

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



Том 18 № 2 2023

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.18 no. 2 2023

SOUTH OF RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**Главный редактор**

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

Заместители главного редактора

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

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

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

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

Научный редактор

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

Ответственные секретари

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

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

Даудова Мадина Гасан-Гусейновна, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Иванушенко Юлия Юрьевна, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Теймуров Абдугамид Абулхасумович, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Технический редактор

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

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

EDITORIAL BOARD**Editor-in-Chief**

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

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

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

Scientific Editor

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

Editorial Executive Secretaries

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

Nadira O. Guseynova, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

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

Yuliya Yu. Ivanushenko, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

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

Technical Editor

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL COUNCIL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Жигалин А.В., Муташев Б.А., Казаватова А.С., Абдулхаликова Д.М., Насрутдинов Б.У. Фауна позвоночных пещеры Къызташ (Карабудахкентской / Живой) в Республике Дагестан.....	6-14
<u>Оганесян В.С.</u> , Мирумян Л.С., Гаспарян А.С., Аванесян Л.Г., Шогерян С.А., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Арутюнова Л.Д. Влияние климатических изменений на ареалы беспозвоночных (Diptera, Mollusca) Тавушской области Армении.....	15-20

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Савченко О.М., Цыбулько Н.С., Саматадзе Т.Е. Сравнительное изучение представителей различных популяций вида <i>Sedum roseum</i> (L.) Scop. при возделывании в культуре.....	21-32
Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Усманов Р.З., Арсланов М.А., Мусаев М.Р., Баширов Р.Р., Гимбатова К.Б., Абдулаева А.С. Концентрация и запасы азота в почвах и травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия.....	33-43

ЭКОЛОГИЯ ГРИБОВ

Volobuev S.V., Shakhova N.V. First modern findings of red-listed fungus <i>Battarrea phalloides</i> (Agaricales, Basidiomycota) in the Republic of Dagestan, Russia.....	44-52
--	-------

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Валиуллин Л.Р., Скворцов Е.В., Егоров В.И., Алексейко Л.Н., Климович С.В., Памирский И.Э., Артеменко А.Ф., Захаренко А.М., Голохваст К.С. Взаимодействие эндофитных микроорганизмов по отношению к циперметрину.....	53-69
Томашевич Н.С., Сидорова Т.М., Аллахвердян В.В., Асатурова А.М. Изучение метаболитов новых перспективных штаммов бактерий-антагонистов рода <i>Bacillus</i> для повышения эффективности биопрепаратов фунгицидного действия на их основе.....	70-81

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Савинова С.В., Братков В.В., Мурашова И.Д., Ключин П.В., Гусейнова Н.О. Оценка изменения NDVI сельхозугодий Ставропольского края за период активной вегетации в 2020 г. по снимкам среднего пространственного разрешения.....	82-91
Абдулмуталимова Т.О., Рамазанов О.М., Алхасов А.Б., Газалиев И.М. Оценка качества подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевых целях в Республике Дагестан.....	92-101
Скугорева С.Г., Домрачева Л.И., Фокина А.И., Кутявина Т.И., Абдухалилов О.М., Кулаков В.Н., Ашихмина Т.Я. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских парковых почв.....	102-112

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

<u>Пушня М.В.</u> , Балахнина И.В., Кремнева О.Ю., Нестерова (Собина) А.Ю., Снесарева Е.Г. Севооборот как способ увеличения биоразнообразия в агроэкосистемах, регулирования численности вредных фитофагов.....	113-126
Попов И.Б., Кремнева О.Ю., Пачкин А.А., Ермаков Я.С., Лептягин Д.О. Роль посевов подсолнечника в поддержании биоразнообразия перепончатокрылых насекомых в агроценозах Краснодарского края.....	127-139
Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней.....	140-151
Теймуров С.А., Казиев М.-Р.А., Багомаев А.А. Влияние азотных подкормок на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на лугово-каштановой почве.....	152-160

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ И РЕКРЕАЦИЯ

Абасова А.А. К вопросу о развитии религиозного туризма в Республике Дагестан.....	161-167
--	---------

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сайпуллаев У.М., Сайпуллаев М.С. Экологически безопасный способ обеззараживания ооцист кокцидий во внешней среде.....	168-174
--	---------

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Зиядова Д.З., Диева М.Г., Гусейнов А.Э., Гусейнова Н.О. Роль региональной экологической криминологии в эпоху цифровых технологий.....	175-182
--	---------

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

.....	183
-------	-----

ECOLOGY OF ANIMALS

Zhigalin A.V., Mutashev B.A., Kazavatova A.S., Abdulkhalikova D.M., Nasrutdinov B.U.

The vertebrate fauna of the Kyztash Cave (Karabudakhkentskaya / Zhivoy) in the Republic of Dagestan, Russia.....6-14

Hovhannisyan V.S., Mirumyan L.S., Gasparyan A.S., Avanesyan L.G., Shogheryan S.A.,

Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Harutyunova L.D.

The impact of climate changes on the ranges of invertebrates (Diptera, Molluska) in Tavush province of Armenia.....15-20

ECOLOGY OF PLANTS

Savchenko O.M., Tsybulko N.S., Samatadze T.E.

Comparative study of representatives of different populations of *Sedum roseum* (L.) Scop

growing in conditions of field crop rotation.....21-32

Gasarov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Usmanov R.Z., Arslanov M.A.,

Musaev M.R., Bashirov R.R., Gimbatova K.B., Abdulaeva A.S.

Concentration and reserves of nitrogen in soils and plant matter in blocks of grass ecosystems

of the North-Western Precaspian region, Russia.....33-43

ECOLOGY OF FUNGI

Volobuev S.V., Shakhova N.V.

First modern findings of red-listed fungus *Battarrea phalloides* (Agaricales, Basidiomycota)

in the Republic of Dagestan, Russia.....44-52

ECOLOGY OF MICROORGANISMS

Valiullin L.R., Skvortsov E.V., Egorov V.I., Alekseyko L.N., Klimovich S.V.,

Pamirsky I.E., Artemenko A.F., Zakharenko A.M., Golokhvast K.S.

Interaction of endophytic microorganisms with respect to cypermethrin.....53-69

Tomashevich N.S., Sidorova T.M., Allahverdyan V.V., Asaturova A.M.

The study of metabolites of new promising strains of bacterial-antagonists of the genus *Bacillus*

to increase the effectiveness of fungicidal biological products based on them.....70-81

GEOECOLOGY

Savinova S.V., Bratkov V.V., Murashova I.D., Klyushin P.V., Guseynova N.O.

Assessment of changes in the normalized difference vegetation index (NDVI) of farmlands of Stavropol Territory,

Russia, during the period of active vegetation in 2020 based on medium spatial resolution images.....82-91

Abdulmutalimova T.O., Ramazanov O.M., Alhasov A.B., Gazaliev I.M.

The assessment of quality of groundwater used for drinking by the population

of the Republic of Dagestan, Russia.....92-101

Skugoreva S.G., Domracheva L.I., Fokina A.I., Kutyavina T.I., Abdukhalilov O.M.,

Kulakov V.N., Ashikhmina T.Ya.

An integrated approach to assessing the ecological state of urban park soils, Kirov, Russia.....102-112

AGRICULTURAL ECOLOGY

Pushnya M.V., Balakhnina I.V., Kremneva O.Yu., Nesterova (Sobina) A.Yu., Snesareva E.G.

Crop rotation as a way to increase the biodiversity of agroecosystems and regulate the number of phytophages.....113-126

Popov I.B., Kremneva O.Yu., Pachkin A.A., Ermakov Ya.S., Leptyagin D.O.

The role of sunflower crops in maintaining the biodiversity of hymenopterous insects

in agrocenoses of Krasnodar Territory.....127-139

Gvozdeva M.S., Volkova G.V.

The influence of various methods of protection of the winter wheat variety Svarog against

the development of fungal diseases.....140-151

Teymurov S.A., Kaziev M.-R.A., Bagomaev A.A.

The effect of nitrogen fertilisation on the yield and quality of winter wheat grain on meadow-chestnut soil.....152-160

ECOLOGICAL TOURISM AND RECREATION

Abasova A.A.

On the issue of the development of religious tourism in the Republic of Dagestan.....161-167

METHODS OF ENVIRONMENTAL STUDIES

Saipullaev U.M., Saipullaev M.S.

Environmentally friendly disinfection method of coccidia oocysts in the environment.....168-174

GENERAL PROBLEMS

Ziyadova D.Z., Dieva M.G., Guseynov A.E., Guseynova N.O.

The role of regional environmental criminology in the digital age.....175-182

CONTACT INFORMATION

.....183

Оригинальная статья / Original article
УДК 502.45
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-6-14

Фауна позвоночных пещеры Къызташ (Карабудахкентской / Живой) в Республике Дагестан

Александр В. Жигалин^{1,2}, Батыргиши А. Муташев², Аминат С. Казаватова²,
Джамиля М. Абдулхаликова², Борис У. Насрутдинов³

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Министерство природных ресурсов и экологии Республики Дагестан, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Александр В. Жигалин, кандидат биологических наук; заведующий лабораторией, лаборатория мониторинга биоразнообразия, Национальный исследовательский Томский государственный университет; 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36; доцент, кафедра экологии, Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21
Тел. +79832391744

Email alex-zhigalin@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>

Формат цитирования

Жигалин А.В., Муташев Б.А., Казаватова А.С., Абдулхаликова Д.М., Насрутдинов Б.У. Фауна позвоночных пещеры Къызташ (Карабудахкентской / Живой) в Республике Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 6-14. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-6-14

Получена 3 марта 2023 г.

Прошла рецензирование 11 апреля 2023 г.

Принята 27 апреля 2023 г.

Резюме

Цель. Установить роль пещеры Къызташ (Карабудахкентской / Живой) в сохранении биоразнообразия позвоночных в предгорной части востока Северного Кавказа.

Материалы и методы. Изучение литературных данных; ежемесячное обследование пещеры на наличие позвоночных; установление их видовой принадлежности и причин присутствия в пещере; анализ фото- и видеоматериалов, полученных с фотоловушек, установленных внутри пещеры.

Результаты. В ходе анализа литературы и собственных исследований установлено, что в Карабудахкентской пещере неоднократно регистрируется пребывание 8 видов позвоночных, принадлежащих к 2 классам, 3 отрядам, 5 семействам. Из них 5 видов внесены в Красные книги Республики Дагестан и Российской Федерации. Для подковоноса Мегеля пещера служит основным местом зимовки на Северном Кавказе. Помимо этого, в летний период в пещере располагается одна из крупнейших выводковых колоний остроухой ночницы в России.

Заключение. Проведенный комплекс работ позволил дополнить и получить новые сведения, указывающие на ключевую роль пещеры Къызташ (Карабудахкентской / Живой) в жизнедеятельности редких видов позвоночных. Вместе с тем, наблюдается возрастающее антропогенное воздействие, обусловленное увеличением потока туристов в Республику Дагестан. Данное обстоятельство указывает на необходимость придания пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой) статуса памятника природы федерального значения.

Ключевые слова

Позвоночные, рукокрылые, Дагестан, пещера, охрана природы, Кавказ, Chiroptera, conservation nature, Caucasian.

The vertebrate fauna of the Kyztash Cave (Karabudakhkentskaya / Zhivoy) in the Republic of Dagestan, Russia

Alexander V. Zhigalin^{1,2}, Batyrgishi A. Mutashev², Aminat S. Kazavatova²,
Dzhamilya M. Abdulkhalikova² and Boris U. Nasrutdinov³

¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Ministry of Natural Resources and Ecology, Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

Principal contact

Alexander V. Zhigalin, Candidate of Biological Sciences, Head, Laboratory, Biodiversity Monitoring Laboratory, National Research Tomsk State University; 36 Lenina St, Tomsk, Russia, 634050 & Associate Professor, Department of Ecology, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367001.

Tel. +79832391744

Email alex-zhigalin@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>

How to cite this article

Zhigalin A.V., Mutashev B.A., Kazavatova A.S., Abdulkhalikova D.M., Nasrutdinov B.U. The vertebrate fauna of the Kyztash Cave (Karabudakhkentskaya / Zhivoy) in the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 6-14. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-6-14

Received 3 March 2023

Revised 11 April 2023

Accepted 27 April 2023

Abstract

Aim. To establish the role of the Karabudakhkentskaya Cave in the conservation of vertebrate biodiversity in the foothills part of the east of the North Caucasus.

Materials and Methods. The study of literature data. Monthly inspection of the cave for the presence of vertebrates, to establish their species and to determine the reasons for their presence in the cave. Analysis of photo and video materials obtained from camera traps installed inside the cave.

Results. During the analysis of the literature and our own research, it was found that the presence of 8 vertebrate species belonging to 2 classes, 3 orders and 5 families is repeatedly registered in the Karabudakhkent Cave. Of these, 5 species are listed in the Red Book of the Russian Federation and the Republic of Dagestan. For the horseshoe-bearing Megel, the cave serves as the main wintering place in the North Caucasus. In addition, during the summer period, one of the largest brood colonies of the Sharp-eared Moth in Russia is located in the cave.

Conclusion. The complex of works carried out made it possible to supplement and obtain new information indicating the key role of the Karabudakhkentskoi Cave in the vital activity of rare vertebrate species. At the same time, there is an increasing anthropogenic impact caused by an increase in the flow of tourists to the Republic of Dagestan. These circumstances indicate the need to give the Karabudakhkentskaya Cave the status of a Natural Monument of Federal Significance.

