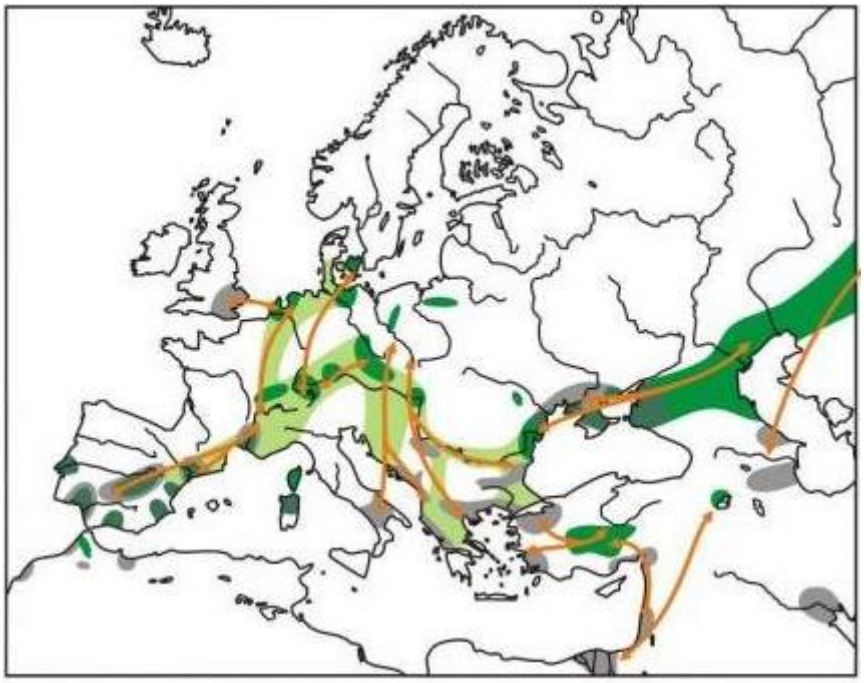


Figure 11. Red-crested Pochard (*Netta rufina*) wintering migration map (after Bauer et al., 2006; Aula Verlag)

This cautious stance was justified after epidemiological monitoring in 2019 and 2020 by Gadevich et al. of the Federal Centre for Animal Health (ARRIAH) in Simferopol and Vladimir was again undertaken in the territory of Crimea (Gadzevich et al., 2019). Their attention was focused on the study of water basins of the Azov and Black Seas, the Sivash Lagoon and freshwater lakes in the Feodosia Municipality, Leninsky, Sovetsky, Nizhnegorsky, Chernomorsky and Saksky districts. Examination of these areas showed that some freshwater reservoirs had become shallow and dry and that aquatic vegetation had degraded. A natural biotope analysis conducted in 2019 and 2020 showed a decrease in the number of semiaquatic wild birds. Pathological material was sampled from semiaquatic and migratory wild birds, as well as from poultry kept in poultry farms and backyards. The collected samples were tested using real-time RT-PCR. In 2019, the AIV type A (H9) genome was detected in one fecal sample taken from wild birds near Kuchuk-Adzhigol Lake in the Feodosia Municipality. The AIV type A (H5) genome was detected in 2020 during laboratory testing of pathological material taken from the remains of a mute swan within the shoreline of a freshwater lake near the Ermakovo settlement of the Dzhankoysky district. The genetic analysis was performed in the ARRIAH laboratory at Vladimir, where the N8 subtype neuraminidase of the influenza virus isolate was identified. The comparative genetic analysis of 258 bp nucleic acid sequences of the AIV H gene fragment showed that the identified isolate belongs to the Asian genetic lineage of highly pathogenic AIV subtype H5 (clade 2.3.4.4) associated with the epidemic spread in Asia, Europe, the Middle East and Africa in 2016–2020 (Gadzevich et al., 2021).

9. Documentation of effects of climate change on birds frequenting the Caspian Sea

As it is conceived, the ViEW system could contribute significantly over a period of time to the detailed systematic documentation and analysis not only of avian-borne pathogens but also of the impacts of climate change on both migratory and resident waterbird species of the Caspian region. While a large amount of meteorological and ecological data have already accumulated in this regard, much is either subjective or anecdotal in character or refers to proxy information from international scientic sources. While scientists and conservationists benefit greatly from the information, methodologies and prognoses of research undertaken outside the region, it cannot fully substitute for the properly targeted and quantified observations and compilations of specialists of the Caspian states themselves. This work must be undertaken on an integrated long-term basis rather than through competent but short-term “expeditions”, as has been the legacy of Soviet practice in most scientific fieldwork in Russia. There should be maximum use of new research technologies developed and employed internationally, e.g. radio-tracking, analysis of isotope ratios in bird feathers, whole-genome sequencing, identification of genomic markers (single nucleotide polymorphisms), radionucleides to determine populations and movements, etc.

Migration and overwintering greatly contributes to shaping bird population dynamics. Long distance flights and winter habitat quality may have carry-over effects on subsequent breeding success. Climate change has direct and indirect effects on birds and migratory species are particularly sensitive. Notably, altered climatic conditions can modify migration phenologies and result in shifting wintering and/or breeding areas, with consequences for migratory distances. (Clairbaux et al., 2019). Of particular interest is the possible emergence or re-remergence of pathogenic viruses held in the deep laters or organic matter in the permafrost of Arctic northern Eurasia whose upper layers are increasingly melting with warmer overall ambient temperatures (some 70% of the land area of the Russian Federation is now in this category). There is a concern that these pathogens could theoretically be transmitted to waterbird species breeding in the regions underlaid with permafrost and passed on further geographically through migration. A tangible testimony to

the ancient intimate connection between now extinct mammals, migratory waterfowl and humans in the high Arctic, relics of which are now emerging from the melting permafrost, are the Late Palaeolithic (^{14}C dated to c. 15,000 yrs BP) pendants of flying Anatidae carved from mammoth tusks; excavated by archaeologist M.M. Gerasimov in Malta northwest of Lake Baikal in Siberia in 1928-1930 (Abramova, 1995; Derevianko et al., 1998) (Fig. 12).

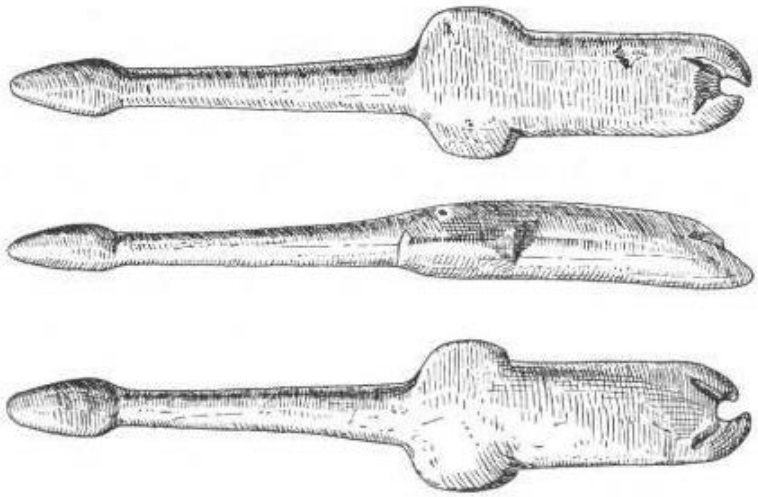


Figure 12. Carved mammoth tusk pendants of high flying waterfowl. Radiocarbon dated to c. 15,000 BC (Late Palaeolithic. Malta-Buret mammoth-hunting culture). Excavated in burial sites in Malta, Usolsky district on a branch of Angara River in central southern Siberia, north-west of Lake Baikal (the most ancient known site in region). Four such pendants were found in situ deliberately orientated north-south according to bird migration pattern and still-held traditional local beliefs in the path of the soul after death. State Hermitage Museum, Saint Petersburg (after Abramova, 1995)

Despite the deficit of detailed data on climate impacts on birds, specialists in the Caspian region have observed and documented on a macro level the indubitable reality and effects of warming trends on the environment. For instance in Turkmenistan during the mid-winter of 2021-2022 a state ornithological expedition surveyed the birds and environmental status of most of the Khazar Nature State Reserve littoral. The ornithologists involved reported that that the coastline and water surface areas of the bays had undergone strong transformation due to a decrease in sea level caused by a number of factors including global warming. On the northern coasts, where rock uplands prevail, most of the lagoons, bays and gulfs, which used to be abundantly inhabited by birds, had dried up. Thus the biocapacity of the natural locations investigated has resulted in a significant decrease in the number of birds wintering in Turkmenistan. On the lower central and southern coasts the shorelines have shifted by kilometres, which has negatively affected bird observation possibilities. A number of bird clusters could only be assessed by the ornithological team in approximate quantitative terms.

A very revealing study by an Iranian group of researchers, Alemi Safaval et al., was published in 2018 of recent, ongoing and possible drastic future consequences of Caspian sea level changes and their effects on coastal morphologies. These may have a major ecological impact on the phenologies of migratory waterfowl and patterns of potential pathogen transmissions.

10. CONCLUSIONS

As did many other specialists before the outbreak of the global COVID-19 pandemic of epizootic origin, Aaron Bernstein, Director of the Center for Climate, Health, and the Global Environment at Harvard University's T.H. Chan School of Public Health, warned that, "*The destruction of natural places drives wild life close to people and climate change is also forcing animals to move. That creates an opportunity for pathogens to get into new hosts. The separation of health and environment policy is a dangerous illusion. Our health entirely depends on the climate and the other organisms we share the planet with.*"- a warning echoed by Lycett S.J. et al. (2019) "*The threat of a new avian influenza virus causing a human pandemic is still present today... Therefore, if we continue the disease surveillance programmes in avian, human and other domestic animal populations, and control avian influenza in domestic avian populations, then we can surely reduce the risks of a new human avian influenza pandemic*".