Key Words

Protected areas, bats, Dagestan, cave, nature conservation, Caucasus, Chiroptera, conservation nature, Caucasian.

ВВЕДЕНИЕ

Биоразнообразие пещер представляет особый интерес ввиду того, что в них формируются уникальные биоценозы. Каждая пещера уникальна по своим геоморфологическим, микроклиматическим и, следовательно, экологическим условиям. Интерес к изучению живых объектов в пещерах привел к тому, что в настоящее время существуют специализированные научные журналы, входящие в международные базы цитирования, которые полностью посвящены подземной биологии, как например журнал «Subterranean Biology».

Изучение биоразнообразия пещер зачастую приводит к тому, что им придают статус ООПТ. Так, например, на территории Северокавказского Федерального округа на март 2023 г. статус ООПТ имеет 20 пещер. Из многочисленных пещер Республики Дагестан статус ООПТ имеет только две: пещера Дюрк в Табасаранском районе и пещера Асатинская в Хунзахском районе.

На фоне возрастающего в последние годы потока туристов в Республику Дагестан, нами проведены исследования пещеры Къызташ (Карабудахкентская / Живая) [1], как одной из наиболее известных, доступных и посещаемых в Республике [2]. Настоящие исследования были направлены на выявление роли подземного укрытия в жизнедеятельности популяций позвоночных животных, в том числе внесенных в региональную и федеральную Красные книги.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первичные данные об использовании позвоночными пещеры получены при изучении опубликованных научных материалов.

Обследование пещеры Къызташ (Карабудахкентской / Живой), расположенной близ с. Карабудахкент (42.669388, 47.542576), выполнялось с лета 2020 г. по апрель 2023 г. При посещении подземного укрытия фиксировалось наличие позвоночных животных (видовая и половая принадлежность, количество особей).

С ноября 2022 г. в пещере были установлены две фотоловушки: у входа и в центральной части пещеры.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных данных и собственные исследования показали, что в исследуемой пещере встречаются следующие виды позвоночных:

1. Закавказский полоз *Zamenis hohenackeri* (Strauch, 1873). Нами этот вид отмечен 25 июля 2022 г. у входа в пещеру. Одна особь была мертва, вторая располагалась близ боковой стены (рис. 1). Вид внесен в Красные книги Республики Дагестан [3] и РФ [4].

2. Подковонос Мегеля *Rhinolophus mehelyi* Matschie, 1901 (рис. 2). Первые литературные данные о расположении в пещере зимней колонии этого вида рукокрылых представлены З.М. Амирхановым [5; 6]. В дальнейшем это подтверждали другие исследователи [7; 8]. Нами данный вид регистрировался на протяжении всех лет наблюдений с ноября по апрель. Максимальная численность наблюдается весной, когда

насчитывается до 1500 особей. На данный момент это единственная известная зимняя колония этого вида в России. Вид внесен в Красные книги Республики Дагестан [3] и РФ [4].

3. Подковонос большой *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) (рис. 3). Впервые отмечен в пещере З.М. Амирхановым [5]. В дальнейшем это подтверждали другие исследователи [7; 8]. Нами вид отмечается ежегодно с сентября по май в количестве до 10 особей. Вид внесен в Красные книги Республики Дагестан [3] и РФ [4].

4. Подковонос малый *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800). Первое упоминание об этом виде в пещере приводится в 2005 г. [7]. Нами этот вид отмечался в августе и сентябре 2021 г. и 2022 г. в количестве 3–5 особей. Отсутствие вида в другие месяцы может указывать на то, что малый подковонос использует данное укрытие в период миграций. Вид внесен в Красные книги Республики Дагестан [3] и РФ [4].

5. Ночница остроухая *Myotis blythii* (Tomes, 1857) (рис. 4). В Зоологическом музее МГУ присутствуют экземпляры, добытые в этой пещере в 1978 г. [7]. В дальнейшем этот вид регистрировали регулярно [9]. Литературные данные и наши материалы указывают на то, что остроухая ночница формирует в пещере выводковую колонию в период с мая по сентябрь. Общее количество особей достигает 2000 особей, что делает ее одной из крупнейших в России. Вид внесен в Красные книги Республики Дагестан [3] и РФ [4].

6. Ушан горный *Plecotus macrobullaris* Kuzyakin, 1965. Нами вид отмечен в пещере единожды 10 октября 2022 г. В центральной части пещеры на стене вдали друг от друга располагались две особи. В последующем животные не регистрировались.

7. Кавказская мышь *Apodemus ponticus* Sviridenko, 1936. Представители этого вида регистрировались весь период использования фотоловушек (рис. 5). Видовая идентификация была реализована после отлова животных давилками Геро.

8. Семейство Землеройковые *Soricidae* G. Fischer, 1817. Как и мыши, отмечаются регулярно на снимках с фотоловушек (рис. 6).

9. Шакал *Canis aureus* Linnaeus, 1758. Регистрировался регулярно у входа и в центральной части пещеры на снимках с фотоловушек (рис. 7).

Как отмечалось ранее большинство видов, отмеченных в пещере, занесены в Красные книги и при этом имеют разные природоохранные статусы (табл. 1). Если на глобальном уровне согласно Красной книге МСОП [10] состояние большинства видов вызывает наименьшее опасение, то на федеральном и региональном уровне ситуация более критична.



Рисунок 1. Закавказский полоз *Zamenis hohenackeri* в пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой)
Фото А.В. Жигалина

Figure 1. Transcaucasian ratsnake *Zamenis hohenackeri* in the Kyztash Cave (Karabudakhkentskaya / Zhivoy)
Photo A.V. Zhigalin



Рисунок 2. Подковонос Мегеля *Rhinolophus mehelyi* в пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой)
Фото Б.А. Муташева

Figure 2. Mehely's horseshoe bat *Rhinolophus mehelyi* in Kyztash Cave (Karabudakhkentskaya / Zhivoy)
Photo B. A. Mutashev



Рисунок 3. Подковонос большой *Rhinolophus ferrumequinum* в пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой)
Фото Б.А. Муташева

Figure 3. Greater horseshoe bat *Rhinolophus ferrumequinum* in Kyztash Cave (Karabudakhkentskoy / Zhivoy)
Photo B. A. Mutashev



Рисунок 4. Ночница остроухая *Myotis blythii* в пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой)
Фото А.В. Жигалина

Figure 4. Lesser mouse-eared bat *Myotis blythii* in Kyztash Cave (Karabudakhkentskoy / Zhivoy)
Photo A.V. Zhigalin



Рисунок 5. *Apodemus ponticus* в пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой)
Figure 5. *Apodemus ponticus* in Kyztash Cave (Karabudakhkentskoy / Zhivoy)

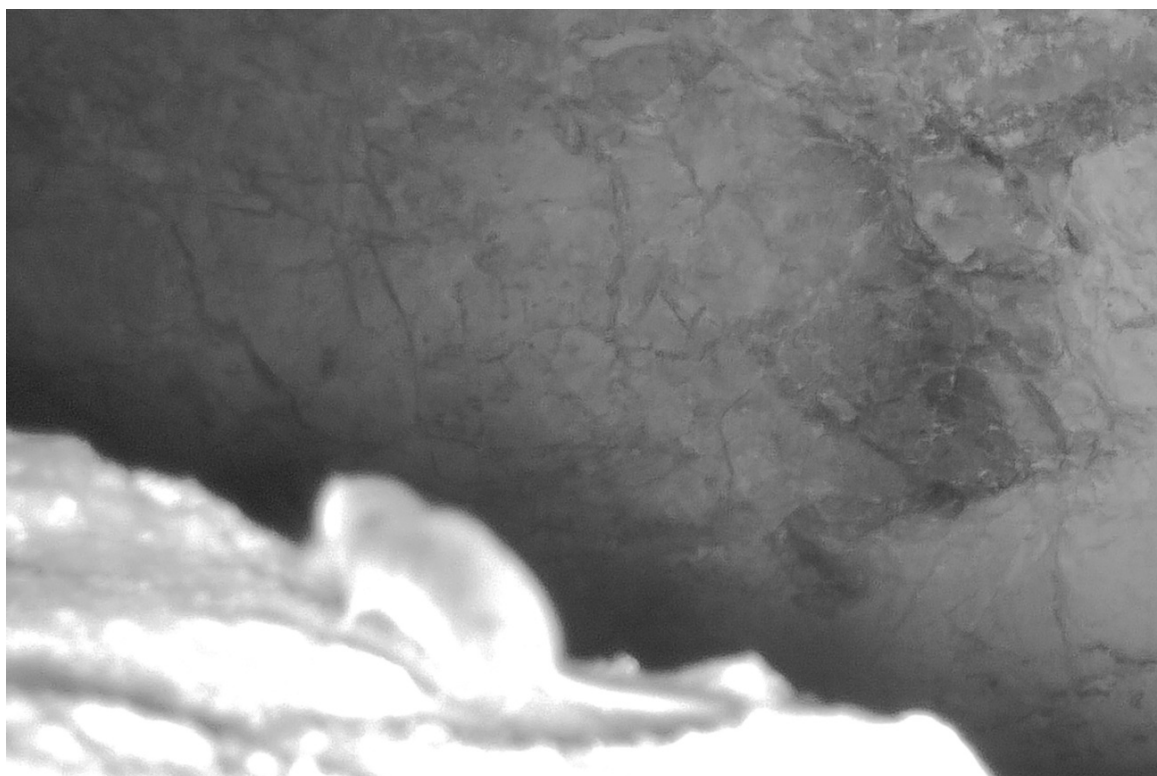


Рисунок 6. Представитель землеройковых *Soricidae* в пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой)
Figure 6. *Soricidae* in Kyztash Cave (Karabudakhkentskoi / Zhivoy)



Рисунок 7. Шакал *Canis aureus* в пещере Къызташ (Карабудахкентской / Живой)

Figure 7. *Canis aureus* in Kyztash Cave (Karabudakhkentskoy / Zhivoy)

Таблица 1. Природоохранный статус редких видов позвоночных, обитающих в пещере Къызташ (Карабудахкентская / Живая)

Table 1. Conservation status of rare vertebrate species living in Kyztash Cave (Karabudakhkentskoi / Zhivoy)

Вид Species	Красная книга МСОП Red List IUSN	Красная книга Российской Федерации Red Book of the Russian Federation	Красная книга Республики Дагестан Red Book of the Republic of Dagestan
<i>Zamenis hohenackeri</i>	LC – вызывающий наименьшее опасение LC – Least Concern	2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид 2 – species declining in number and/or distribution	2(VU). Сокращающийся в численности вид, находящийся в уязвимом положении 2(VU). Declining species in a vulnerable position
<i>Rhinolophus mehelyi</i>	VU – уязвимый VU – Vulnerable	2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид 2 – species declining in number and/or distribution	1(CR). Исчезающий вид, находящийся под угрозой полного вымирания 1(CR). An endangered species under threat of complete extinction
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	LC – вызывающий наименьшее опасение LC – Least Concern	2 – сокращающийся в численности и/или распространении вид 2 – species declining in number and/or distribution	2(VU). Сокращающийся в численности вид, находящийся в уязвимом положении 2(VU). Declining species in a vulnerable position
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	LC – вызывающий наименьшее опасение LC – Least Concern	3 – редкий вид 3 – rare species	3(NT). Редкий вид, находящийся в состоянии, близком к уязвимому положению 3(NT). Rare species in a state close to a vulnerable position
<i>Myotis blythii</i>	LC – вызывающий наименьшее опасение LC – Least Concern	3 – редкий вид 3 – rare species	3(NT). Редкий вид, находящийся в состоянии, близком к уязвимому положению 3(NT). Rare species in a state close to a vulnerable position

Анализ лимитирующих факторов для всех редких видов, представленных выше, указывает на особую роль человека. Обусловлено это тем, что многие люди

испытывают неприязнь к змеям и рукокрылым, и это приводит к прямому уничтожению последних. Учитывая, что внутри пещеры животные находятся в

непосредственной близости от человека, они становятся особенно уязвимы.

Помимо умышленного уничтожения в отношении рукокрылых возможно и непреднамеренное. Сжигание мусора, курение сигарет и использование факелов внутри подземных укрытий приводит к изменению газового состава воздуха, что может приводить к массовой гибели животных, находящихся в гибернации [11].

Одной из мер охраны подземных укрытий животных и, в частности, рукокрылых является установка преград для человека в виде решеток [12]. Они позволяют полностью контролировать посещение укрытий и следить за поведением людей внутри них. Вместе с тем, важнейшим фактором охраны биоразнообразия пещеры служит ее признание ООПТ, что находит свою поддержку во мнении авторов-составителей Красной книги РФ [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всего в пещере Кызташ (Карабудахкентской / Живой) зарегистрировано 8 видов позвоночных, относящихся к 2 классам, 3 отрядам и 5 родам. Представители семейства *Soricidae* не идентифицированы до вида. Из 8 видов позвоночных 5 внесены в Красные книги Республики Дагестан и РФ. Пещера имеет ключевое значение в сохранении подковоноса Мегели и ночницы остроухой.

Таким образом, учитывая, что пещера Кызташ (Карабудахкентская / Живая) служит местообитанием редких видов позвоночных, и, вместе с тем, является важным рекреационным объектом, который ежегодно посещают тысячи туристов, считаем необходимым придать ей статус ООПТ, а на входе установить преграду для посещения людей.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Экспедиционные работы в 2022 г. и установка фотоловушек выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-24-00617. Экспедиционные работы в 2023 г. и камеральная обработка данных, включая анализ материалов с фотоловушек, выполнен при поддержке Российского научного фонда № 22-74-00047, <https://rscf.ru/project/22-74-00047/>.