The review of activities and opinions of specialists and organizations with remits relating to the development, establishment and maintenance of such a system as is conceived for ViEW, clearly indicates that a research, surveillance and early warning system for AIV in the Caspian Sea region is a priority necessity for global animal and human health due to the role the region plays through the mass migration of species of waterbird already known as vectors for avian influenza and the already evident and concerning – but as yet not adequately understood or quantified - impacts of climate change on their phenologies. The waterbirds congregating in massive numbers in their habitats along the coasts and hinterland wetlands of the Caspian Sea make the territory a potential

global hotspot for highly pathogenic avian influenza outbreaks and a source of rapid transmission of these diseases geographically.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the project supported by the Russian Science Foundation, 23-44-00026 "Study of viral metapopulations in migratory birds of the Asian part of Russia and China for the early detection of new variants of viral pathogens».

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках проекта, поддержанного Российским научным фондом, 23-44-00026 «Исследование вирусных метапопуляций у мигрирующих птиц азиатской части России и Китая для раннего выявления новых вариантов вирусных патогенов».

REFERENCES / БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abdelwhab E.M. et al., 2014, Prevalence and control of H7 avian influenza viruses in birds and humans, Epidemiology and Infection, 142, pp. 896-920.
2. Abdollahi H. et al., 2020, Spatial spread and emergence of reassortment H5 highly pathogenic avian influenza in Iran, Infection, Genetics and Evolution, 83, September 2020. https: 10/1016/j.meegid.2020.04342
3. Abramova Z., 1995, L'art paléolithique d'Europe orientale et de *Sibérie*, *Jérôme* Millon, Grenoble.
4. Abtin A. et al., 2022, Characterisation, whole-genome sequencing and phylogenetic analysis of three H3N2 avian influenza viruses isolated from domestic ducks in a live poultry market in Iran, First Report, Veterinary Medicine and Science, 8, pp. 1594-1602. https:// doi.org/10.1002/vms3.819
5. Abu Seri N. & Abd Rahman A., 2021, Impact of climate change on migratory birds in Asia, Petanika Journal of Science and Technology, 29 (4), pp. 2937-2965. https://doi.org/10.47836/pjst.29.4.38
6. Adlhoch C. et al., 2010, Avian influenza overview May-August 2020, Scientific Report, European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention and Control & European Reference Laboratory for Avian Influenza, EFSA Journal, 18 (9), 6270. https://doi.org/10.2903/j.efra.2020.7270
7. Agayeva E.M. & Zeynalova S.K., 2011, Reserve of avian influenza and Newcastle Disease in Azerbaijan, Epizoology, 2, Baku (Azerbaijan Agricultural Science), pp. 116-118.
8. Ahrens K.A. et al., 2022, Exploring surface water as a transmission medium of avian influenza viruses: Systematic infection studies in mallards, Emerging Microbes and Infections, 11 (1), pp. 1250-1261. https://doi.org/10.1080/2222/751.2022.2065937
9. Alemi Safaval P. et al., 2018, Morphological changes in the southern coasts of the Caspian Sea using remote sensing and GIS, Caspian Journal of Environmental Sciences, 16 (3), pp. 271-285.
10. Alexander D.J., 2000, A review of avian influenza in different bird species, Veterinary Microbiology, 74, pp. 3–13. https://doi.org/10.1016/S0378-1135(00)00160-7
11. Алексеев А. Ю. и др, 2019, Анализ миграций птиц водного и околоводного комплекса на территории Республики Дагестан и обоснование выбора ключевых точек мониторинга гриппа типа А, South of Russia, Ecology, Development, 14 (1), С. 137-149. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-1-137-149
12. Alexander D.J., 2007, An overview of the epidemiology of avian influenza, Vaccine, 25, pp. 5637–5644. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2006.10.051
13. Allen T. et al., 2017, Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases, Nature Communications, 8 (1), Article no. 1124.
14. Ali Ghafouria S. et al., 2019, Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases, 64, June 2019, pp. 73-80. https://doi.org/10.1016/j.cimid.2019.03.005
15. Aliponi H. et al., 2016, Concentrations of heavy metals in tissue of the Mallard *Anas platyrynchos* in Kanibarazan, northwestern Iran, Podoces, 11, pp. 35-42.
16. Amanov B., 2021, State Veterinary Service under the Ministry of Agriculture and Environmental Protection of Turkmenistan, Ashgabat.
17. Amirgazin A. et al., 2020, Highly pathogenic avian influenza virus of the A/H5N8 subtype, clade 2.3.4.4b, caused outbreaks in Kazakhstan in 2020, PeerJ, 10, e13038. https://doi.org/10.7717/peerj.13038
18. Андреев В.П. и др., 1980, Изоляция вирусов гриппа от чайковых птиц на островах Северного Каспия и Черного моря и вируса болезни Ньюкасла от уток в дельте р. Волги в 1978 г., Экология вирусов, Москва, 1980, С. 81-85.
19. Андриясов А. В. и др., 2006, Идентификация и генетический анализ изолятов вируса гриппа птиц, выделенных на территории Южного федерального округа в 2006 году, Ветеринарна медицина, 87, С. 24–31.
20. Ansali Wetland Ecological Management Project in the Islamic Republic of Iran: Project Completion Report, August 2012, DOE Project Team and JICA Expert Team (Nippon Koei Co. Ltd), Department of the Environment and Japan International Cooperation Agency JICA)
21. Arakharov I. Kh. (ed.), 2013, Red Book of the Republic of Azerbaijan, Ministry of Ecology and Natural Resources of the Azerbaijan Republic, Institute of Zoology, National Academy of Sciences. 2nd Ed.
22. Arajau M.B. & Luoto M., 2007, The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change, Global Ecology and Biogeography, 16, pp. 743-753.
23. Аристова В.А. и др., 1986, Эколого-вирусологическое изучение гнездовых популяций чайковых птиц на о. Жемчужном Северного Каспия, Изучение птиц СССР, их охрана и рациональное использование: IX Всес. орнитол. конф. и 1 съезд орнитол. Общества, Тез. Докл., Ленинград, Ч.2, 1986, Ч.2, С. 204-205.
24. Аристова В.А. и др., 1982, Изоляция вирусов гриппа от птенцов чайковых птиц на о. Жемчужный Северного Каспия, Экология вирусов, Москва, 1982, С. 91-94.
25. Ashrafi K. et al., 2021, Migratory routes, domesticated birds and cercasial dermatitis: The distribution of *Trichobilharzia franki* in Northern Iran, Parasite, 28, pp. 1-17.
26. Asia-Pacific Working Group on Migratory Waterbirds and Avian Influenza Working Group meeting, Beijing, 17 November 2007, Terms of Reference.
27. Atamuradov H.I. et al., 1999, Biodiversity, genetic diversity and protected areas in Turkmenistan, Journal of Sustainable Forestry, 9 (1-2), pp. 73-88. https://doi.org/10.1300/j09v09n1_06atamuradov
28. Athari A. et al., 2006, Determination of definitive and intermediate hosts of cercasial dermatitis producing agents in northern Iran, Archives of Iranian Medicine, 9, pp. 11-15.
29. Atoni E. et al., 2019, The discovery and global distribution of novel mosquito-associated viruses in the last decade (2007-2017), Reviews in Medical Virology, 29, e2079. https://doi.org/10.1002/rmv.2079.
30. Avian Influenza in Wild Birds in Australia, Fact Sheet, September 2022, Wildlife Health Australia.
31. Barisov S.N. et al., 2020, Seasonal migrations of *Pantala flavescans* (Odonata: Libellulidae) in Middle Asia and understanding of the migration model in the Afro-Asian region, using stable isotopes of hydrogen, Insects, 11, Article No. 890.
32. Bashashati M. et al., 2020, Ongoing genetic evolution of H9N2 avian influenza viruses in Iranian industrial poultry farms, Acta Veterinaria Hungarica, 68 (3), pp. 328-335. https://doi.org/10.1556/004.2020.00048
33. Bauer H.-G. et al. (eds), 2005, Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Alles über Biologie, Gefährdung und Schutz. (Compendium of Central European birds. All about biology, endangers and protection. Vol. 1 Nonpasseriformes, Vol. 2 Passeriformes, Vol. 3 Literature and Appendix), AULAVerlag, Wiebelsheim. 2nd Ed.
34. Becker W.B., 1966, The isolation and classification of tern virus: influenza virus A/Tern/South Africa/1961, the Journal of

Hygiene (Lond.), 64, pp.309–320. https://doi.org/10.1017/S0022172400040596
35. Behroudzuad B., 2007, Identification of fish-eating birds of northern wetlands of Iran, International Journal of Environmental Research, 1 (2). https://doi.org/10-22059/IJER.2010.114
36. Behrooz R.D. & Burger J., 2022, Heavy metals in liver, kidney, brain and muscle: Health risk assessment for consumption of edible parts of birds from the Chahnimeh reservoir, Sistan (Iran), Biological Trace Element Research, September 2009, pp. 4098-4113. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02995-6
37. Birdlife International, 2008, State of the World's Birds and Indicators of Our Changing World, Birdlife International, Cambridge.
38. Birdlife International, Projecting the Impacts of Climate Change, factsheet/22710441/climate. http://www.datazone.birdlife.org/species/climatechangemaps
39. Birdlife International, 2010, Threats, stresses and impacts, Birdlife International. http://www.birdlife.org/datazone/country/Iran
40. Bird Observatories Flock Together: IBOC International Bird Observatories Conference, Eilat, Israel, 2019, Book of Abstracts.
41. Bird Species and Climate Change: The Global Status Report, A synthesis of Current Scientific Understanding of Anthropogenic Climate Change Impacts on Global Bird Species Now, and Projected Future Effects, 2010, Climate Risk Pty Ltd.
42. Boere G.G., 2007, Waterbirds around the World: A Global Overview of the Conservation, Management and Research of the World's Waterbird Flyways, Scottish Natural Heritage: Edinburgh.
43. Boere G.C. & Stroud D.A., 2006, The flyway concept: what it is and what it isn't. In: G. C. Boere G.C. et al. (eds), *Waterbirds around the world,* The Stationery Office, Edinburgh, pp. 40-47.
44. Gadzevich D.V., 2019, Epidemiological monitoring of avian influenza in the Republic of Crimea, Veterinary Science Today, 1(28). https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-1-28-34-38
45. Волков М. С. и др., 2020, Результаты научной экспедиции в природные биотопы Республики Тыва в 2019 году для проведения мониторинга инфекционных болезней в популяциях диких птиц, Ветеринария сегодня, 2 (33), С. 83–88. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-83-88.
46. Воротилова Н. Г. и др., 2015. Эпизоотологический мониторинг инфекционных болезней птиц в Республике Крым, Известия сельскохозяйственной науки Тавриды, 3 (166), С. 81–92.
47. Воротилова Н. Г. и др., 2015, Мониторинг инфекционных болезней птиц в Республике Крым, Известия сельскохозяйственной науки Тавриды, 3 (166), С. 81-92.
48. Boyce W.M. et al., 2009, Avian influenza viruses in wild birds: a moving target, Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases, 32(4), pp. 275-86. http://doi.org/10.1016/j.cimid.2008.01.002.
49. Брагина Т., Брагин Е. (ред.), 2002, Важнейшие водно-болотные угодья Северного Казахстана (в пределах Костанайской и Северо-Казахстанской областей), Русский университет, Москва/Bragina T. & Bragin E (eds), 2002, The most important wetlands of North Kazakhstan (Kastanai and North Kazakhstan Oblasts, Russian University, Moscow.
50. Bridge E.S. et al., 2014, Bird migration and avian influenza. A comparison of hydrogen stable isotopes and satellite tracking images, Ecological Indicators, 45, pp. 266-273.
51. Brochet A.L. et al., 2019, A preliminary assessment of the scope and scale of illegal killing and taming of wild birds in the Arabian peninsula, Iran and Iraq, Sandgrouse, 41, pp. 154-175.
52. Braun D.H. et al., 2021, Identifying the research gap of zoonotic disease in displacement: A systematic review, Global Health Research and Policy, 6 (1), Article No. 25.
53. Bui V.N. et al., 2001, Genetic characterization of a rare H12N3 avian influenza virus isolated from a green-winged teal in Japan, Virus Genes, 50, pp. 316–320.
54. Букреев С.А., Зубакин В.А., 1999, Инветаризация, Мониторинг и охрана ключеых орнитологических территорий России, Союз Охраны Птиц России/Russian Bird Conservation Union, Москва.
55. Bukhreev S.A., 1997, Ornithography and Conservation of Turkmenistan, TSODPSES, Moscow. (in Russian)
56. Campitelli L. et al., 2004, Interspecies transmission of an H7N3 influenza virus from wild birds to intensively reared domestic poultry in Italy, Virology, 323, pp. 24–36.
57. Chen R. & Holmes E.C., 2006, Avian influenza virus exhibits rapid evolutionary dynamics, Molecular Biology and Evolution, 23, pp. 2336–2341. https://doi.org/10.1093/molbev/msl102
58. Chen R. & Holmes E.C., 2009, Frequent inter-species transmission and geographic subdivision in avian influenza viruses from wild birds, Virology 2009, 383, pp. 156–161.
59. Choi K.S. et al., 2013, Genetic diversity of avian paramyxoviruses from wild ducks in Korea from 2006 to 2011, Virus Genes, 46, pp. 302-308.
60. Clairbaux M. et al., 2019, Climate change could overturn bird migration: Transarctic and high latitude residence in a sea ice free Arctic, Nature Scientific Reports, 9, 17767. https://www.doi.org/10.1028/s41598-019-54228-5
61. Coffee L.L. et al., 2010, Avian paramyxoviruses in shorebird and Gulls, Journal of Wildlife Diseases, 46 (2), pp. 481-487.
62. Crick H.G.P., 2004, The impact of climate change on birds, Ibis, 146 (Suppl. 1), pp. 48-56.
63. Cumming G.S. et al., 2008, Wild bird movements and avian influenza risk mapping in Southern Africa, Ecology and Society, 13 (2): 26. http://www.ecology and society.org/vol13/iss2/art26/
64. Danilenko E.A. et al., 2018, Characterization of avian-like influenza A (H4N6) virus isolated from Caspian Seal in 2012, Virologica Sinica, 33, 449–452.
65. Dash S.P. et al., 2021, Climate change: How it impacts the emergence, transmission, resistance and consequences of viral infections in animals, Critical Reviews in Microbiology, 47 (3), pp. 307-322.
66. Davidson N.C. & Stroud D.A., 2006, African-West Eurasian flyways: Current knowledge, population status and future challenges. In: Boere G.C. et al. (eds), Waterbirds around the World, The Stationery Office, Edinburgh, pp. 63-75.
67. Delany S. et al. (eds), 2006, Urgent preliminary assessment of ornithological data relevant to the spread of avian influenza in Europe, Report to the European Commission. http://ec.europa.eu/environment/nature/nature_conservation/focus_wildbirds/avian/_influenza?index_en.htm
68. De Marco M.A. et al., 2016, Ecology of avian influenza viruses in Siberia. In: Siberia: Ecology, Diversity and Environmental Impact, Nova Science Pub Inc., Hauppauge, NY, pp. 83-160.
69. Derevianko A.P. et al. (eds), 1998, The Paeolithic of Siberia: New Discoveries and Interpretations, trans. Laricheva I.P., University of Illinois, Champaign.
70. Dhingra M.S. et al., 2018, Geographical and historical patterns in the emergences of novel highly pathogenic avian influenza (HPAI) H5 and H7 viruses in poultry, Frontiers in Veterinary Science, 5, 84.
71. Diadicheva E. & Khomenko S., 2006, Migration of Curlew Sandpiper *Calidris ferrugina* through the Azov-Black Sea region, Ukraine, International Wader Studies, 19, pp. 82-95.
72. Djamirzoyev G. et al, 2004, Birds of Dagestansky Nature Reserve, Makhachkala.
73. Dugan V.G. et al, 2008, The evolutionary genetics and emergence of avian influenza viruses in wild birds, PLOS Pathogens, 4, e1000076. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000076
74. Easterday B.C. et al, 1968, Evidence of infection with influenza viruses in migratory waterfowl, Nature, 219, pp. 523–524. https://doi.org/10.1038/219523a0
75. Endo A. & Nishiura H., 2018, The role of migration in maintaining the transmission of avian influenza in waterfowl: A multisite multispecies transmission model along East Asia-Australian flyway, Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology, 2018. http://doi.org/10.1155/2018/3420533
76. Эсенов П., Сапаров У.Б., 2006, Анализ состояния водных экосистем Туркменистана, Проблемы сохранения экосистем внутренних вод Центральной Азии и Южного Кавказа. Алматы-Ташкен, С. 48-54, 122-128.
77. European Union, 2006, Information Note on "Avian Influenza and Migratory Birds", Nature and Biodiversity Unit of DG