ACKNOWLEDGEMENT

The expedition work in 2022 and the installation of camera traps was carried out with the support of the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 22-24-00617. Expedition work in 2023 and in-house data processing, including analysis of materials from camera traps, was carried out with the support of the Russian Science Foundation No. 22-74-00047, <https://rscf.ru/project/22-74-00047/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусендибиров Д.С. Крупные пещеры Предгорного Дагестана // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2012. № 1. С. 90–94.
2. Камалова Т.А., Магомедбеков Г.У., Нажмутдинова С.А., Абдуллаев Н.А. Проблемы и перспективы устойчивого развития туристско-рекреационного комплекса Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2017. № 2. С. 213–228. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-2-213-228

3. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала: Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. 800 с.
4. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. Москва: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
5. Амирханов З.М. О зимовке подковоносов Мегели (*Rhinolophus mehelyi* Matschie) в Дагестане // Материалы 1 Всесоюзного совещания по рукокрылым, Ленинград, 6–9 февраля, 1974. С. 91–92.
6. Амирханов З.М. Размещение рукокрылых в Дагестане // Рукокрылые (Chiroptera). Москва: Наука, 1980. С. 63–69.
7. Газарян С.В., Джамирзоев Г.С. Итоги и перспективы изучения хироптерофауны Дагестана // Материалы международной конференции «Млекопитающие горных территорий», Москва, 4–9 сентября, 2005. С. 49–57.
8. Смирнов Д.Г., Вехник В.П., Джамирзоев Г.С. Предварительные данные о зимовках рукокрылых в Дагестане: места находок и экологические особенности // *Plecotus et al.* 2021. № 24. С. 3–17.
9. Газарян С. В. Остроухая ночница *Myotis blythii* (Vespertilionidae, Myotinae) на российском Кавказе // *Plecotus et al.* 2017. № 20. С. 30–53.
10. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. URL: <https://www.iucnredlist.org> (дата обращения: 05.04.2023)
11. Хританков А.М., Жигалин А.В. Немного истории и некоторые итоги изучения рукокрылых в заповеднике «Столбы» // Труды государственного заповедника «Столбы». 2016. Вып. 20. С. 179–205.
12. Mitchell-Jones A.J., Bihari Z., Masing M., Rodrigues L. Protecting and managing underground sites for bats. Eurobat Publication Series. № 2. UNEP/Eurobat secretariat, Bonn, Germany. 2007. 38 p.

REFERENCES

1. Gusendibirov D.S. Large caves of Foothill Dagestan. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [News of Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences]. 2012, no. 1, pp. 90–94. (In Russian)
2. Kamalova T.A., Magomedbekov G.U., Nazhmutdinova S.A., Abdullaev N.A. Problems and prospects of sustainable development of the tourist and recreational complex of the Republic of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*, 2017, no. 2, pp. 213–228. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2017-2-213-228
3. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [The Red Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, Jamaludinov M.A. Publ., 2020, 800 p. (In Russian)
4. *Krasnaya kniga Rossijskoi Federatsii, tom «Zhivotnye», 2-oe izdanie* [Red Book of the Russian Federation, volume "Animals". 2nd edition]. Moscow, FSBI "Research Institute of Ecology" Publ., 2021, 1128 p. (In Russian)
5. Amirhanov Z.M. O zimovke podkononosov Megeli (*Rhinolophus mehelyi* Matschie) v Dagestane [About wintering of horseshoe beetles of Megeli (*Rhinolophus mehelyi* Matschie) in Dagestan] *Materialy 1 Vsesoyuznogo soveshchaniya po rukokrylym, Leningrad, 6–9 fevralya, 1974* [Materials of the 1st All-Union Meeting on bats, Leningrad, 6-9 february 1974]. Leningrad, 1974, pp. 91–92. (In Russian)
6. Amirhanov Z.M. *Razmeshchenie rukokrylykh v Dagestane* [Placement of bats in Dagestan]. In: *Rukokrylye (Chiroptera)* [Bats (Chiroptera)]. Moscow, Nauka Publ., 1980, pp. 63–69. (In Russian)
7. Gazaryan S.V., Dzhamirzoev G.S. Itogi i perspektivy izucheniya khropterofauny Dagestana [Results and prospects of studying the chiroptero fauna of Dagestan]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Mlekopitayushchie gornyykh territorii», Moskva, 4–9 sentyabrya, 2005* [Proceedings of the

international conference "Mammals of mountainous territories", Moscow, 4-9 September 2005]. Moscow, 2005, pp. 49–57. (In Russian)

8. Smirnov D.G., Vechnik V.P., Jamirzoev G.S. Preliminary data on bat wintering in Dagestan: places of finds and ecological features. *Plecotus et al.*, 2021, no. 24, pp. 3–17. (In Russian)

9. Gazaryan S. V. The sharp-eared moth *Myotis blythii* (Vespertilionidae, Myotinae) in the Russian Caucasus. *Plecotus et al.*, 2017, no. 20, pp. 30–53. (In Russian)

10. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. Available at: <https://www.iucnredlist.org> (accessed 05.04.2023)

11. Khritankov A.M., Zhigalin A.V. Nemnogo istorii i nekotorye itogi izucheniya rukokrylykh v zapovednike «Stolby» [A little history and some results of the study of bats in the Stolby Nature Reserve]. In: *Trudy gosudarstvennogo zapovednika «Stolby»* [Proceedings of the «Stolby» State Nature Reserve]. 2016, iss. 20, pp. 179–205. (In Russian)

12. Mitchell-Jones A. J., Bihari Z., Masing M., Rodrigues L. Protecting and managing underground sites for bats. Eurobat Publication Series N 2. UNEP/Euribat secretariat, Bonn, Germany, 2007, 38 pp.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр В. Жигалин, Батыргиши А. Муташев проводили обследование пещер. Джамиля М. Абдулхаликова и Борис У. Насрутдинов изучали фото- и видеоматериалы с фотоловушек. Аминат С. Казаватова корректировала рукопись до подачи в редакцию. Написание рукописи статьи выполнено Александром В. Жигалиным. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander V. Zhigalin, Batyrgishi A. Mutashev conducted caves survey. Dzhamilya M. Abdulkhalikova and Boris U. Nasrutdinov studied photo and video materials from camera traps. Aminat S. Kazavatova corrected the manuscript before submission to the editor. The manuscript of the article was written by Alexander V. Zhigalin. 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

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

Батыргиши А. Муташев / Batyrgishi A. Mutashev <https://orcid.org/0000-0002-6078-9002>

Аминат С. Казаватова / Aminat S. Kazavatova <https://orcid.org/0009-0002-7151-0617>

Джамиля М. Абдулхаликова / Dzhamilya M. Abdulkhalikova <https://orcid.org/0009-0004-7079-2530>

Борис У. Насрутдинов / Boris U. Nasrutdinov <https://orcid.org/0009-0009-3001-2575>

Оригинальная статья / Original article
УДК 551.583
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-15-20

Влияние климатических изменений на ареалы беспозвоночных (Diptera, Mollusca) Тавушской области Армении

Варужан С. Оганесян¹, Людмила С. Мирумян¹, Армен С. Гаспарян², Людмила Г. Аванесян², Сирине А. Шогерян², Мадина З. Магомедова³, Патимат Д. Магомедова³, Лаура Д. Арутюнова¹

¹Научный центр зоологии и гидроэкологии, Национальная Академия Наук Республики Армения, Ереван, Республика Армения

²Армянский государственный педагогический университет им. Х. Абовяна, Ереван, Республика Армения

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Лаура Д. Арутюнова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН РА; 0014 Республика Армения, г. Ереван, ул. П. Севака, 7. Тел. +37410281510
Email zool_laura@yahoo.com
ORCID <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>

Формат цитирования

Оганесян В.С., Мирумян Л.С., Гаспарян А.С., Аванесян Л.Г., Шогерян С.А., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Арутюнова Л.Д. Влияние климатических изменений на ареалы беспозвоночных (Diptera, Mollusca) Тавушской области Армении // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 15-20. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-15-20

Получена 18 марта 2023 г.
Прошла рецензирование 20 апреля 2023 г.
Принята 27 апреля 2023 г.

Резюме

Цель. Целью работы является изучение видового состава беспозвоночных (Insecta, Mollusca) Тавушской области и изменения их ареалов под влиянием климатических условий.

Материал и методы. Материалом послужили собственные сборы, проведенные в 2021–2022 гг. в разных пунктах Тавушской области Армении, а также коллекции беспозвоночных Института зоологии НЦЗГЭ. Сбор и определение двукрылых насекомых и моллюсков проводился по общепринятым методикам. Работа выполнена в Институте зоологии НЦЗГЭ. Научный материал хранится в коллекционном фонде НЦ.

Результаты. В результате исследований видового состава беспозвоночных к настоящему времени для Тавушской области приводятся 28 видов слепней (Tabanidae); 27 видов галлиц-фитофагов (Cecidomyiidae), 10 видов моллюсков. В результате изменения климата в сторону потепления, для 6-и видов слепней *S. (N.) caucasicus*, *Ch. (H.) f. flavipes*, *Ch. ludens*, *T. unifasciatus*, *T. indrae vappa*, *T. miki*; 4-х видов галлиц-фитофагов – *A. verbasci*, *D. tortrix*, *S. euphorbiae*, *R. terminalis*; 1-го вида моллюска *H. buchi* отмечены новые локалитеты. Указанные виды расширили ареал обитания: у слепней наблюдаются изменения ареала по вертикальной зональности.

Заключение. В результате проведенных исследований выявлено, что в связи с изменением климата, ареалы некоторых видов беспозвоночных – слепней, галлиц-фитофагов, моллюсков по сравнению с данными прошлых лет, расширились. Все виды, у которых наблюдается прямая зависимость изменения ареала от климатических условий могут в дальнейшем рассматриваться как биондикаторы на изменения климата.

Ключевые слова

Изменение климата, расширение ареала, беспозвоночные, слепни, галлицы, моллюски, Тавушская область.

The impact of climate changes on the ranges of invertebrates (Diptera, Molluska) in Tavush province of Armenia

Varuzhan S. Hovhannisyan¹, Lyudmila S. Mirumyan¹, Armen S. Gasparyan², Lyudmila G. Avanesyan², Sirine A. Shogheryan², Madina Z. Magomedova³, Patimat D. Magomedova³ and Laura D. Harutyunova¹

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

²Armenian State Pedagogical University, Yerevan, Armenia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Laura D. Harutyunova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia; 7, st. P. Sevak, Yerevan, Republic of Armenia 0014. Tel. +37410281510

Email zool_laura@yahoo.com

ORCID <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>

How to cite this article

Hovhannisyan V.S., Mirumyan L.S., Gasparyan A.S., Avanesyan L.G., Shogheryan S.A., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Harutyunova L.D. The impact of climate changes on the ranges of invertebrates (Diptera, Molluska) in Tavush province of Armenia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 15-20. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-15-20

Received 18 March 2023

Revised 20 April 2023

Accepted 27 April 2023

Abstract

Aim. The work's aim is to study the species composition of invertebrates (Insecta, Molluska) of the Tavush province of Armenia and changes of their ranges due to climatic conditions.

Material and Methods. Our own collections of 2021–2022 from different areas of the Tavush province and the collections of invertebrates of the Scientific Centre of Zoology and Hydroecology served as study material. The collection and identification of dipterous insects and mollusks was carried out according to generally accepted methods. The work was performed at the Scientific Centre of Zoology and Hydroecology. The scientific material is stored in the collection fund of the Scientific Centre.

Results. As a result of our studies of invertebrate species composition, 28 species of horseflies (Tabanidae) are currently listed for the Tavush region: 27 species of phytophagous gall midges (Cecidomyiidae) and 10 species of mollusks. As a result of warming climate change new changes of locality have been registered for: 6 horsefly species *S. (N.) caucasicus*, *Ch. (H.) f. flavipes*, *Ch. ludens*, *T. unifasciatus*, *T. indrae vappa*, *T. miki*; 4 phytophagous gall midge species *A. verbasci*, *D. tortrix*, *S. euphorbiae*, *R. terminalis*; For one species of mollusk, *H. buchi*, there are new localities. All these species have expanded their habitat: in horseflies, changes in the range along vertical zonality are observed.

Conclusions. As a result of this research, it was revealed that as a consequences of climate change, the ranges of some species of invertebrates – horseflies, gall midges-phytophages and mollusks – have expanded compared to the data of previous years. All species in which there is a direct dependence of range change on climatic conditions can be further considered as bioindicators of climate change.

Key Words

Climate change, range expansion, invertebrates, horseflies, gall midges, mollusks, Tavush province.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно информации, предоставленной ГНКО «Центром гидрометеорологии и мониторинга» Министерства окружающей среды Республики Армения, в январе 2021 г. среднемесячная температура воздуха в значительной части районов была выше нормы на 1–2 градуса [1], а в 2022 г. была выше нормы на 2–4 градуса [2].

Общеизвестно, что изменение климата выражается не только в повышении температуры, экстремальных погодных явлениях, но также в смене популяций диких животных и их мест обитания. Климат в изучаемой нами Тавушской области умеренный, с умеренно жарким летом и мягкой зимой. Средне-

довая температура в южных районах области составляет 6–7°C. Зимой морозы умеренные, средняя температура в январе -5°C. В летние месяцы здесь умеренно жарко (32°C).

Расположенная на северо-востоке Республики Армения Тавушская область находится на высоте от 900 до 1400 м над уровнем моря, административный центр – г. Иджеван (рис. 1). Рельеф представляет собой скалистые горные склоны с обилием водных объектов, самая крупная из которых река Агстев. Половина территории покрыта девственными лесами, которые растут высоко на склонах гор, и где в изобилии водятся различные представители фауны.

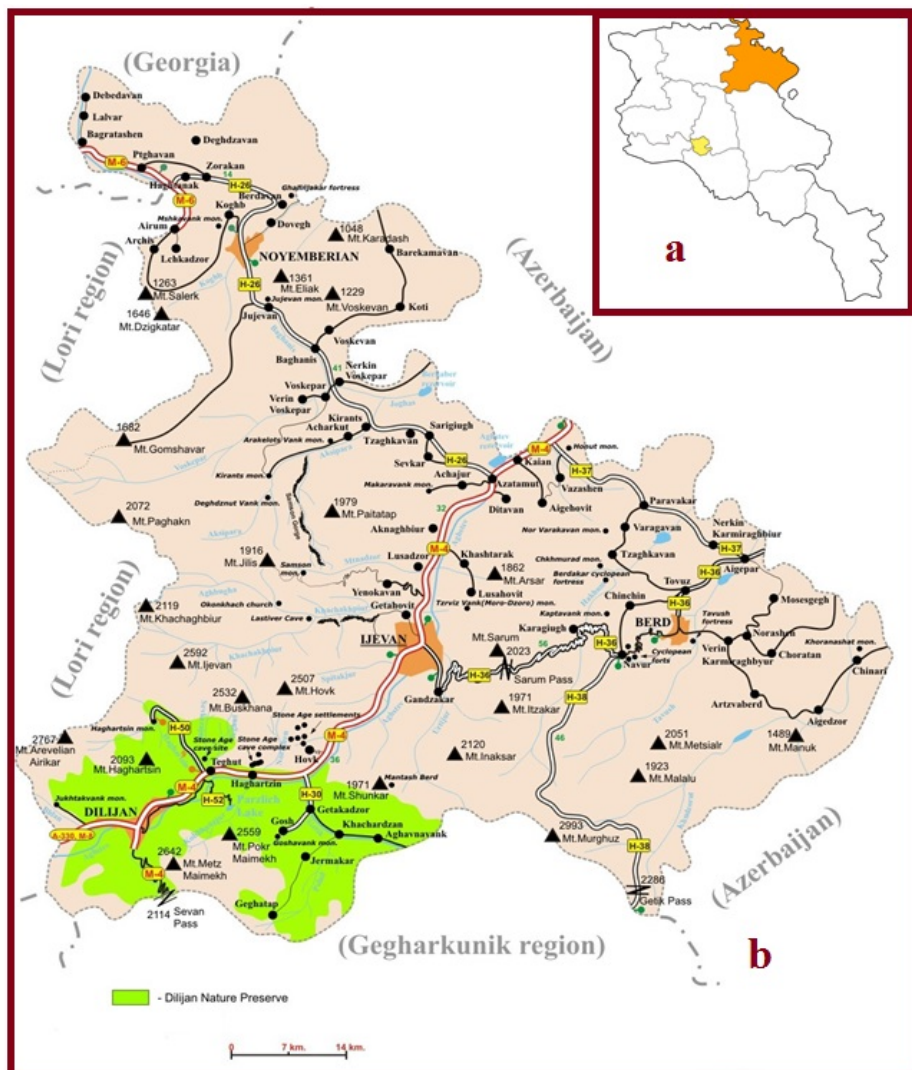


Рисунок 1. Карта Армении (а) и Тавушской области (б)

Figure 1. Map of Armenia (a) and Tavush province (b)

Целью работы является изучение видового состава беспозвоночных (Insecta, Mollusca) Тавушской области и изменения их ареалов под влиянием существующих климатических условий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате исследований из разных пунктов Тавушской области: Дилижанский Национальный парк, сс. Гош, Агарцин, Парз-лич, Тала, Ластивер, Лусаовит, Гетаовит, Гандзакар (Верин Агдан) (табл. 1), в течение 2021–2022 гг., собраны беспозвоночные животные:

слеппи, галлицы-фитофаги, моллюски. Материалом послужили собственные сборы, а также коллекции по насекомым и моллюскам Института зоологии НЦЗГЭ РА. Сбор и определение двукрылых насекомых и моллюсков проводился по общепринятым методикам: слеппи [3; 4]; галлицы [5; 6], моллюски [7; 8].

Работа выполнена в Научном Центре зоологии и гидроэкологии НАН Республики Армения.

Научный материал хранится в коллекционном фонде Института зоологии НЦЗГЭ.

Таблица 1. Координаты и высота точек сбора
Table 1. Coordinates and altitude of collection points

Место сбора Collection area	Координаты Coordinates	Высота н.у. моря Height ASL
Дилижанский Национальный парк Dilijan National Park	40°43'48.62"C 44°55'7.76"B	1978 м/м
с. Гош / v. Gosh	40°43'48.76"C 44°59'40.98"B	1265 м/м
с. Агарцин / v. Haghartsin	40°48'6.39"C 44°53'27.05"B	1429 м/м
с. Парз-лич / v. Parz-lich	40°45'5.16"C 44°57'36.09"B	1347 м/м
с. Тала / v. Tala	40°52'46.12"C 45° 8'40.87"B	786 м/м
с. Ластивер / v. Lastiver	40°54'12.84"C 45° 3'40.47"B	1130 м/м
с. Лусаовит / v. Lusahovit	40°54'55.89"C 45°11'15.71"B	932 м/м
с. Гетаовит / v. Getahovit	40°53'42.23"C 45° 8'16.39"B	770 м/м
с. Гандзакар (Верин Агдан) v. Gandzaqar (Verin Aghdan)	40°50'14.41"C 45° 9'32.01"B	888 м/м
с. Дитаван / v. Ditavan	40°58'46.45"C 45°11'57.70"B	770 м/м

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Под влиянием меняющихся климатических условий меняется также экологическая среда: ее состав и размеры ареалов. В результате проведенных исследований нами установлено, что в связи с изменением климата, ареалы некоторых видов беспозвоночных: слепней, галлиц, моллюсков по сравнению с данными прошлых лет расширились.

Слепни (*Diptera, Tabanidae*)

В результате исследований, проведенных в 2021–2022 гг. в Тавушской области было обнаружено 28 видов слепней: *Silvius (Nemorius) caucasicus* Ols, 1937; *Chrysops caecutiens* Linne, 1758; *Chrysops (S.str.) c. ludens* Loew, 1858; *Chrysops (Heterochrysops) flavipes flavipes* Mg., 1804; *Haematopota subcylindrica* Ndelle, 1883; *Philipomyia aprica* Mg. 1820; *Hybomitra (s.str.) caucasica* Enderl., 1925; *Hybomitra (Mauchaemyia.) caucasi* Szil., 1923; *Atylotus (s.str.) fulvus* Mg., 1820; *Tabanus bifarius bifarius* Lw., 1858; *Tabanus guatuornotatus guatuornotatus* Mg., 1820; *Tabanus cordiger* Mg., 1820; *Tabanus miki* Br. 1880; *Tabanus indrae indrae* Haus., 1939; *Tabanus indrae vappa* Bog. et Sam., 1949; *Tabanus bromius bromius* L., 1761; *Tabanus bromius flavefemeratus* Strobl., 1908; *Tabanus hauseri* Ols., 1967; *Tabanus gestinus* Egg., 1859; *Tabanus shelkovnikovi* Param., 1933; *Tabanus prometheus* Szil., 1923; *Tabanus semiargenteus* Ols., 1937; *Tabanus portschinskii* Ols., 1937; *Tabanus olsufjevi* Haus., 1960; *Tabanus spectabilis* Lw., 1858; *Tabanus atropathenicus* Ols., 1937; *Tabanus unifasciatus* Loew, 1858; *Theriopterus tricolor tricolor* Szil., 1842.

Из вышеуказанных слепней для 6 видов *Silvius (Nemorius) caucasicus*, *Chrysops (Heterochrysops) flavipes*, *Chrysops ludens*, *Tabanus unifasciatus*, *Tabanus indrae vappa*, *Tabanus miki* отмечены новые локалитеты. В связи с изменением климата слепни видов *Silvius (Nemorius) caucasicus* и *Chrysops ludens*, которые обычно встречаются на высотах до 1700 м н. у. м., выявлены на высотах до 2000 м н. у. м. Слепни *Tabanus indrae vappa*, *Tabanus miki*, *Tabanus unifasciatus*, *Chrysops (Heterochrysops) flavipes flavipes*, встречающиеся на высотах 700–1100 м н. у. м., довольно в больших количествах обнаружены на высоте до 2000 м н. у. м.

Следовательно, у слепней наблюдается расширение ареала в сторону вертикальной зональности.

Галлицы-фитофаги (*Diptera: Cecidomyiidae*)

Ранее из Тавушской области Армении было известно 19 видов галлиц-фитофагов [9]. За последние годы – 2021–2022 гг., в результате проведенных исследований, из разных точек Тавушской области: Дилижанский Национальный парк (1978 м н. у. м.), сс. Гош (1265 м н. у. м.), Агарцин (1429 м н. у. м.), Гетаовит (770 м н. у. м.), Тала (786 м н. у. м.), Лусаовит (932 м н. у. м.) было собрано еще 8 видов – число видов галлиц-фитофагов достигло 27: *Aschistonyx carpinicolus* Rübsaamen, 1917; *Asphondylia pruniperda* Rondani, 1867; *Asphondylia verbasci* (Vallot, 1827); *Cephalatomyia capituli* Skuhrová et Karimpour, 2017; *Contarinia cilicrus* (Kieffer, 1889); *Contarinia baeri* (Prell, 1931) *Contarinia medicaginis* (Kieffer, 1904); *Dasineura acrophila* (Winnertz, 1853); *Dasineura bayeri* (Rübsaamen, 1914); *Dasineura foliumcrispans* (Rübsaamen, 1889); *Dasineura leguminicola* (Linthier, 1879); *Dasineura rosae* (Bremi, 1847); *Dasineura traili* (Kieffer, 1909); *Dasineura tortrix* (Löw, 1877); *Hartigola annulipes* (Hartig, 1839); *Jaapiella circicola* (Rübsaamen, 1915); *Jaapiella volvens* Rübsaamen, 1917; *Macrodiplosis pustularis* (Bremi, 1817); *Mikiola fagi* (Hartig, 1839); *Mikiola orientalis* Kieffer, 1908; *Obolodiplosis robiniae* (Haldeeman, 1847), *Oligotrophus* sp., *Phegomyia fagicola* (Kieffer, 1901); *Rabdophaga salicis* (Schränk, 1803); *Rabdophaga terminalis* (Loew, 1850); *Spurgia euphorbiae* (Vallot, 1827); *Zygiobia carpini* (Loew, 1874), из них 4 вида – *Cephalatomyia capituli*, *Mikiola orientalis*, *Obolodiplosis robiniae*, *Oligotrophus* sp. являются новыми для фауны Армении [10; 11; 12]; для 4-х видов – *Asphondylia verbasci*, *Dasineura tortrix*, *Rabdophaga terminalis*, *Spurgia euphorbiae* указываются новые локалитеты.

Все отмеченные виды галлиц развиваются на растениях из семейств (Rosaceae), (Scrophulariaceae), (Corylaceae), (Lamiaceae), (Fabaceae), (Pinaceae), (Oleaceae), (Brassicaceae), (Boraginaceae), (Ranunculaceae), (Fagaceae), (Salicaceae), (Betulaceae) характерных для указанных мест.

В связи с изменением климата ареалы некоторых видов галлиц расширились. В северных областях Армении появились виды, которые ранее были известны из более засушливых районов Армении. Виды *Asphondylia verbasci*, *Dasineura tortrix*, *Spurgia euphorbiae*, *Rabdophaga terminalis* встречаются, в основном, в ксерофитных растительных формациях Араратской равнины и ее предгорьях, а для Тавушской области, с ее влажным климатом, в основном, характерны мезофильные растительные сообщества. Известно, что ареалы видов галлиц, в связи с их высокой специализацией, тесно связаны с ареалами их кормовых растений [5]. Таким образом, для видов *Asphondylia verbasci*, *Dasineura tortrix*, *Rabdophaga terminalis*, *Spurgia euphorbiae* указываются новые локалитеты, следовательно, в связи с потеплением климата, ареалы этих видов расширились.

Моллюски (Molluska)

В Тавушской области в селах Лусаовит, Тала, Агарцин, были собраны 10 видов моллюсков: *Pomatias rivulare* Eichwald, 1829; *Truncatellina cylindrica* (Ferussac, 1807); *Orcula dolium* (Brugulère, 1792); *Pupilla interrupta* (Reinhardt, 1876); *Lauria cilindracea* (Da Costa, 1878); *Naraeopsis hohenackeri* (L. Pfeiffer, 1848); *Jaminia*

pupoides (Krynicky, 1833); *Xeropicta derbentina* (Krynicky, 1836); *Euomphalia røvergieri* (Férussac, 1836); *Helix buchi* (Dubois de Montpereux, 1839). Из них вид *H. buchi* в Армении был известен только из одного пункта – село Верин Агдан (ныне с. Гандзакар) [7; 8; 13]. В связи с климатическими изменениями моллюск *Helix buchi* Dubois de Montpereux, 1839 (рис. 2) расширил ареал, поскольку был обнаружен в других пунктах Тавушской области – с. Агарцин (1429 м н. у. м.), с. Лусаовит (932 м н. у. м.), с. Дитаван (772 м н. у. м.), с. Тала (786 м н. у. м.).