Environment in Consultation with the ORNIS Scientific Working Group, Version 20/07/2006.
78. Evans M.I (ed.), 1994, Important Bird Areas in the Middle East, Birdlife International, Cambridge.
79. Fallah Mehrabadi M.H. et al., 2014, Sero-survey of avian influenza in backyard poultry and wild bird species in Iran, Preventative Veterinary Medicine, 128, pp. 1-5.
80. FAO (Food and Agriculture Administration of the United Nations), H7N9 Situation Update, 2019. Available online: http: //www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/empres/h7n9/situation_update.html) (accessed on 16 April 2021)
81. Farkhar M. et al., 2016, Phylogenetic analysis of nasal avian schistosomes (*Trichobilharzia*) from aquatic birds in Mazandaran Province, northern Iran, Parasitology International, 65, pp. 151-158.
82. Feeny P.P. et al, 1968, Autumn migration in the South Caspian region, Ibis, 110, pp. 35-68.
83. Fereidouni S.R. et al., 2005, Isolation and identification of avian influenza viruses from migratory birds in Iran, The Veterinary Record, 157 (17), 526. https://doi.org/10.1136/vr.157.17.526i
84. Fereidouni S.R. et al., 2005, Serological monitoring of avian influenza in migratory birds of Iran, Archives of Razi Institute, 60 (1), pp. 11-20. https://doi.org/10.22092/ARI.2005.103730
85. Fereidouni S.R. et al., 2005, Isolation and identification of avian influenza viruses from migratory birds in Iran, The Veterinary Record, 157 (17), 526. https://doi.org/10.1136/vr.157.17.526
86. Fereidouni S.R. et al., 2010, Avian influenza virus monitoring in wintering waterbirds in Iran, 2003-2007, Virology Journal, 7, pp. 1-14.
87. Fereidouni S.R. et al., 2011, West Nile virus monitoring in liver, kidney, brain and muscle: Health risk assessment for consumption of edible parts of birds: Are common coots the main reservoir of the virus in wetlands? Vector Borne Zoonotic Diseases, 11 (10), pp. 1377-1381.
88. Ferguson D.A., 1972, Waterfowl wintering, resting and breeding areas of the south-west Caspian lowlands, Wildfowl, 23, pp. 5-24.
89. Ferrer M. et al., 2008, Climate change and the conservation of migratory birds in Europe: Identifying effects and conservation priorities, Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats Standing Committee, 28th Meeting, Strasbourg, 24-27 November 2008, T-PUS/Inf(2008) 1 rev.
90. Flint P.L. et al., Wild bird surveillance for highly pathogenic avian influenza H5 in North America, Virology Journal, 12.
91. Friend M., 2006, Evolving changes in diseases of waterbirds. In: Boere G.C. et al. (eds), Waterbirds around the World, The Stationery Office, Edinburgh, pp. 412-417.
92. Fuller et al., 2010, Mapping the risk of avian influenza in wild birds in the US, BMC Infection Diseases, 10, 187.
93. Funk J., 2013, The impact of climate change on the mistiming of bird-resource phenologies, Concept, XXXVI.
94. Gadzevich D.V., 2019, Epidemiological monitoring of avian influenza in the Republic of Crimea, Veterinary Science Today, 1(28). https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-1-28-34-38.
95. Гадзевич Д. В. и др., 2019. Эпизоотологический мониторинг гриппа птиц и ньюкаслской болезни на территории Республики Крым в 2017–2018 гг. Научно-прикладные аспекты производства, переработки и ветеринарно-санитарного контроля сельскохозяйственной продукции: сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции с международным участием (27–28 марта 2019 г.), ВПО Ярославская ГСХА, Ярославль, С. 13–21
96. Gadzevich D.V., 2021, Epidemiological monitoring of avian influenza in the Republic of Crimea in 2019–2020, Veterinary Science Today. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2021-10-4-308-316
97. Gaidet N. et al., 2012, Understanding the ecological drivers of avian influenza virus infection in wildfowl: A continental-scale study across Africa, Proceedings of the Royal Society B, 279, pp. 1131-1141. https://doi.org/10.1098/rspb.2011-1417.
98. Гаврилов Н.Н., 1982, Численность и миграция черноголового хохотуна в природном очаге аробовирусов на о. Жемчужный (С. Каспий), Экология вирусов, Москва, 1982, С. 104-105.
99. Гаврилов Н.Н., 1986, Учет численности голенастых, веслоногих и чайковых птиц в колониальных гнездовьях дельты Волги и Северного Каспия, Всес. совещ. по проблеме кадастра и учета животного мира, Тезисы, Ч. П., Москва, С. 252-253.
100.Гаврилов Н.Н., 1989, Многолетний мониторинг популяций птиц в дельте Волги и на Северном Каспии как основа мероприятий по их охране и рациональному использованию // Проблемы изучения охраняемых природных территорий Астраханской области: Материалы к научно-практической конф., посвященной 70-летию Астраханского заповедника, Б.и., Астрахань, 1989, С. 27 - 37.
101.Гаврилов Н.Н., Кривоносов Г.А., 1981, Колониальные гнездовья чайковых птиц на о. Жемчужный (Северный Каспий). Размещение и состояние гнездовий околоводных птиц на территории СССР, Москва, С. 15-16.
102.Ghobaditerra M. et al., 2015, An overview on the present situation of cercasial dermatitis: A neglected zoonotic disease in Iran and the world, Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 24, pp. 440-460.
103.Gilbert V. et al., 2008, Climate change and avian influenza, Revue scientifique et technique, 27 (2), pp.459-466.
104.Gistov A.P., 2004, Waterbird monitoring in North Caspian Seas in 2003, Kazakhstan Ornithological Newsletter, Almaty, pp. 19-20.
105.Gregory R.D. et al., 2009, An indicator of the impact of climate change on European bird populations, PlOS One, 4.
106.Guidelines for Avian Influenza and Information on Swine Influenza for Veterinary Professionals. (in Russian & Turkmen)
107.Gulenkin V.M. et al., 2008, Atlas of Highly Pathogenic Avian Influenza in the Territory of the Russian Federation, ARRIAH, Vladimir. (in Russian)
108.Gulyaeva, M. et al., 2018, Characterization of avian-like influenza A (H4N6) virus isolated from Caspian Seal in 2012, Virologica Sinica, 33, pp. 449–452.
109.Gulyaeva M.A. et al., 2018, Orthomyxo- and paramyxoviruses in marine mammals, South of Russia, Ecology, Development, 13 (1), pp. 154–165.
110.Jeong-Kim et al., 2009, Ducks: The “Trojan Horses” of H5NI influenza, Influenza and other respiratory viruses, 3 (4), pp. 121-128.
111.Hadipour M.M., 2010, Seroprevalence study of H9N2 avian influenza virus in backyard chickens around the Caspian Sea in Iran, Brazilian Journal of Poultry Science/Revista Brasiliana de Ciencia Avicola, January-March 2010, 12 (1), pp. 53-55.
112.Haig S.M. et al., 2019, Climate altered wetlands challenge waterbird use and migratory connectivity in arid landscapes, Nature, Scientific Reports, 9, 4666. https://www.doi.org/10.10.1038/s41598-019-41135-y
113.Hashemi S.M., 2020, Modeling the prevalence of avian influena in Guilan Province using data mining models and spatial information system in 2016: An ecological study, Journal of Rafsanjan University of Medical Science, 19 (7), pp. 677-692. https://doi.org/10.29252/irums.19.7.677
114.Heiss M. & Gauger K., 2011, Coastal bird migration at the Caspian shore of the Azerbaijan Republic in October 2007, Podoces, 6 (1), 99. 59-71.
115.Hill N.J. et al., 2016, Transmission of influenza reflects seasonality of wild birds across the annual cycle, Ecology Letters, 19, pp. 915–925.
116.Hiono T. et al., 2015, Genetic and antigenic characterization of H5 and H7 influenza viruses isolated from migratory water birds in Hokkaido, Japan and Mongolia from 2010 to 2014, Virus Genes, 51, pp. 57–68.
117.Hole D.G. et al., 2009, Projected impacts of climate change on a continental-scale protected area network, Ecology Letters, 12, pp. 420-431.
118.Hole D.G. et al., 2011, Towards a management framework for protected are networks in the face of climate change, Conservation Biology, 25, pp. 305-315.
119.Huaiyu Tian et al., 2015, Avian influenza H5N1 viral and bird migration networks in Asia, PNAS, January 2015, 112 (1), pp. 172-177.