Семейство Helicidae

Род *Helix* Linnaeus, 1758

Вид *Helix buchi* Dubois de Montpereux, 1839 (рис. 2)

Описание: Раковина шаровидно-кубареvidная с тупым низко коническим завитком, светло желтая, с 5 бледно – коричневыми полосами. Оборотов 4 ¼, последний оборот очень сильно вздут, устье очень большое (высота 34–41 мм), коротко овальное, косое. Высота раковины 46–50 мм, ширина 47–52 мм, реже – высота 54 мм, ширина 60 мм.

Распространение: от Артвина (северо-восточная Турция) через Грузию (кроме Абхазии) до Армении [7].



Рисунок 2. Моллюск *Helix buchi*: а – вид со стороны устья, б – вид с обратной стороны

Figure 2. Mollusk *Helix buchi*: a – shell opening view, b – back view

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени для Тавушской области Армении указываются 28 видов слепней, 27 видов галлиц-фитофагов, 10 видов моллюсков. В Тавушской области в связи с изменением климата в сторону потепления, беспозвоночные животные: 6 видов слепней – *Silvius (Nemorius) caucasicus*, *Chrysops (H.) f. flavipes*, *Chrysops ludens*, *Tabanus unifasciatus*, *Tabanus indrae vappa*, *Tabanus miki*; 4 вида галлиц-фитофагов *Asphondylia verbasci*, *Dasineura tortrix*, *Spurgia euphorbiae*, *Rabdophaga terminalis* и один вид моллюска *Helix buchi*, который в Армении был известен только из одного пункта с. Гандзакар (Верин Агдан), расширили ареал обитания. У слепней наблюдается расширение ареала в сторону вертикальной зональности: слепни видов *Silvius (Nemorius) caucasicus* и *Chrysops ludens*, которые обычно встречаются на высотах до 1700 м н. у. м., выявлены на высотах 2000–2100 м н. у. м., слепни *Tabanus indrae vappa*, *Tabanus miki*, *Tabanus unifasciatus*, *Chrysops (Heterochrysops) flavipes flavipes* встречающиеся на высотах 700–1100 м н. у. м. довольно в больших количествах обнаружены на высоте 2000 м н. у. м.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что в связи с изменением

климата, ареалы некоторых видов беспозвоночных: слепней, галлиц-фитофагов, моллюсков, по сравнению с данными прошлых лет, расширились. Все вышеуказанные виды, у которых наблюдается прямая зависимость изменения (расширения) ареала от климатических условий могут в дальнейшем рассматриваться как биоиндикаторы изменения климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Социально-демографический сектор. Statistical Committee of the Republic of Armenia. URL: https://armstat.am/file/article/sv_01_21r_580.pdf (дата обращения: 16.02.2023)
2. Социально-демографический сектор. Statistical Committee of the Republic of Armenia. URL: https://armstat.am/file/article/sv_04_22r_590.pdf (дата обращения: 18.02.2023)
3. Скуфын К.В. Методы сбора и изучения слепней. Ленинград: Наука, 1973. 104 с.
4. Оганесян В. С., Тертерян А. Е. Устройство для ловли реофильных и гемигидробионтных личинок слепней (Diptera, Tabanidae) // Биологический журнал Армении. 1986. Т. 39. N 7. С. 620–622.
5. Мамаев Б.М. Эволюция галлообразующих насекомых-галлиц. Ленинград: Наука, 1968. 236 с.

6. Коломоец Т.П., Мамаев Б.М., Зерова М.Д., Нарчук Э.П., Ермоленко В.М., Дьякончук Л.А. Насекомые-галлообразователи культурных и дикорастущих растений европейской части СССР. Киев: Наукова думка, 1989. 166 с.
7. Акрамовский Н.Н. Фауна Армянской ССР. Изд. Акад. наук Арм. ССР. Ереван, 1976. 267с.
8. Лихарев И.М., Раммельмейер Е.С. Наземные моллюски фауны СССР. Изд. Акад. наук СССР. Москва-Ленинград, 1952. 511 с.
9. Mirumian L. Phitophagous gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Armenia // Acta Societatis Zoologicae Bohemicae. 2011. V. 75. P. 87–106.
10. Gubin A.L. For invasive alien phitophagus insects new to Armenia // *Phytoparasitica*. 2021. V. 49. P. 163–166. DOI: 10.1007/s12600-020-00853-0
11. Mirumian L., Skuhravá M. The gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Armenia. 2. New records of occurrence // Acta Societatis Zoologicae Bohemicae. 2021. V. 85. P. 23–34.
12. Mirumian L., Skuhravá M. New records of two gall midge species (Diptera: Cecidomyiidae) from Armenia // Acta Societatis Zoologicae Bohemicae. 2022. V. 85. P. 67–69.
13. Aleksandr Syssoev, Anatoly Scnileyko. Land snails and slugs of Russia and anjacent countries. Sofia-Moscow. 2009. P. 1–312.

REFERENCES

1. Socio-demographic sector. Statistical Committee of the Republic of Armenia. Available at: https://armstat.am/file/article/sv_01_21r_580.pdf (accessed 16.02.2023)
2. Socio-demographic sector. Statistical Committee of the Republic of Armenia. Available at: https://armstat.am/file/article/sv_04_22r_590.pdf (accessed 18.02.2023)
3. Skufyin K.V. *Metody sbora i izuchenia slepney* [Methods of collection and studying of horseflies]. Leningrad, Nauka Publ., 1973, 104 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Варужан С. Оганесян проводил определение собранного материала по слепням (Diptera, Tabanidae) и анализ научных результатов. Людмила С. Мирумьян проводила определение собранного материала по галлицам (Diptera, Cecidomyiidae) и анализ полученных данных. Армен С. Гаспарян проводил определение видового состава растений. Людмила Г. Аванесян и Сирина А. Шогерян собрали и обработали собранный материал. Лаура Д. Арутюнова, Мадина З. Магомедова и Патимат Д. Магомедова проводили определение собранного малакофаунистического материала и проанализировали полученные данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

4. Hovhannisyan V.S., Terteryan A.E. New construct for the catching of horseflies (Diptera, Tabanidae). *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological Journal of Armenia]. 1986, vol. 39, no. 7, pp. 620–622. (In Russian)
5. Mamaev B.M. *Evolutsia galloobrazuyushikh nasekomikh-gallits* [Evolution of gall-forming gall midges]. Leningrad, Nauka Publ., 1968, 236 p. (In Russian)
6. Kolomoets T.P., Mamaev B.M., Zerova M.D., Narchuk E.P., Yermolenko V.M., Dyakonchuk L.A. *Nasekomie-galloobrazovateli kulturnikh i dikorastushchikh rasteniy evropeiskoi chasti SSSR* [Gall-forming insects of cultivated and wild growing plants of the European part of the USSR]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989, 166 p. (In Russian)
7. Akramovskiy N.N. *Molluski. Fauna Armianskoi SSR* [Mollusks. Fauna of the Armenian SSR]. Yerevan, AS ASSR Publ., 1976, 267 p. (In Russian)
8. Likharev I.M., Rammelmeyer E.S. *Nazemnyye molluski fauny SSSR* [Terrestrial mullusks of the fauna of the USSR]. Moscow, Leningrad, AS USSR Publ., 1952, 511p. (In Russian)
9. Mirumian L. Phitophagous gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Armenia. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 2011, vol. 75, pp. 87–106.
10. Gubin A.L. For invasive alien phitophagus insects new to Armenia. *Phytoparasitica*, 2021, vol. 49, pp. 163–166. DOI: 10.1007/s12600-020-00853-0
11. Mirumian L., Skuhravá M. The gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Armenia. 2. New records of occurrence. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 2021, vol. 85, pp. 23–34.
12. Mirumian L., Skuhravá M. New records of two gall midge species (Diptera: Cecidomyiidae) from Armenia. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 2022, vol. 85, pp. 67–69.
13. Syssoev A., Scnileyko A. Land snails and slugs of Russia and anjacent countries. Sofia, Moscow. 2009, vol. 87, pp. 1–312.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Varuzhan S. Hovhannisyan carried out the determination of the collected material on horseflies (Diptera, Tabanidae) and analysis of the scientific results. Ludmila S. Mirumyan carried out the determination of the collected material on gall-midges (Diptera, Cecidomyiidae) and analysis of the data obtained. Armen S. Gasparyan carried out the determination of the species composition of plants. Lyudmila G. Avanesyan, Sirine A. Shogheryan undertook collection and processing of collected material. Laura D. Harutyunova, Madina Z. Magomedova and Patimat D. Magomedova carried out the determination of the collected malacofaunistic material and the analysis of the obtained data obtained. 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

Варужан С. Оганесян / Varuzhan S. Hovhannisyan <http://orcid.org/0000-0002-1029-8379>
 Людмила С. Мирумьян / Lyudmila S. Mirumyan <http://orcid.org/0000-0003-2821-9795>
 Армен С. Гаспарян / Armen S. Gasparyan <http://orcid.org/0000-0002-9498-0761>
 Людмила Г. Аванесян / Lyudmila G. Avanesyan <http://orcid.org/0000-0002-1419-821X>
 Сирина А. Шогерян / Sirine A. Shogheryan <http://orcid.org/0000-0001-7298-9581>
 Мадина З. Магомедова / Madina Z. Magomedova <https://orcid.org/0000-0001-8425-1664>
 Патимат Д. Магомедова / Patimat D. Magomedova <https://orcid.org/0000-0001-6072-1094>
 Лаура Дж. Арутюнова / Laura D. Harutyunova <https://orcid.org/0000-0001-7814-6577>

Оригинальная статья / Original article
УДК: 633.8:631.52+581.522.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-21-32

Сравнительное изучение представителей различных популяций вида *Sedum roseum* (L.) Scop. при возделывании в культуре

Ольга М. Савченко¹, Наталья С. Цыбулько¹, Татьяна Е. Саматадзе²

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), Москва, Россия

²Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН, Москва, Россия

Контактное лицо

Ольга М. Савченко, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР); 117216 Россия, г. Москва, ул. Грина, 7. Тел. +74957120963
Email nordfenugreek@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3054-1719>

Формат цитирования

Савченко О.М., Цыбулько Н.С., Саматадзе Т.Е. Сравнительное изучение представителей различных популяций вида *Sedum roseum* (L.) Scop. при возделывании в культуре // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 21-32. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-21-32

Получена 31 мая 2022 г.

Прошла рецензирование 20 сентября 2022 г.

Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. Сравнительное изучение исходного материала четырех популяций родиолы розовой *Sedum roseum* (L.) Scop., относящихся к различным эколого-географическим зонам происхождения и оценка их пригодности для выращивания в условиях Нечерноземной зоны РФ.

Материалы и методы. Изучались: культивируемая популяция ВИЛАР (Алтай, 1980), культивируемая популяция из ботанического сада СГУ им. Питирима Сорокина (Сыктывкар, республика Коми), интродуцированная популяция из г. Кировск, ПАБСИ, культивируемая популяция ботанического сада г. Инсбрук, Австрия.

Результаты. Проведено морфологическое описание образцов; продуктивность сырья и семян, определены основные биологические и кариологические особенности изучаемых популяций. Результаты проведенных исследований позволили выявить популяции родиолы, характеризующиеся высокой: А и D и низкой зимостойкостью: В и С. Установлена высокая продуктивность корней и корневищ на IV году жизни у популяций С и А (30–31 г), а по содержанию действующих веществ (фенилпропаноидов) у популяции В (Коми) – 5,4%. Установлены числа хромосом ($2n=22$) и проведен их морфометрический анализ, составлены формулы кариотипов исследуемых популяций родиолы. Хромосомный анализ с использованием C/DAPI-дифференциального окрашивания показал, что в кариотипах не выявлены хромосомные аномалии, что свидетельствует об их стабильности.

Заключение. Морфологическая изменчивость указывает на экологическую пластичность исследуемых популяций, что свидетельствует о перспективности их возделывания в полевых условиях.

Ключевые слова

Родиола розовая, популяции, фенология, биоморфологические показатели, хромосомы, кариотип.

Comparative study of representatives of different populations of *Sedum roseum* (L.) Scop growing in conditions of field crop rotation

Olga M. Savchenko¹, Natalia S. Tsybulko¹ and Tatiana E. Samatadze²

¹All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR), Moscow, Russia

²V.A. Engelhardt Institute of Molecular Biology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Principal contact

Olga M. Savchenko, Candidate of Sciences (Agriculture), Leading Researcher, Laboratory of Agrobiology, All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR); 7 Grina St, Moscow, Russia 117216.

Tel. +74957120963

Email nordfenugreek@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3054-1719>

How to cite this article

Savchenko O.M., Tsybulko N.S., Samatadze T.E. Comparative study of representatives of different populations of *Sedum roseum* (L.) Scop growing in conditions of field crop rotation. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 21-32. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-21-32

Received 31 May 2022

Revised 20 September 2022

Accepted 6 February 2023

Abstract

Aim. Comparative study of the source material of four populations of *Sedum roseum* (L.) Scop. belonging to different ecological and geographical zones of origin and assessment of their suitability for cultivation in the conditions of the non-chernozem zone of the Russian Federation.

Materials and methods. The following populations were studied: the cultivated population of VILAR (Altai, 1980), the cultivated population of the Botanical Garden of Pitirim Sorokin Syktyvkar State University (Syktyvkar, Komi Republic), an introduced population from Kirovsk, N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute and a cultivated population of Innsbruck Botanical Garden, Austria.

Results. Morphological description of the samples was carried out and the productivity of raw materials and seeds and the main biological and karyological features of the populations studied were determined. The results of made it possible to identify *Rhodiola* populations characterized by high winter hardiness (A and D) and low winter hardiness (B and C). A high productivity of roots and rhizomes in the fourth year of life in populations C and A (30–31 g) was established, and in terms of the content of active substances (phenylpropanoids) in population B (Komi) – 5.4%. The numbers of chromosomes (2n=22) were determined and their morphometric analysis was carried out and formulas of karyotypes of the *Rhodiola* populations studied were compiled. Chromosomal analysis using C/DAPI-differential staining showed that no chromosomal abnormalities were detected in the karyotypes, which indicates their stability.

Conclusion. Morphological variability indicates the ecological plasticity of the populations studied, which indicates the prospects for their field cultivation.

Key Words

Golden root, populations, phenology, biomorphological indicators, chromosomes, karyotype.

ВВЕДЕНИЕ

Родиола розовая *Sedum roseum* (L.) Scop. – уникальное лекарственное растение семейства Толстянковые (Crassulaceae), редкий и охраняемый вид. Сырье родиолы розовой является источником для получения стимулирующих и адаптогенных лекарственных препаратов. Дикорастущие запасы родиолы розовой практически сведены к минимуму и не обеспечивают растущие потребности в сырье этой культуры [1].

Родиола розовая произрастает на территории Северной Америки, России, Монголии, Китая, Великобритании, Ирландии, в Альпах, в Пиренеях и Карпатах. Для этих экологических зон характерен холодный и умеренный климат [2]. Дизъюнктивный ареал этого растения на территории России представлен южно-сибирским, дальневосточным, северо-восточно-сибирским, восточно-сибирско-арктическим, арктическим, таймырским и уральским фрагментами. В Европе вид представлен многочисленной серией рас и разновидностей. Дифференциация морфологических признаков является результатом гибридизации растений, также морфологические признаки сильно варьируют в зависимости от происхождения и произрастания растений, поэтому разновидности следует рассматривать в рамках одного вида [3; 4].

В условиях культуры биологические и фенологические особенности растения изучались в Московской области [5; 6], на Алтае [7], в Республике Коми [4], Республике Мари-Эл [8], Поволжье [9], в Якутии [10], в Башкирии [11]. Лишь некоторые из выше перечисленных авторов затрагивали в своих работах (кроме биологических особенностей) особенности морфологии и биохимии растений из разных популяций, произрастающих в одинаковых условиях культивирования [3; 4].

Установлено, что основным числом хромосом для большинства видов родиолы является $2n=22$ [12–15]. Для родиолы розовой, как высоко полиморфного циркумбореального вида основное число хромосом в кариотипе составляет также $2n=22$ [16]. Однако, в популяциях внутри этого вида могут встречаться различные хромосомные расы (цитотипы) растений ($2n=16$; $2n=33$; $2n=36$), отличающиеся как числом хромосом, местом произрастания растений, так и характерными морфологическими признаками [15; 17].

На раннем этапе селекционных работ целесообразно, помимо отбора перспективных форм растений, использовать также метод первичного хромосомного анализа, основывающийся на определении числа хромосом в кариотипе. Число хромосом является первым цитологическим признаком, непосредственно связанным с эволюцией вида, так как именно через него в первую очередь отражаются все события, происходящие в эволюции вида: полиплоидизация, гибридизация, структурные преобразования хромосом, которые затем влияют на адаптационные способности организмов. Поэтому кариологический анализ является ценным инструментом и входит в разряд широко используемых методов в селекции, что позволяет решать многие спорные вопросы систематики, филогении, генезиса флоры [18; 19].

Цель исследований – оценка образцов различных популяций родиолы розовой по биологи-

морфологическим признакам, а также изучение их кариологических особенностей при возделывании в Нечерноземной зоне РФ (НЧЗ РФ).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнительного изучения особенностей растений из разных мест обитания проводили их биологическое и морфологическое описание. Для описания использовали по 10 растений из каждой популяции, которые по возрастному состоянию относились к молодым генеративным особям [20; 21].

Почва участка дерново-подзолистая, тяжёлая суглинистая. Гумус (по Тюрину) – 2,23%, массовая доля азота нитратов – <2,80 млн-1, массовая доля соединений фосфора (по Кирсанову) P_2O_5 – 386,28 мг/кг, K_2O – 87,7 мг/кг (по Масловой), pH солевой – 5,15.

Опыт закладывали трехмесячной рассадой по схеме 60 × 30 см, по 25–30 шт. растений каждого образца в 2016–2018 гг. В связи с тем, что семена родиолы розовой характеризуются глубоким морфобиологическим типом покоя, перед посевом семена стратифицировались при температуре 0–2°C в течение 40 суток. После проведения стратификации проводился посев семян для рассады. Трехмесячная рассада высаживалась на постоянное место на полевой участок.

Сравнение родиолы розовой из разных популяций проводили на IV году жизни, когда растения отвечают требованиям по содержанию действующих веществ и массе подземной части [1; 5; 22]. Биометрические учеты проводили в 2019–2021 гг., в третьей декаде мая, когда растения находились в фазе массового цветения [21]; Растения оценивались по датам наступления основных фенологических фаз и по их продолжительности, по устойчивости к биотическим и абиотическим факторам, по сырьевой продуктивности подземной части и накоплению биологически активных веществ (фенилпропаноидов). Учитывалась семенная продуктивность растений [20; 21; 23].

Для определения биопродуктивности растения выкапывали в конце октября. Подземную часть отмывали от почвы, нарезали на отрезки 2–4 см, сушили в проветриваемом помещении в течение пяти дней при температуре 25°C, затем при температуре 40°C. Количественное определение фенилпропаноидов в сырье родиолы розовой (в пересчете на удельный коэффициент поглощения гидроксирозина) определяли спектрофотометрическим методом, разработанным в ВИЛАР для данной культуры [24].

Предобработку и приготовление хромосомных препаратов, анализ метафазных пластинок проводили по описанному ранее методикам приготовления и окрашивания (C-, OR-, FPG-, DAPI-бэндинги) хромосом: предобработка корневой меристемы в водном растворе 10–20 мкг/мл бромистого этидия в течение 12–24 ч при последующем окрашивании 1%-ным раствором ацетоорсеина в 45%-ной уксусной кислоте [25]. Просмотр препаратов, отбор метафазных пластинок и их анализ проводили с помощью флуоресцентного микроскопа Olimpus BX61, снабженного черно-белой ПЗС (прибор с зарядовой связью) камерой CoolSnap (Roper Scientific Inc., США). Анализировали не менее 15 выбранных метафазных пластинок с хорошим разбросом хромосом. Идентификацию хромосом в кариотипах проводили по рисунку окрашивания с

учетом морфологии и в соответствии с цитологической классификацией [26]. Полученные изображения обрабатывали, используя программы хромосомного анализа [25].

Популяциям родиолы присвоены следующие обозначения: А – культивируемая популяция ВИЛАР (происхождение – Алтай, 1980); В – культивируемая популяция из ботанического сада Сыктывкарского

Государственного университета им. Питирима Сорокина (Сыктывкар, республика Коми); С – интродуцированная популяция (происхождение – Полярный Урал, 1981), культивируемая в условиях г. Кировск, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина; D – культивируемая популяция ботанического сада г. Инсбрук, Австрия (рис. 1).

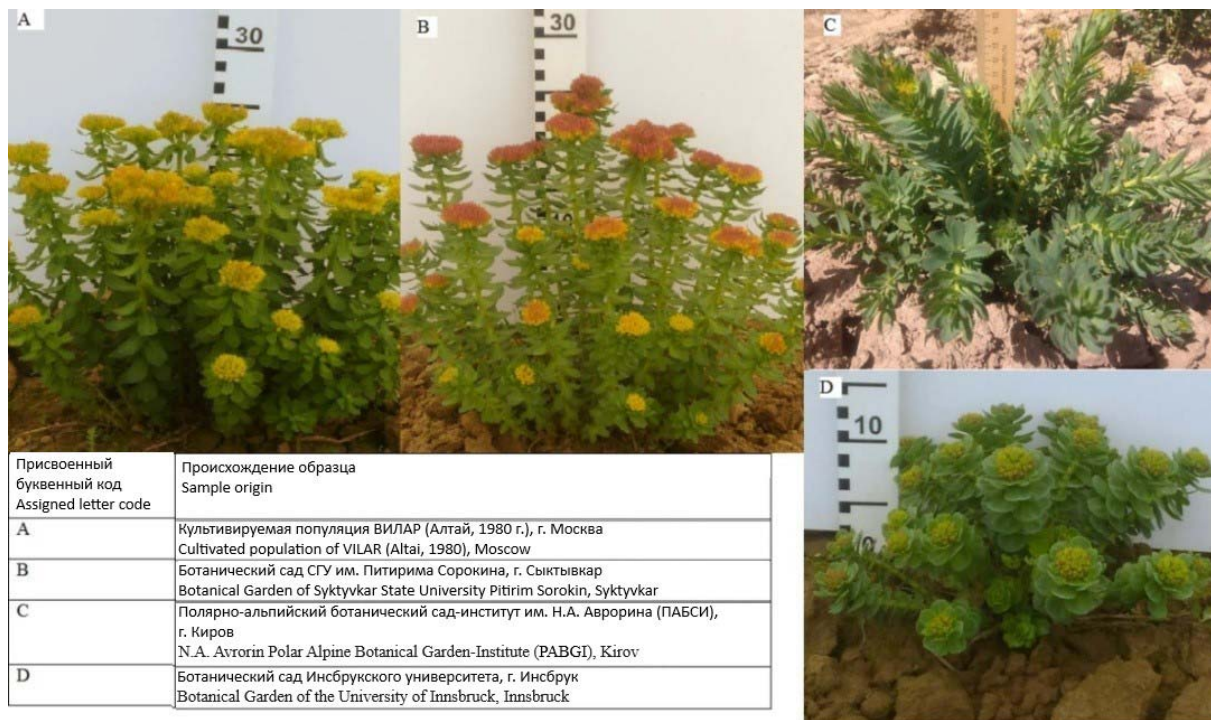


Рисунок. 1. Общий вид четырех исследуемых популяций родиолы розовой. Фото О.М. Савченко
Figure 1. A common form of the four studied populations of a golden root. Photo by O.M. Savchenko

Выбор представителей из данных регионов обусловлен тем, что изначально предполагалось изучение большего числа растений из мест их обитания или возделывания. Однако растения, полученные из Польши, Франции, Германии и Канады, а также из некоторых ботанических садов РФ оказались: а) сильно восприимчивы к поражению почвенными патогенами в ювенильной стадии развития; б) подвержены поражению мучнистой росой при возделывании; в) в значительной степени вымерзают или выпревают (не отличались высокой зимостойкостью и морозостойкостью); г) присланные семена имели нулевую или низкую всхожесть.

Проведена статистическая обработка данных с применением программ MS Excel 2010. Внутрипопуляционная изменчивость биоморфологических признаков вычислялась с использованием коэффициента вариации (CV, %). Сравнение средних значений проведено по t-критерию Стьюдента (на 5% уровне значимости). В таблицах приведены среднеарифметические значения измеряемых величин со средней квадратической ошибкой [27].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях НЧЗ РФ растения родиолы розовой отрастают рано весной, сразу после таяния снежного покрова. Отрастание происходит во второй половине апреля и продолжается в зависимости от температуры окружающей среды от 11 до 18 суток. Бутонизация

начинается в третьей декаде апреля у популяций ВИЛАР и Коми и продолжается от 3 до 8 суток. У популяции из ПАБСИ бутонизация начинается в первой декаде мая и имеет продолжительность 4–9 суток. У популяции из Австрии бутонизация отмечается 10 мая, в течение 7 суток. Цветение продолжается около двух недель. Плодоношение начинается не раньше второй половины мая, а созревание семян продолжается от 30 до 40 суток. В природных условиях из-за короткого периода вегетации родиола розовая формирует одну генерацию моноциклических побегов [28]. Растения родиолы, перенесенные из природных местообитаний, при благоприятных условиях формируют две генерации побегов: весеннюю (май) и летнюю (июль–август). Формирование побегов второй генерации зависит от погодных условий июня–июля. При сухой и жаркой погоде рост и развитие побегов замедляется преимущественно у растений родиолы розовой из северных границ ареала [3]. В нашем эксперименте растения родиолы розовой из ПАБСИ и из Австрии не сформировывали побеги второй генерации. Растения из ВИЛАР и Коми образовывали генеративные побеги второй генерации, цвели, но семена не завязывались. Продолжительность вегетационного периода зависит от условий года наблюдения и продолжается от 149 до 202 суток. Конец вегетации наступает после наступления отрицательных температур. В предыдущих исследованиях было установлено, что сроки наступления фенологических фаз и развитие растений родиолы

розовой определяются водно-температурным режимом [3–6].

Популяция А. Растение вертикальное, средней высоты (17–23 см), имеется антоциановое окрашивание первой трети побега; листья средней длины и средней ширины, не имеют антоцианового окрашивания и сизого налета, обратнойцевидные, зубчатые около верхушки; соцветие среднего диаметра, плотное, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Состав популяции: ♂ – 40%, ♀ – 45%, обоеполые – 15%. Зимостойкость 90% (рис. 1).