120.Hule-Post D.J. et al., 2007, Molecular changes in the polymerase genes (PA and PB1) associated with high pathogenicity of H5N1 influenza virus in mallard ducks, Journal of Virology, 81, pp. 8515–8524.
121.Horman W.S.J. et al., 2018, The drivers of pathology in zoonotic avian influenza: The interplay between host and pathogen, Frontiers in Immunology, 9, 1812.
122.Information Note on "Avian Influenza and Migratory Birds", Nature and Biodiversity Unit of DG Environment in consultation with the ORNIS Scientific Working Group, Version 20/07/2006.
123.Исаков Ю.А., 1940, Экология зимовки водоплавающих птиц на Южном Каспии, Тр. Всес. орнит. зап-ка Гассан-Кули, Вып.1, Москва.
124.Исаков Ю.А., Воробьев К.А., 1940, Обзор зимовок и пролета птиц на Южном Каспии, Тр. Всес. орнит. запка Гассан-Кули, Вып.1, Москва.
125.Isakov Y.A., 1949, The state of wintering waterfowl on the western coast of the Caspian Sea, Proceedings of the Central Office of Ringing, Part 7. (in Russian)
126.Isakov Y.A., 1967, MAR Project and Conservation of Waterfowl Breeding in the USSR. In: Salverda Z. (ed.), Proceedings of the 2nd European meeting on wildfowl conservation, Noordwijk aan zee, the Netherlands, May 1966, IWRB, pp. 125–138.
127.IUCN, 1987, A Directory of Wetlands of International Importance, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
128.Iverson S.A., 2011, Migratory movements of waterfowl in Central Asia and avian influenza emergence: sporadic transmission of H5N1 from east to west, International Journal of Avian Science, 153 (2), pp. 279-292. https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01095.x
129.Jeong-Kim et al., 2009, Ducks: The "Trojan Horses" of H5NI influenza, influenza and other respiratory viruses, 3 (4), pp. 121-128.
130.John H.R. et al., 2000, Migratory birds and spread of West Nile virus in the Western Hemisphere, Emerging Infectious Diseases, 6 (4), pp. 319-328.
131.Jourdain E et al., 2010, Influenza virus in a natural host, the mallard: experimental infection data, PLoS ONE, 5, e8935. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008935
132.Kacyinskz P. et al., Rapid Assessments of Wildlife in Turkmenistan 2018, NINA (Norwegian Institute for Nature Research), Report 1696.
133.Kalisinska E., 2004, Using the Mallard to biomonitor heavy metal contamination of wetlands in north-western Poland, Science of Total Environment, 320, pp. 145-161. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.08.04
134.Karamendin K. et al., 2014, Circulation of avian paramyxoviruses in wild birds of Kazakhstan in 2002-2003, Virology Journal, 13, Article No. 23. https://doi.org/10.1186/s12985-016-0476-8
135.Kawaoka Y., 1992, Evolution and ecology of influenza A viruses, Microbiology Reviews, 56, 152–179. https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2008.01180.x
136.Roselaar C.S. & Aliabadian M., 2007, A century of breeding bird assessment by Western travelers in Iran, 1870-1977, Podoces, 2 (7), pp. 77-96.
137.Kiers A., et al., 2008, Transmission of mycobacterium pinnipedii to humans in a zoo with marine mammals, International Journal of Tuberculosis and Lung Diseases, 12 (12), pp. 1469−1473.
138.Kilpatrick A.M. et al., 2006, Predicting the global spread of H5N1 avian influenza, PNAS, December 19, 2006, 103 (1).
139.Kirby J.S. et al., 2008, Key conservation issues for migratory bird and waterbird species in the world's major flyways, Bird Conservation International, 18, pp. 549-573.
140.Koehler A.V. et al., 2008, Genetic evidence of intercontinental movement of avian influenza in a migratory bird: the northern pintail (*Anas acuta*), Molecular Ecology, 17, pp. 4754–4762. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03953.x
141.Krauel J.J. & McCracken G.F., 2013, Recent advances in bat migration research. In: Adams R. & and Pedersen S. (eds), Bat Evolution, Ecology, and Conservation, Springer, New York.
142.Kramer L.D., & Shi P.Y., 2007, West Nile virus, Lancet Neurology, 6 (2), pp. 171-181.
143.Krauss S et al., 2007, Influenza in migratory birds and evidence of limited intercontinental virus exchange, PLOS Pathogens, 3, e167. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030167
144.Krauss S. et al., 2015, Long-term surveillance of H7 influenza viruses in American wild aquatic birds: are the H7N3 influenza viruses in wild birds the precursors of highly pathogenic strains in domestic poultry? Emerging Microbes and Infections, 4, e35. https://doi.org/10.1038/emi.2015.35
145.Krivenko V.G. (ed.), 1999, Wetlands in Russia, Vol. 1, Wetlands of International Importance, Wetlands International, AEME Publ. 52.
146.Krivenko V.G. & Vinogradov V.G., 2001, Current Status of Waterfowl Resources in Russia and Issues of its Conservation. http://www.biodat.ru/chm/vbu/index.htm
147.Kuiken T., 2013, Is low pathogenic avian influenza virus virulent for wild waterbirds? Proceedings of the Royal Society B, 280, 20130990. https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0990
148.Кривоносов Г.А., 1976, Очаги массового гнездования чайковых птиц на Северном Каспии и факторы, определяющие длительность их существования, Экология вирусов, Вып. 1У Москва, С. 46-51.
149.Кривоносов Г.А. и др., 1987, Современное состояние, охрана и изучение колониальных гнездовий чайковых птиц на о. Малом Жемчужном (Сев. Каспий), II Всесоюз. конф. по миграциям птиц: тез. сообщений, ч. 1, Алма - Ата.
150.Kulak M.V. et al., 2010, Surveillance and identification of influenza A viruses in Wild aquatic birds in the Crimea, Ukraine (2006–2008), Avian Diseases, 54(3), pp. 1086-1090. https://doi.org/10.1637/9272-020510-ResNote.1
151.Latorre-Margalef N. et al., 2009, Effects of influenza A virus infection on migrating mallard ducks, Proceedings of Biological Sciences, 276, pp. 1029–1036.
152.Latorre-Margolef N. et al., 2017, Competition between influenza A virus subtypes through heterosubtype immunity modulates re-infection and antibody dynamics in the mallard duck, PLOS Pathogens, 13 (6). https://doi.org/10.1341/journal,ppat.1000419.
153.Lemey P. et al., 2010, Phylogeography takes a relaxed random walk in continuous space and time, Molecular Biology and Evolution, 27, pp. 1877–1885.
154.Long J.S. et al., 2019, Host and viral determinants of influenza A virus species specificity, National Reviews Microbiology, 17 (2), pp. 1167-1169.
155.Lupiani B. & Reddy S.M., 2009, The history of avian influenza, Comparative Immunolology Microbiology and Infectious Diseases, 32, pp. 311– 323. https://doi.org/10.1016/j.cimid.2008.01.004
156.Львов Д. К., Иличев В.Д.,1979, Миграсий птис и перенос возбудителеи инфексии (эхолого-географические свиязи птис с возбудателями инфексии), Наука, Москва
157.Львов Д. К. и др., 2006, Изоляция штаммов вируса гриппа A/H5N1 от домашних и диких птиц в период эпизоотии в Западной Сибири (июль 2005 г.) и их депонирование в государственную коллекцию вирусов (08 августа 2005 г.), Вопросы вирусологии, 1 (51), С. 11–14.
158.Львов Д. К. и др., 2006, Эпизоотия среди лебедей-шипунов (*Cygnus olor*) в нижней дельте Волги (ноябрь 2005 г.), вызванная высокопатогенным вирусом гриппа A/H5N1, Вопросы вирусологии, 3 (51), С. 10–16.
159.*Львов Д.*К., *Ильичев* В.Д., 1979, Миграции *птиц* и *перенос возбудителей инфекции*, (Экол.-геогр. *связи птиц* с возбудителями *инфекции*), *Наука*, *Москва.*
160.Львов Д. К. и др., 2006, Изоляция высокопатогенных (HPAI) штаммов вируса гриппа A/H5N1 от диких птиц в очаге эпизоотии на озере Убсу-Нур (июнь 2006 г.) и их депонирование в Государственную коллекцию вирусов РФ (3 июля 2006 г.), Вопросы вирусологии, 6 (51), С. 14–18.
161.Lycett S.J. et al., 2019, A brief history of bird flu, Philosophical Transactions of the Royal Society B, 374: 20180257. https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0257
162.Maclean I.M.D. et al., 2007, The effects of climate change on migrating birds within the African-Eurasian Flyway, BTO Research Paper No. 486.
163.Mahdavi S.A. et al., 2013, Survey of migratory birds (Anatidae: *Anas platyrynchos*) for schistosome parasites from Mazandaran