Популяция В. Растение вертикальное, средней высоты (25–30 см), имеется антоциановое окрашивание первой трети побега; листья средней длины и средней ширины, имеют антоциановое окрашивание, не имеют сизого налета, обратнойцевидные, зубчатые: около верхушки или отсутствует; соцветие среднего диаметра, рыхлое, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Плоды-многолистки имеют антоциановое окрашивание. Состав популяции: ♂ – 30%, ♀ – 45%, обоеполые – 25%. Зимостойкость 70%. Растения подвержены выпреванию (рис. 1).

Популяция С. Растение полураскидистое, средней высоты (20–25 см), имеется антоциановое окрашивание первой трети побега; листья средней длины и средней ширины, не имеют антоцианового окрашивания и сизого налета, обратнойцевидно-удлиненные, зубчатые около верхушки и в средней части; соцветие маленькое, рыхлое, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Плоды-многолистки имеют антоциановое окрашивание. Состав популяции: ♂ – 35%,

♀ – 15%, обоеполые – 50%. Зимостойкость 75%. Растения подвержены выпреванию (рис. 1)

Популяция D. Растение полураскидистое, низкое (<20 см), отсутствует антоциановое окрашивание первой трети побега; имеется сизый налет на стеблях; листья средней длины, широкие, отсутствует антоциановое окрашивание, имеется интенсивный сизый налет, обратнойцевидные, зубчатые около верхушки; соцветие крупное, плотное, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Состав популяции: ♂ – 0%, ♀ – 90%, обоеполые – 10%. Зимостойкость 90% (рис. 1).

В ходе многолетних исследований на взрослых растениях родиолы розовой исследуемых популяций не наблюдалось вредителей и болезней.

Измерения высоты вегетативных и генеративных (с учетом соцветий) побегов показали, что по этому признаку во все годы растения составляли следующий ряд по убыванию высоты: В→А→С→D. Максимальную высоту генеративных побегов имели растения группы В, а минимальную – D. Габитус растений группы D заметно компактнее, чем у прочих. Известно, что высота генеративных побегов может находиться в прямой зависимости от условий произрастания родиолы розовой. Эти различия сохраняются и при выращивании растений в культуре. Минимальные значения характерны для образцов из альпийского экотопа [4]. По количеству генеративных побегов в расчете на одно растение, группа D превосходила остальные группы на 23–39%. Анализ побегообразования показывает, что растения австрийской популяции превосходили популяции из ВИЛАР (из Алтая), из Коми и арктические (табл. 1).

Таблица 1. Изменчивость морфологических признаков растений родиолы розовой IV года жизни из разных регионов в среднем за 2019–2021 гг.

Table 1. Variability of morphological features of golden root plants of 4th year of life from different regions on average for 2019–2021

Параметры / Parameters	Значение Significance	Популяция / Population			
		A	B	C	D
Высота генеративного побега, см Height of the generative shoot, cm	$X_{\min}-X_{\max}$	17-23	25-30	20-25	15-18
	$M \pm m$	21±1,6	28±2,0	22±2,0	16±1,3
	Cv	20,8	21,6	20,9	15,2
Число генеративных побегов, шт. Number of generative shoots, units.	$X_{\min}-X_{\max}$	11-18	10-14	10-13	16-20
	$M \pm m$	14±1,7	13±1,5	11±1,5	18±1,7
	Cv	22,3	20,9	18,6	13,6
Число вегетативных побегов, шт. Number of vegetative shoots, units.	$X_{\min}-X_{\max}$	3-6	4-8	7-11	2-5
	$M \pm m$	4±0,8	6±1,0	9±1,5	3±0,7
	Cv	20,4	19,5	15,0	11,9
Число листьев на генеративном побеге, шт. Number of leaves on a generative shoot, pcs.	$X_{\min}-X_{\max}$	34-39	32-39	27-36	25-30
	$M \pm m$	36±2,8	36±2,4	31±2,2	28±2,0
	Cv	19,3	18,7	21,7	18,5
Длина листа из нижней части побега, см Length of leaf from lower part of shoot, cm	$X_{\min}-X_{\max}$	1,0-1,2	1,2-1,4	1,8-2,7	0,8-1,2
	$M \pm m$	1,1±0,06	1,5±0,09	2,0±0,08	1,0±0,06
	Cv	8,2	13,9	27,4	12,0
Ширина листа из нижней части побега, см Width of leaf from bottom of shoot, cm	$X_{\min}-X_{\max}$	0,6-0,9	0,7-1,0	0,5-0,8	1,2-1,8
	$M \pm m$	0,8±0,01	0,9±0,02	0,6±0,01	1,6±0,08
	Cv	18,0	22,3	28,6	25,1
Длина листа из средней части побега, см Length of leaf from middle part of shoot, cm	$X_{\min}-X_{\max}$	1,5-2,0	1,6-2,0	2,0-3,0	2,4-2,7
	$M \pm m$	1,8±0,07	1,7±0,07	2,4±0,09	2,6±0,11
	Cv	21	26	31,6	12

Ширина листа из средней части побега, см	$X_{\min}-X_{\max}$	0,7-1,0	0,6-1,0	0,4-0,8	1,0-1,6
	$M \pm m$	0,8 $\pm$ 0,04	0,7 $\pm$ 0,02	0,5 $\pm$ 0,01	1,4 $\pm$ 0,08
Width of the leaf from middle part of shoot, cm	Cv	16,5	19,7	23,3	15,8
Длина листа из верхней части побега, см	$X_{\min}-X_{\max}$	1,8-2,4	1,8-2,2	2,2-3,1	2,5-3,3
	$M \pm m$	2,1 $\pm$ 0,12	2,0 $\pm$ 0,10	2,6 $\pm$ 0,11	2,7 $\pm$ 0,09
Length of leaf from upper part of shoot, cm	Cv	25,0	34,5	28,6	22,4
Ширина листа из верхней части побега, см	$X_{\min}-X_{\max}$	0,7-1,0	0,7-1,0	0,4-0,7	1,0-1,5
	$M \pm m$	0,8 $\pm$ 0,03	0,7 $\pm$ 0,03	0,5 $\pm$ 0,02	1,3 $\pm$ 0,06
Width of the leaf from upper part of shoot, cm	Cv	13,3	16,8	10,9	10,4
Площадь ассимилирующей поверхности на растении, см²	$X_{\min}-X_{\max}$	292,1-326,8	303,7-376,8	261,7-308,2	296,6-340,9
	$M \pm m$	309,7 $\pm$ 17,3	331,2 $\pm$ 20,1	283,8 $\pm$ 16,7	319,8 $\pm$ 18,6
Area of assimilating surface on plant, cm ²	Cv	32,3	34,5	40,8	33,0

Количество листьев на вегетативных и генеративных побегах было практически равным. По общему количеству листьев на побег и формаций листьев – чешуевидных и ассимилирующих на первом месте находятся растения групп А и В. Это согласуется с литературными данными о том, что в широтном направлении на север и по вертикальному профилю в горы количество листьев снижается [28] (табл. 1).

Размеры листьев мало варьировали в разные годы исследования внутри каждой группы. Изменение размеров листа в группах от арктической к европейской происходит на всех ярусах генеративного побега, однако на зрелых листьях среднего яруса это более заметно. Анализ размеров листьев среднего яруса генеративного побега показал, что во все годы исследований наибольшими по длине были листья групп С и D, наименьшими растения групп А и В. Ширина листовой пластинки у листьев верхнего и среднего яруса преобладала у растений группы D (табл. 1).

После формирования побегов растения группы В и D по площади общей листовой поверхности превосходят группу С на 16,7% и 12,6%, а группу А на 6,9% и 3,2% соответственно. Это означает, что на образование ассимилирующей поверхности растения родиолы розовой из ПАБСИ и из ВИЛАРа затрачивают меньше пластических веществ и энергии, одновременно

снижается интенсивность транспирации, что важно в условиях нестабильного водообеспечения [3].

Листья родиолы розовой популяции А из срединной и верхней части побега удлинённые; край в верхней и средней части редкозубчатый. Листья в нижней части побега обратнояйцевидные, характеризуются зубчатостью края в верхней и средней части. Кончик листа заострённый. Часто можно наблюдать на верхних и срединных листьях сизый налет. Листья, вогнутые по отношению к стеблю. Листья родиолы розовой популяции В обратнояйцевидные, в верхнем ярусе – удлинённые; край мелкозубчатый, кончик листа заострённый и имеет антоциановое окрашивание. Листья по отношению к стеблю плоские или слабо вогнутые. Зубчатость отсутствует на листьях в нижней части стебля. Листья родиолы розовой популяции С удлинённо-ланцетные; края пильчатые, зубчатость заметно выражена и имеется в верхней и средней части листа. Кончик листа заострённый. Листья по отношению к стеблю плоские или слабо вогнутые. Известно, что листья родиолы розовой из арктических регионов имеют округлую форму. В нашем случае листья растений из ПАБСИ напротив, удлинённо-ланцетные. Это также может быть связано с эффектом интродукции, когда в новых условиях возрастают линейные размеры и площадь их листовых пластинок по сравнению с дикорастущими [11; 29] (рис. 2).



Рисунок 2. Форма листовой пластинки у образцов родиолы розовой из разных мест обитания:

А – ВИЛАР; В – Коми, С – ПАБСИ (г. Кировск), D – Австрия. Фото О.М. Савченко

Figure. 2. Shape of leaf plate of golden root specimens from different habitats:

А – VILAR; В – Komi, С – Kirovsk, D – Austria. Photo by O.M. Savchenko

Листья родиолы розовой популяции D из срединной части побега обратнояйцевидные; характеризуются зубчатостью края в верхней части. Листья из верхней части побега имеют слабо выраженную зубчатость в средней и верхней части. Листья из нижней части побега округлые, характеризуются гладким краем. На верхних и срединных листьях имеется сизый налет, на нижних часто наблюдается антоциановое окрашивание. Листья интенсивно вогнутые по отношению к стеблю (рис. 2).

Изложенные результаты по показателям листовой поверхности позволяют заключить, что растения разных географических групп при выращивании в одних и тех же условиях различаются между собой по таким морфологическим показателям, как: размер и площадь листовых пластинок, количество листьев на побеге.

Растения родиолы розовой внутри групп А, В и С разделялись на функционально мужские, женские и обоеполые. На соцветиях обоеполых растений мужские цветки располагались преимущественно по краям соцветия; они распускались в среднем на 1–2 суток раньше женских. Семенная продуктивность родиолы

розовой определяются долей генеративных побегов, числом листочков в щитке генеративного побега с женским типом цветков и метеорологическими условиями вегетационного сезона [6; 28].

Мужские цветки растений группы А насыщенно-желтого цвета, женские – зеленовато-желтые. Листочки в длину не превышают 0,7–0,8 см. Цветков в соцветии в среднем 48, 6 шт. Мужские цветки растений групп В и С имеют красноватое окрашивание верхней части чашелистиков и лепестков, пыльники коричневатокрасные. Листочки группы В красные, длиной 0,8 см. Цветков в соцветии в среднем 49,2 шт. Цветки растений группы D зеленовато-желтого цвета, листочки зеленые, после созревания становятся бурными, в длину составляют 0,5–0,6 см. Цветков в соцветии в среднем 42,4 шт. Растения родиолы розовой популяции ВИЛАР отличаются крупными размерами соцветия – до 4 см; немного уступают им растения популяции Коми – до 3,6 см. Наименьшие размеры имеют соцветия растений из ПАБСИ. Также растения групп А и В имеют наибольшее количество цветков в соцветии (табл. 2; рис. 3).

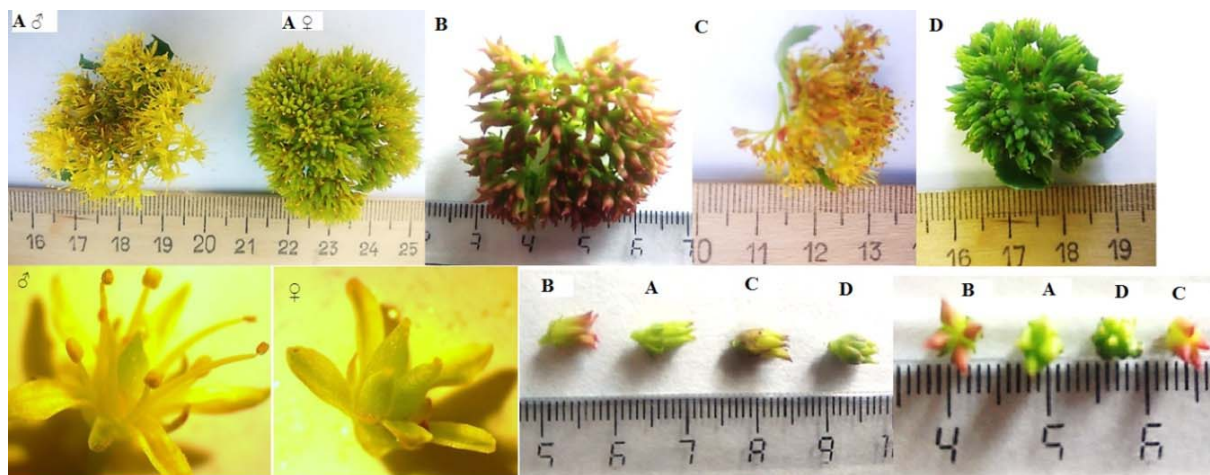


Рисунок 3. Диаметр соцветия и форма листочков у образцов родиолы розовой из разных мест обитания: А – ВИЛАР; В – Коми, С – ПАБСИ (Кировск), D – Австрия. ♂ – цветок мужского типа, ♀ – цветок женского типа
Фото О.М. Савченко

Figure 3. Inflorescence diameter and leaflet shape in *Rhodiola rosea* specimens from different habitats: A – VILAR; B – Komi, C – Kirovsk, D – Austria. ♂ – male-type flowers, ♀ – female-type flower
Photo by O.M. Savchenko

Наиболее высокой семенной продуктивностью отличается популяция из ВИЛАР, не зависимо от условий года наблюдения. На втором месте популяции из Коми и Австрии. Наиболее низкой семенной продуктивностью отличаются растения популяции из ПАБСИ. Это может быть связано с незначительным количеством функционально женских растений в составе возделываемой популяции; с меньшим числом генеративных побегов у одного растения и с количеством цветков в соцветии (табл. 1, 2).