Province, northern Iran, Iranian Journal of Parasitology, 8, pp. 333-336.
164.Макаров В.В., Бучацкий Л.П., 2021, О природе вирусов и радикальном изменении их таксономии, Ветеринария сегодня, 10 (4), С. 266-270.
165.Malkhazova S.M. et al., 2018, Influence of climatic factor on naturally determined diseases in a regional context, Geography, Environment, Sustainability, 11 (1), pp. 157-170. https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-11-1-157-170
166.Mansoori J., 1983, National Report on Iran's Wetlands of International Importance as Habitat for Waterfowl. Prepared for the Groningen Conference, Netherlands, in May 1984.
167.Mansoori J., 2009, The avian community of five Iranian wetlands, Miankaleh, Fereidoun-Kenar, Buyagh, Anzali and Levandevit, in the South Caspian Lowlands, Podoces, 4 (1), pp. 44-49.
168.Mänz B. et al., 2013, Adaptation of avian influenza A virus polymerase in mammals to overcome the host species barrier, Journal of Virology, 87, pp. 7200–7209.
169.Marchenko V.Y. et al., 2012, Ecology of influenza virus in wild bird populations in Central Asia, Avian Diseases, 56 (1), pp. 234-237. https://doi.org/10.1637/9834-061611-ResNote.1
170.Mehrabadi F. et al., 2020, Avian influenza (H9N2 subtype) in Iranian broiler farms: A cross-sectional study, Archives of Razi Institute, 75 (3), 2020, pp. 359-366. https://doi.org/10.22092/ARI.2019.123942.1266
171.Mehranpour J. et al., 2012, Avian influenza virus in migratory and resident birds during migration season in Boushehr, Iran, Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 36, pp. 446-450. https://doi.org/103906/vet-1105-25
172.Miller-Rushing A. et al., 2008, Bird migration times, climate change, and changing population, Global Change Biology, 14, pp. 1959-1972. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01619.x
173.Mine J. et al., 2019, Phylogeographic evidence for the inter- and intracontinental dissemination of avian influenza viruses via migration flyways, PLOS ONE, 14, e0218506.
174.Ministry of Agriculture and Environment Protection of Turkmenistan, 2018, National Strategy of Turkmenistan on Climate Change
175.Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, Committee for Veterinary Control and Supervision, 2021, Epizootic Situation in Terms of Avian Influenza in the Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.
176.Министерство здравоохранения и медицинской промышленности Туркменистана, 2010, План противоэпизоотических мероприятий по противодействию пандемии высокопатогенного птичьего гриппа, Ашгабат.
177.Министерство здравоохранения и медицинской промышленности Туркменистана, 2010, Руководство по птичьему гриппу и информатсия о гриппе свиней для ветеринарних специалистов, Ашгабат.
178.Ministry of Health and Medical Industry of Turkmenistan, 2020, Center for the Control and Prevention of Infectious Diseases. http://www.saglykhun.gov.tur
179.Ministry of Nature Protection of Turkmenistan, 2002, Biodiversity Strategy and Action Plan for Turkmenistan, Ashgabat.
180.Modiri Hamadan A. et al., 2021, Detection of influenza A viruses in migratory birds at live bird markets of Iran, Iranian Journal of Virology, 15 (2), pp. 82-87.
181.Mohsin H. et al., 2021, Potential roles of viral metagenomics as a surveillance tool for the early detection of emerging novel pathogens, Archives of Microbiology, 203 (3), pp. 865-872.
182.Møller A.P. et al., 2022, Rapid reduction in migration distance in relation to climate in a long-distance migratory bird, Current Zoology, 68 (2), pp. 233-225. http://doi.org/10.1093/cz/zoab053
183.Møller A.P. et al., 2010, Climate change affects the duration of the reproductive season in birds, Journal of Animal Ecology, 79, pp. 777-784. http://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01677.x
184.Monitoring of Waterbirds in Azerbaijan: Manual, 2011, Joint Publishing of GIZ and Ministry of Ecology and Natural Resources of Azerbaijan, Baku.
185.Mostafa A. et al., 2018. Zoonotic potential of influenza A viruses: A comprehensive overview, Viruses, 2018, 10, 497.
186.Motahhr M. et al., 2016, The arrival of highly pathogenic avian influenza viruses H5N8 in Iran through two windows, Virus Genes, 58, pp. 527–539.
187.Mrashi S.M. et al., 2020, Surveillance of highly pathogenic avian influenza viruses (H5Nx subtypes) in wild birds in Iran, 2014-2019, Archives of Razi Institute, 76 (3), pp. 487-498.
188.Muzyka D. et al., 2016, Isolation and genetic characterization of avian influenza viruses Isolated from wild birds in the Azov-Black Sea Region of Ukraine (2001–2012), Avian Diseases, 60, pp. 365–377.
189.Muzyka D. et al., 2016, Isolation and genetic characterization of avian influenza viruses isolated from wild birds in the Azov-Black Sea Region of Ukraine (2001–2012), Avian Diseases, 60 (1) Supplement: Ninth International Symposium on Avian Influenza (May 2016), pp. 365-377. https://doi.org/10.1637/11114-050115-Reg.
190.Nakayama M. et al., 2019, A novel H7N3 reassortant originating from the zoonotic H7N9 highly pathogenic avian influenza viruses that has adapted to ducks, Transboundary Emerging Diseases Journal, 66, pp. 2342–2352.
191.Naguib M.M. et al., 2019, Global patterns of avian influenza A(H7): Virus evolution and zoonotic threats, FEMS Microbiology Reviews, November 2019, 43 (6), pp. 608-621. https://doi.org/10.1093/femsre/fuz019.
192.Nagy A. et al., 2017, A brief summary of the epidemiology and genetic relatedness of avian influenza H9N2 virus in birds and mammals in the Middle East and North Africa, Epidemiology and Infection, 2017, 145, pp. 3320–3333.
193.Newton I., 2008, The Ecology of Bird Migration, Academic Press, London.
194.Nielsen B.P., Further spring observations on the birds of Gilan, Northern Iran, In: Birds of Gilan, N. Iran.
195.Nippon Koei Co. Ltd, 2019, Mid-Term Plan for Conservation of the Anzali Wetland for 2-20-2030 (Prepared under the Anzali Wetland Ecological Management Report – Phase II), Department of the Environment, Gilan Provincial Government, Islamic Republic of Iran and Japan International Cooperation Agency (JICA), May 2019.
196.Nishiura H., 2009, How to find natural reservoir hosts from endemic prevalence in a multi-host population: A case study of influenza in waterfowl, Epidemics, 1, pp. 118-128.
197.Nourani E. et al., 2015, An assessment of threats to Anatidae in Iran, Bird Conservation International, 25, pp. 245-257. https://doi.org/10.1017/So959270914000264.
198.Нурыев А.Т. и др., 2008, Хазарский государственный заповедник, Ашхабад.
199.OIE Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals, 2018. https://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.03.04_AI.pdf
200.Olsen B. et al., 2006, Global patterns of influenza A virus in wild birds, Science, 312, pp. 384-388.
201.Olson D.M. et al., 2001, Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth, BioScience, 51, pp. 933-938.
202.Onishchenko G.G. et al, 2007, Molecular-biological analysis of avian virus isolates, which caused epizootics on the south of west Siberia and in Crimea, Zhurnal Mikrobiologii Epidemiologii i Immunobiologii, 5, pp. 28-32.
203.Papp Z. et al., The ecology of avian influenza viruses in wild birds, Science, 312, pp. 384-388.
204.Pearson R.G. & Dawson T.P., 2003, Predicting the impact of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? 12, pp. 361-371.
205.Поярков Н. Д. и др., 2011, Полевой определитель гусеобразных птиц России, Всероссийский научно-исследовательский ин-т охраны природы, Москва.
206.Prange M. et al., 2020, The other side of sea level change, Communication, earth and Environment, 1:69. https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6
207.Rainio K., 2008, Climate change effects on bird migration, Turun Uliopiston Jolkaisuta Annales Universitatus Turkuensis, Sarja-Ser. All Osa-Tom 230, Biologica-Geographica-Geologica, Turun Uliopisto, Turku.
208.Recht J. et al., 2020, Host diversity and origin of zoonoses: The ancient and the new, Animals, 10 (9), Article No. 1672.

209.Reed K.D. et al., 2003, Birds, migration and emerging zoonoses: West Nile virus, lyme disease, influenza A and enteropathogens, Clinical Medical Research., 1 (1), pp. 5-12.
210.Regemes L.A., 2008, Waterfowl toxicology: A review, Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice, 11, pp. 283-300.
211.Rose K. et al., 2006, FAO Animal Production and Health Manual, Wild Bird HPAI Surveillance Sample Collection from Healthy, Sick and Dead Birds, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
212.Русанов Г.М., Гаврилов Н.Н., 2001, Состояние колониального гнездовья чаек и крачек на острове Малый Жемчужный на Северном Каспии, Новости в мире птиц. Информационный бюллетень Союза охраны птиц России, N 2. Москва.
213.Русанов Г.М., Мошонкин Н.Н., 2000, Остров Малый Жемчужный, Ключевые орнитологические территории России, Том 1, Ключевые орнитологические территории международного значения в Европейской России, Под редакцией Свиридовой Т.В., Зубакина В.А., Москва, С. 502-503.
214.Rusev I.I., 2015, Role of migratory birds in the introduction and spread of highly pathogenic avian influenza in Ukraine, Visnik SumDU, 2006, 8 (9), pp. 29-41. (in Russian)
215.Rustamov E.A., 1994, Ecological structure of the bird population in the Transcaspian region: Cartographic analysis and problems of conservation. In: Fet V. & Atamuradov K.I. (eds), Biography and Ecology of Turkmenistan, Monographicae Biologicae, 72, Springer, Dordrecht.
216.Рустамов Э.А. (ред), 2009, Ключевые орнитологические территории Туркменистана, МОЛ, Ашхабад.
217.Rustamov E.A. et al., 2009, Important Bird Areas in Turkmenistan, Ashgabat.
218.Sabirovic M. et al., 2005, Highly Pathogenic Avian Influenza (H5N1) in Eastern Europe. Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs), International Animal Disease Monitoring Team, International Animal Health Division, London.
219.Schaefer H.C. et al., 2008, Impact of climate change on migratory birds: Community assemblage versus adaptation, Global Ecology and Biogeography, 17, pp. 38-49.
220.Shestopalov A.M. et al., 2016, Results of long-term (2006-2016) avian influenza surveillance in wild birds of Uus Nuur Lake, South of Russia, Ecology, Development, 11 (3), pp. 106-119. https://doi.org/10.18470/1992-1098-3-107-119
221.Shestopalov A.H. et al., 2022, Wild animal migration as a potential threat of introduction of new viruses into Russia, Herald of the Russian Academy of Sciences, 92 (8), pp. 497-504. Russian text published in Вестник Российской академии наук, 2022, 92 (8), pp. 766-774.
222.Скляренко С.Л. и др. (ред), 2008, Ключевые орнитологические территории Казахстана, АСБК, Алматы.
223.Scott B., 2007, A review of the status of breeding waterbirds in Iran in the 1970s, Podoces, 2, pp.1-21.
224.Scott D.A. & Rose P.M., 1996, Wetlands International Atlas of the Anatidae Populations in Africa and Western Eurasia; Wetlands International, Wageningen, The Netherlands.
225.Scott D.H. & Smart M., 1991, Wetlands of the Seistan Basin, South Caspian and Fars, Islamic Republic of Iran, Ramsar Convention Monitoring Procedure Report No. 26, Ramsar Convention Bureau, Gland.
226.Sharp G.B. et al., 1993, Wild ducks are the reservoir for only a limited number of influenza a subtypes, Epidemiology and Infection, 110 (1), pp. 161-176.
227.Sharshov R. et al., 2019, Characteristics and phylodynamics of Reassortment H12Nk viruses in northern Eurasia, MDPI, Microorganisms, 7, 643. http://doi.org/10.3390/microorganisms7120643
228.Sharti M., 2020, Detection of West Nile virus by real-time PCR in crows in northern provinces of Iran, Journal of Vector Borne Diseases, 57, March 2020, pp. 37-39.
229.Shestopalov A.M. et al., 2006, H5N1 influenza virus, domestic birds, western Siberia, Russia, Emerging Infectious Diseases, 12 (7), pp. 1167–1169.
230.Sinkarimi M.H. et al., 2013, The Study of Waterfowl Organs as Bioindicators of Metals Pollution in southeastern Caspian Sea, MSc. Thesis, Birjand University and Department of the Environment, Birjand, Iran.
231.Sinkarimi M.H. et al., 2015, Potential human health risk assessment of heavy metals consumption of *Anas strepera* and *Anas crecca* in Southeastern Caspian Sea, Podoces, 9, pp. 54-59.
232.Sinka-Karimi M.H. et al b, 2015, Study on metal concentrations in tissues of Mallard and Pochard from two major wintering sites in Southwestern Caspian Sea, Iran, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 95, pp. 292-297. https://doi.org/10.1007/s001128-015-1591-8
233.Sivay M.V. et al., 2012, Surveillance of influenza A virus in wild birds in the Asian portion of Russia in 2008, Avdi, 56, pp. 456–463.
234.Sparagano O. et al., 2015, Arthropods and associated arthropod-borne disease transmitted by migrating birds: The case of ticks and tick-borne pathogens, Veterinary Parasitology, 213 (1-2), pp. 61-66.
235.Stallknecht D.E., 2003, Ecology and epidemiology of avian influenza viruses in wild bird populations: waterfowl, shorebirds, pelicans, cormorants, etc., Avian Diseases, 47, pp. 61-69.
236.Sultankulova K.T. et al., 2022, Evidence for flock transmission of individual subtypes and strains of avian influenza viruses: A monitoring study of wild birds in Kazakhstan, Virus Research, 320, 15 October 2022, 198898. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2022.198898
237.Sultanov E.H., 2004, An ornithological study of the Azerbaijan Caspian coast, islands and regions of oil production, Sandgrouse, 26 (2), pp. 112-126.
238.Sultanov E.H., 2008, Recent waterbird counts in Gyzylagach, the Azerbaijan Republic's Most important Ramsar site, with comments on conservation, Podoces, 3 (1/2), pp. 31-38.
239.Sultanov E. et al., 2005, Manual for Special Protected Areas and Important Bird Areas, Azerbaijan Ornithological Society Publishing, Baku. (in Azerbaijani and Russian)
240.Surveillance for Early Detection of Highly Pathogenic Avian Influenza HPA1 H5N1 in Wild Birds: 2007-08, Washington Interagency Sample Plan, August 20, 2007.
241.Suttie A. et al., 2018, Detection of low pathogenicity influenza A(H7N3) virus during duck mortality event, Cambodia, Emerging Infectious Diseases, 24, pp. 1103–1107. https://doi.org/10.3201/eid2406.172099
242.Suttie A. et al., 2019, Inventory of molecular markers affecting biological characteristics of avian influenza A viruses, Virus Genes, 2019, 55, pp. 739–768.
243.Swayne D.E. et al., 1998, A Laboratory Manual for the Isolation and Identification of Avian Pathogens, 4th Ed., American Association of Avian Pathologists Jacksonville, pp. 74–80.
244.Tian Z. et al., 2012, Complete nucleotide sequence of avian paramyxovirus Type 6 Strain JL, isolated from mallard ducks in China, Journal of Virology, 86 (23), 13112.
245.Tian H. et al., 2015, Avian influenza H5N1 viral and bird migration networks in Asia, Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 112, pp. 172–177. https://doi.org/10.1073/pnas.1405216112
246.Tong, S. et al., 2012, A distinct lineage of influenza a virus from bats, Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 109, 4269.
247.Terrestrial Code: OIE -World Organisation for Animal Health. Available online: https://www.oie.int/ international-standard-setting/terrestrial-code/.
248.Training Programmes in Epidemiology and Public Health Interventions Network (TEPHINET). 2019. Support to the Central Asia Regional Field Epidemiology and Laboratory Training Program. https://www.tephinet.org/support-to-the-central-asiaregional-field-epidemiology-and-laboratory-training-program
249.Treschalina A. et al., 2022, Monitoring of avian influenza viruses and paramyxoviruses in ponds of Moscow and the Moscoe region, Viruses, 14, 2624. https://doi.org/10.3390/v14122624
250.Tuayev D.G., 1957, Results of the quantitative counts of surface-feeding ducks wintering in the Kyzylagach reserve, Reports of Azerbaijan Academy of Sciences, XII (3), pp. 339-342. (in Russian)
251.Turkmenistan Country Report on State of Central Asian Migratory Way, CMS/CAF/Inf.4.6

252.Turkmenistan, Journal of Sustainable Forestry, 9 (1-2), pp. 73-88.
253.Turkmenistan, GHS (Global Health Security) Index 2021.
254.Tyrlov A.K. et al., 1998, New information on migration routes and wintering areas of some bird species from the southern part of western Siberia, Mat. Rasprostr, Ptits Ural., Priural. Zapad. Sib., 3, pp. 189-192.
255.Umali P.V. et al., 2014, Surveillance of avian paramyxoviruses in migratory waterfowls in the San-in region of western Japan from 2006-2012, Journal of Veterinary Medical Science, 76 (3), pp. 423-430.
256.Unique ornithological reserve near Turkmen coast of Caspian Sea, Turkmenistan Materials, 8 August 2017.
257.U.S. Department of Health, Bureau of Public Affairs, South and Central Asia: U.S. Government Support to Combat Avian Pandemic Influence, 06/04/07.
258.USGS National Wildlife Health Center, An Early Detection System for Highly Pathogenic H5N1 in Wild Migratory Birds – Interagency Strategic Plan.
http://www.nwhc.usgs.gov/publications/other/index.jsp
259.Vandegrift K.J. et al., 2010, Ecology of avian influenza viruses in a changing world, Annales of the New York Academy of Sciences, 1195, pp. 113-128.
260.Van Doren B.M., 2022, How migratory birds may have tracked past climate, PNAS, 119, (3), e2121738119.
https://doi.org/10.1073/pnas.2121738119
261.Van Toor M. et al., 2018, As the duck flies: Estimating the dispersal of low pathogenic avian influenza viruses by migrating mallards, Frontiers in Ecology and Evolution, 6, 208.
https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00208
262.Васильев В.И. и др., 2009, Мониторинг численности водоплавающих птиц на туркменском побережье Каспийского моря в осенне-зимний период (1971-2005 гг.), Москва.
263.Veen J. et al., 2005, An Atlas of Movements of Southwest Siberian Waterbirds, Wetlands International, Wageningen, The Netherlands, 2005.
264.Venkatesh D. et al., 2018, Avian influenza viruses in wild birds: Virus evolution in a multihost ecosystem, Journal of Virology, 92, 15.
265.Verhagen J.H. et al., 2014, Migratory birds reinforce local circulation of avian influenza viruses, PLOS One, 9 (11): e112366.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112366
266.Verkuil Y. et al., 2006, Migrating Broad-billed Sandpipers achieve high fueling rates by taking a multi-course meal, Wader Study Group Bulletin, 110, pp.15-20.
267.Vilkov E.V., 2016, The genesis and evolution of the Caspian Sea lagoons as avifauna refuges at the transboundary scale, Open Journal of Marine Science, 6, pp. 115–124.
268.Visser M.E., et al., 2009, Climate change leads to decreasing bird migration distances, Global Change Biology, 15 (8), pp. 1859-1865. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01865.x
269.Volkova M.A. et al., 2019, Serological monitoring for avian influenza in the Russian Federation in 2019, Veterinary Science Today, 2, pp.76-82. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-76-82
270.Воротилова Н. Г. и др., 2015, Мониторинг инфекционных болезней птиц в Республике Крым, Известия сельскохозяйственной науки Тавриды, 3 (166), С. 81-92.
271.Vuosalo-Tavakoli E. et al., 2018, Damgah: A traditional Caspian agroecosystem for trapping migratory waterfowl acting as a potential avian sanctuary, Anthropology of the Middle East, 13 (1), pp. 97-116. https://doi.org/10.3167/ame.2018.130108
272.Webster R.G. et al., 1981, Conjunctivitis in human beings caused by influenza A virus of seals, New England Journal of Medicine, 304 (15), 911.
273.Webster R.G. et al., 1992, Evolution and ecology of influenza A viruses, Microbiology Reviews, 56, 152.
274.Williams P.C. et al., 2021, Impact of climate change and biodiversity collapse on the global emergence and spread of infectious diseases, Journal of Paediatrics and Child Health, 57 (11), pp. 1811−1818.
275.Wille M. et al., 2011, Extensive geographic mosaicism in avian influenza viruses from gulls in the northern hemisphere, PLOS One, 6, e20064.
276.Wille M. et al., 2018, Where do all the subtypes go? Temporal dynamics of H8-H12 influenza A viruses in waterfowl, Virus Evolution, 4, vey025. https://doi.org/10.1093/ve/vey025
277.Wille M. et al., 2018, Alternate routes of influenza A virus infection in Mallard (*Anas platyrynchos*), Veterinary Research, 49: 110.
278.Williams P.C. et al., 2021, Impact of climate change and biodiversity collapse on the global emergence and spread of infectious diseases, Journal of Paediatrics and Child Health, 57 (11), pp. 1811-1818.
279.Wille M. & Barr I.G., 2022, Unprecedented outbreaks of the H5N1 highly pathogenic avian influenza virus raise concern, Science, 376 (2), pp. 459-460. https:// 10.1126/science.abo1232
280.Woolhouse M. & Gaunt E., 2007, Ecological origins of novel human pathogens, Critical Reviews in Microbiology, 33 (4), pp. 231-242.
281.World Bank, 2008, Turkmenistan Avian Influenza Control and Human Pandemic Preparedness and Response Project Environmental Assessment and Management Plan.
282.WHO Global Influenza Surveillance and Response System (GISRS), 2011, Report: Annex 5 WHO Collaborating Centres for Influenza Terms of Reference related to Work with Pandemic Influenza Preparedness Biological Materials.
https://www.jstor.org/stable/resrep27870.15
283.World Health Organization, 2011, Manual for the Laboratory Diagnosis and Virological Surveillance of Influenza, World Health Organization, Geneva.
284.World Health Organization (WHO), June 2016, Joint External Evaluation of IHR Core Capacities of Turkmenistan.
285.The World Organisation for Animal Health (WOAH), 2018, Terrestrial Animal Health Code.
http://www.oie.int/index.php?id=169&L=0&
htmfile=chapitre_avian_influenza_viruses.htm.
286.World Organisation for Animal Health (WOAH) , Avian Influenza Portal https://www.woah.org/en/disease/avian-influenza/
287.Xiaohan Li et al., 2022, IOP Conf. Ser., Earth Environmental Science, 1011 012054. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1011/1/012054
288.Yaghoobrazadeh Y. & Ghasempoori S.M., 2006, MCCA-Finland Project on monitoring Damgahs, 2004-2005, Ornithological Report, Annotated Checklist of the Species and Subspecies, Iranian Institute of Plant Protection. In: Khaleghizadeh A. et al., 2017, Birds of Iran, Iranshenasi Publishing.
289.Yamane N. et al., 1982, Characterisation of avian paramyxoviruses isolated from feral ducks in nature, Microbiology Immunology, 26, pp. 557-568.
290.Yanyan Huang, 2014, Prevalence and Evolution of Avian Influenza Virus Infection in Newfoundland and Labrador, Ph.D. Dissertation, Department of Biology, Faculty of Science, Memorial University of Newfoundland.
291.Yoon S.W. et al., R.G, 2014, Evolution and ecology of influenza A viruses, Current Topics in Microbiology and Immunology, 2014, 385, pp. 359–375.
292.Youk S. et al., 2020, Highly pathogenic avian influenza A(H7N3) virus in poultry, United States, 2020, Emerging Infectious Diseases, 26, pp. 2966–2969.
293.Yoon S.W. et al., 2014, Evolution and ecology of influenza A viruses, Current Topics in Microbiology and Immunology, 385, pp. 359–375. https://www.10.1007/82_2014_396
294.Zeynalova S. et al., 2015, Biosurveillance of avian influenza and Newcastle disease viruses in the Barda region of Azerbaijan using real time RT-PCR and hemagglutination inhibition, Fronters of Microbiolology, 06 November 2015, Sec. Infectious Agents and Disease. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01128
295.Zohari S. et al., 2008, Phylogenetic analysis of the non-structural (NS) gene of influenza A viruses isolated from mallards in Northern Europe in 2005, Virology Journal, 5, 147.
https://doi.org/10.1186/1743-422X-5-147z

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Guy Petherbridge co-developed the concept, undertook the literature review, analysed the information gathered from the literature and scientific partners and wrote the article. Alimurad A. Gadzhiev co-developed the concept, contributed to the literature review and guided the research. Alexander M. Shestopalov contributed research data, contributed to the literature review and guided the research. Alexander Yu. Alekseev guided the literature review and contributed research data. Kirill A. Sharshov contributed to the literature review, and provided research data. Madina G. Daudova was responsible for the editing and formatting of the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Гай Петербридж был соавтором концепции, провел обзор литературы, проанализировал информацию, полученную из литературы и от научных партнеров, и написал статью. Алимурад А. Гаджиев был соавтором концепции, участвовал в обзоре литературы и руководил исследованием. Александр М. Шестопалов предоставил данные исследования, участвовал в обзоре литературы и руководил исследованием. Александр Ю. Алексеев руководил обзором литературы и предоставил данные исследования. Кирилл А. Шаршов участвовал в обзоре литературы и предоставил данные исследования. Мадина Г. Даудова рассмотрела исследование и провела редактирование и форматирование статьи. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Guy Petherbridge / Гай Петербридж https://orcid.org/0000-0001-7196-3937
Alimurad A. Gadzhiev / Алимурад А. Гаджиев https://orcid.org/0000-0002-7359-1951
Alexander M. Shestopalov / Александр М. Шестопалов https://orcid.org/0000-0002-9734-0620
Alexander Yu. Alekseev / Александр Ю. Алексеев https://orcid.org/0000-0003-0015-9305
Kirill A. Sharshov / Кирилл А. Шаршов https://orcid.org/0000-0002-3946-9872
Madina G. Daudova / Мадина Г. Даудова https://orcid.org/0000-0003-0456-3698

К юбилею Главного редактора научного журнала «Юг России: экология, развитие» Александра Михайловича Шестопалова

For the anniversary of the Editor-in-Chief of the scientific journal “South of Russia: Ecology, Development” Alexander Mikhailovich Shestopalov

Александр Михайлович Шестопалов – крупнейший российский ученый, доктор биологических наук, профессор, руководитель «Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины», руководитель Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт экспериментальной и клинической медицины», основатель научной школы «Экологический полиморфизм и территориальная значимость актуальных зоонозных инфекций: контроль, диагностика, методы профилактики и лечения» родился 11 августа 1957 года в г. Прокопьевск Кемеровской области.

Он является известным вирусологом, изучающим зоонозные инфекции, экологию и патогенез вирусов, вызывающих инфекционные болезни человека и животных.

Среди мировых достижений созданной Александром Михайловичем научной школы – разработка критериев оценки экологической и социальной значимости новых и вновь возникающих вирусных антропозоонозных инфекций; впервые для азиатской части РФ разработаны методики проведения филогеографических исследований синантропных птиц в Центральной Азии; ряд разработок по диагностике РНК-содержащих вирусов.

Александр Михайлович со своими учениками объездил многие регионы мира для исследования путей передачи вирусных инфекций. Полученные им научные результаты имеют огромное значение для медицины и здоровья человека. Под его руководством разрабатываются уникальные диагностические и лечебно-профилактические препараты, методы диагностики вирусов и лечения онкологических заболеваний.

Александром Михайловичем изучены биологические свойства и генетические особенности полученных штаммов вирусов гриппа птиц H5N1 и H1N1pdm09, создана коллекция высокопатогенных штаммов, которая задепонирована в государственные коллекции ФБУН ГНЦ ВБ Вектор (Новосибирск) и НИИ гриппа (Санкт-Петербург).

Благодаря деятельности Шестопалова Александра Михайловича создана также коллекция штаммов вируса болезни Ньюкасла, обладающих онколитическими свойствами и перспективных для создания антираковых препаратов. Штаммы задепонированы в государственные коллекции ФБУН ГНЦ ВБ Вектор (Новосибирск), НИИ вирусологии им. Ивановского (Москва).

Научная деятельность Александра Михайловича получила заслуженное признание не только в России, но и за рубежом. Он активно сотрудничает с зарубежными учеными-вирусологами, под его руководством выполняются крупные международные научные проекты с участием ученых России, Китая, США, Вьетнама, Японии, Кореи, Австрии, Италии, Великобритании, Германии.

Он является членом Европейского общества клинической микробиологии и инфекционных болезней США (International Society for Infectious Diseases). В 2006 году отмечен наградой общества по изучению инфекционных заболеваний.

Александр Михайлович автор 45 патентов на изобретения и полезные модели, 11 федеральных и региональных методических указаний, рекомендаций и регламента. Результаты научных исследований новых и вновь возникающих вирусных зоонозных инфекций обобщены в более чем 400 научных статей, 4 монографии и докторскую диссертацию. Под его руководством защищены 18 докторских и кандидатских диссертаций.

Александр Михайлович активно участвует в формировании экологического, биологического и медицинского образования в ВУЗах России, в подготовке высококвалифицированных специалистов.

Под его руководством ежегодно проводится международная школа молодых ученых «Эпидемиология, эпизоотология, оперативная диагностика инфекций, переносимых дикими птицами».

В знак признания заслуг Александру Михайловичу Шестопалову присуждены звания Заслуженного деятеля науки РФ (2022), Почетного работника науки и высоких технологий Российской Федерации (2020), вручены орден им. Вернадского за достижения в изучении вирусных инфекций (Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского) (2021), Почетная грамота президиума РАН (2017), Почетная грамота Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации (2007).

Шестопалов А.М. – главный редактор журнала «Юг России: экология, развитие» (Scopus, Core Collection Web of Science), член редакционного совета журнала «Вопросы вирусологии», является российским координатором Азиатского отделения Международного орнитологического общества (руководитель отделения – профессор Lei Fumin, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China), член OFFLU (объединенная мировая сеть экспертов OIE и FAO в области гриппа животных), партнер Института микробиологии КАН (Пекин, Китай) в программе «Шелковый путь (One Belt, One Road)».

Как Главный редактор нашего научного журнала «Юг России: экология, развитие», Александр Михайлович активно способствует его развитию и продвижению.

Редакционная коллегия, редакционный совет журнала «Юг России: экология, развитие» и коллектив Института экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета поздравляют прекрасного наставника, замечательного человека Шестопалова Александра Михайловича с юбилеем!

Желаем сибирского здоровья, кавказского долголетия, успехов в образовательной, научной и общественной деятельности и новых свершений! Пусть профессиональные успехи и достижения всегда рождают новые силы, энергию и стремление добиваться желаемого. Пусть Ваши долгожданные желания исполнятся, и в Вашем доме будет мир, гармония, благополучие и приятный уют!

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 Орджоникидзевна, 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 27.12.2022.
Объем 33,25. Тираж 100. Заказ № 60. Формат
70x90⅛. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е