При оценке четырех популяций родиолы розовой определена их сырьевая продуктивность (табл. 2).

Масса подземной части у растений родиолы розовой популяций А и С к четвертому году жизни в среднем составляла 30–31 г. Корневища с корнями у

растений популяции D весили в среднем 28,5 г. Низкие значения массы корневищ с корнями у популяции из республики Коми (24,4 г) можно объяснить влиянием абиотических факторов, таких, как состав и плотность почвы, влажность и температурный режим [29].

Исследователями из Института биологии Коми НЦ УрО РАН (подзона Средней тайги) отмечено максимальное содержание фенилпропаноидов (в пересчете на розавин) в подземных органах образцов родиолы розовой из притеррасного и прируслового местообитания (р. Торговая, притеррасный экотоп и прирусловый экотоп ручья Сергей-Шор). Немного ниже были показатели у образцов с альпийских луговин (р. Пачвож, альпийская луговина). А также происходит снижение содержания биологически активных веществ по широтному принципу [1; 4].

Таблица 2. Изменчивость показателей семенной и сырьевой продуктивности у растений родиолы розовой IV года жизни из разных регионов в среднем за 2019–2021 гг.
Table 2. Variability of indicators of seed and raw material productivity of golden root plants of 4th year of life from different regions on average for 2019–2021

Параметры Parameters	Значение Significance	Популяция / Population			
		А	В	С	А
Диаметр соцветия, см Inflorescence diameter, cm	$X_{\min}-X_{\max}$	3,5-4,3	3,5-3,8	2,4-3,0	3,0-3,3
	$M \pm m$	4,0 $\pm$ 0,9	3,6 $\pm$ 0,7	2,8 $\pm$ 0,7	3,1 $\pm$ 0,4
	Cv	12,6	10,4	11,3	8,3
Число цветков в соцветии, шт. Number of flowers in inflorescence, units	$X_{\min}-X_{\max}$	45-50	45-50	36-42	37-44
	$M \pm m$	48,6 $\pm$ 4,4	49,2 $\pm$ 5,0	40,3 $\pm$ 4,8	42,4 $\pm$ 4,2
	Cv	34,8	36,0	40,1	28,4
Масса семян с растения, мг Weight of seeds per plant, mg	$X_{\min}-X_{\max}$	168-177	163-174	144-156	161-173
	$M \pm m$	175,6 $\pm$ 31,4	169 $\pm$ 27,8	149,3 $\pm$ 21,4	165 $\pm$ 30,8
	Cv	27,3	22,6	25,0	32,4
Воздушно-сухая масса корневищ с корнями, г Air-dry mass of rhizomes with roots, g	$X_{\min}-X_{\max}$	27-34	18-26	29-32	26-31
	$M \pm m$	30,7 $\pm$ 4,2	24,4 $\pm$ 2,5	31 $\pm$ 2,8	28,5 $\pm$ 2,6
	Cv	30,5	34,7	31,0	30,7
Содержание фенилпропаноидов в сырье, % Content of phenylpropanoids in raw materials, %	$X_{\min}-X_{\max}$	3,6-4,0	5,2-5,5	4,2-4,6	4,0-4,3
	$M \pm m$	3,9 $\pm$ 0,7	5,4 $\pm$ 1,0	4,4 $\pm$ 0,9	4,1 $\pm$ 0,9
	Cv	18,2	13,6	14,0	15,0

В нашем исследовании содержание фенилпропаноидов в сырье 2013) было наиболее высоким у популяции из республики Коми (5,4%), на втором месте популяция из ПАБСИ (4,4%), популяции из Австрии и ВИЛАР содержат соответственно 4,1% и 3,9% фенилпропаноидов в сырье (табл. 2).

На основании полученных данных можно предположить, что в условиях агроценоза Нечерноземной зоны группы родиолы розовой накапливают биологически активные вещества следующим образом: наибольшее количество у образцов из Коми и ПАБСИ, немного меньше у растений из ботанического сада г. Инсбрук (долина реки) и у культивируемой

популяции. Это может быть обусловлено как реакцией растений на состав почвы, так и погодными условиями и согласуется с предыдущими исследованиями [1; 4].

Морфометрический анализ хромосом четырех популяций родиолы розовой ($2n=22$) показал, что кариотипы у всех изучаемых популяций содержат 11 пар мелких хромосом (1,7–3,4 мкм). Кариотипы представлены, в основном, метацентрическими хромосомами и наличием двух пар спутничных хромосом (3 и 10) у всех изученных популяций. На основании морфометрического анализа составлены формулы кариотипов изучаемых популяций родиолы розовой: $K = (14m + 4sm + 4s^t)$ (табл. 3).

Таблица 3. Морфометрическая характеристика хромосом изучаемых популяций родиолы розовой (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.)

Table 3. Morphometric characteristics of chromosomes of the studied populations of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.)

Абсолютная длина хромосом, мкм Absolute length of chromosomes, microns	Длина короткого плеча, мкм Short arm length, microns	Центромерный индекс, Іс, % Centromeric index, Іс, %	Тип хромосом Chromosome type	Формула Кариотипа Karyotype formula
Популяция А (2n=22)* / Population A (2n=22)				
3.2	1.5	43.7	M	K= (14m + 4sm +4s ^t)
2.9	1.4	44.8	M	
2.8	0.9	36.0	SM	
2.6	0.9	36.0	SM	
2.4	1.1	45.0	M	
2.4	1.1	45.0	M	
2.4	1.0	42.8	M	
2.4	1.0	42.4	M	
1.9	0.7	42.0	SM	
1.9	0.6	36.0	SM	
1.9	0.9	40.3	M	
Популяция В (2n=22) / Population B (2n=22)				
3.3	1.5	45.3	M	K= (14m + 2sm + 4s ^t)
2.9	1.4	47.9	M	
2.6	0.9	34.7	SM	
2.6	0.9	34.6	SM	
2.5	1.1	43.6	M	
2.5	1.1	44.0	M	
2.41	1.2	49.7	M	

2.4	1.2	49.5	M	K= (14m + 2sm + 4s ^t)
2.1	0.7	44.0	SM	
2.0	0.7	36.0	SM	
1.8	0.9	38.2	M	
Популяция C (2n=22) / Population C (2n=22)				
3.0	1.5	48.0	M	
3.0	1.5	48.0	M	
2.7	0.9	36.0	SM	
2.6	0.9	34.7	SM	
2.6	1.3	46.7	M	
2.5	1.2	47.4	M	
2.5	1.2	48.0	M	
1.8	0.7	42.0	SM	
1.7	0.6	36.0	SM	
1.7	0.8	46.2	M	
Популяция D (2n=22) / Population D (2n=22)				
3.4	1.6	47.0	M	K= (14m + 2sm + 4s ^t)
2.9	1.4	48.2	M	
2.6	0.9	36.0	SM	
2.6	0.7	34.7	SM	
2.5	1.2	46.8	M	
2.5	1.2	47.4	M	
2.5	1.2	48.0	M	
1.8	0.7	42.0	SM	
1.7	0.6	36.0	SM	
1.7	0.8	46.2	M	
3.4	1.6	47.0	M	
2.9	1.4	48.2	M	

*Примечание: 2n – число хромосом; M – метацентрическая хромосома, SM – субметацентрическая хромосома, s^t – спутничная хромосома

*Note: 2n – the number of chromosomes; M – the metacentric chromosome, SM – the submetacentric chromosome, s^t – the satellite chromosome

Спутничные хромосомы имели вторичную перетяжку в прицентромерном районе и сходный рисунок C/DAPI-окраски (рис. 4). Крупные гетерохроматические (ГХ) блоки расположены в прицентромерных районах хромосом, а средние и небольшие C/DAPI-бэнды –

преимущественно в теломерных и интеркалярных районах. В кариотипах всех изучаемых популяций родиолы розовой не выявлены хромосомные аномалии.

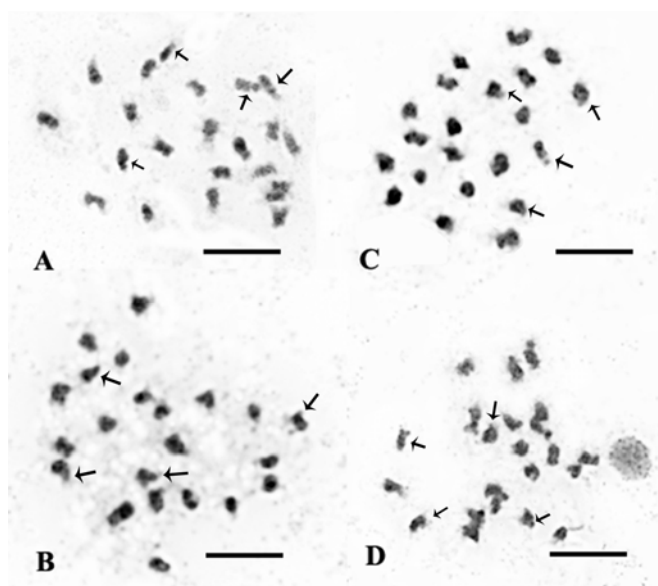


Рисунок 4. C/DAPI-дифференциально окрашенные метафазные пластинки хромосом изучаемых популяций родиолы розовой (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.): А – ВИЛАР; В – Коми; С – ПАБСИ (Кировск); D – Австрия (2n=22). Стрелками означены спутничные хромосомы в кариотипах. (Фото Т.Е. Саматадзе)

Figure 4. C/DAPI-differentially colored metaphase plates of chromosomes of the studied populations of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.): A – VILAR; B – Komi; C – Kirovsk; D – Austria (2n=22)

The arrows indicate satellite chromosomes in karyotypes. Photo by T.E. Samatadze

Незначительный полиморфизм C/DAPI-бэндов был обнаружен на хромосомах изученных популяций родиолы розовой. В их кариотипах была выявлена наибольшая вариабельность размеров у DAPI-бэндов, прилегающих к вторичной перетяжке и размерам спутничной нити. Эти результаты, как правило, связывают с изменчивостью числа рибосомных генов и их различной функциональной активностью [30–32].

Установлено, что по рисунку окрашивания кариотип родиолы розовой из ПАБСИ (С), в целом, содержит больше ГХ, чем кариотипы других исследуемых популяций родиолы (рис. 6). Это различие обусловлено наличием более крупных по размерам околоцентромерных и теломерных C/DAPI-бэндов. Зависимость полиморфизма C/DAPI-блоков хромосом от места произрастания сортов и популяций растений отмечалась и ранее [33–35].

Такая картина распределения ГХ в популяциях родиолы розовой может быть связана, как с адаптационными, так и функциональными процессами генетической и эпигенетической геномной изменчивости родиолы, интродуцированной из различных эколого-географических зон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам исследования, устойчивость растений изучаемых популяций может считаться высокой. Наиболее устойчивыми являются группы А и D. Морфологическая изменчивость указывает на экологическую пластичность исследуемых популяций, что свидетельствует о перспективности их возделывания в полевых условиях. Анализ вариабельности большого числа количественных признаков у растений родиолы розовой позволяет сделать вывод, что в пределах изучаемых популяций имеются резервы для отбора перспективных номеров. При этом следует учитывать, что показатели популяций родиолы из Коми (В), ПАБСИ (С) и из Австрии (D) могут быть следствием интродукционного эффекта и требуют дальнейшего изучения. В кариотипах всех изучаемых популяций родиолы определены числа хромосом ($2n=22$), в кариотипах не выявлены хромосомные аномалии, что свидетельствует об их стабильности. Различная картина распределения ГХ в кариотипах популяций родиолы розовой может быть связана, как с адаптационными, так и функциональными процессами генетической и эпигенетической геномной изменчивости родиолы, интродуцированной из различных эколого-географических зон.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования проводились с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекция ФГБНУ ВИЛАР» в рамках госзадания по теме «Формирование, сохранение и изучение биоколлекций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения (№ FGUU-2022-0014).

ACKNOWLEDGEMENT

The studies were carried out using bio-objects of the Unique scientific installation "Biocollection of FSBSI VILAR" within the framework of the state task on the topic "Formation, preservation and study of biocollections of the gene pool of various directions in order to preserve biodiversity and use them in health-saving technologies (No. FGUU-2022-0014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куркин В.А. Родиола розовая (золотой корень): стандартизация и создание лекарственных препаратов. Монография (2-е издание, переработанное и дополненное). СГМУ. Самара: ООО «Офорт», 2020. 240 с.
2. Заушинцева А.В., Брюхачев Е.Н. Многофункциональное значение родиолы розовой // Материалы научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», Санкт-Петербург, 13–15 ноября, 2019. С. 191–195.
3. Дальке И.В., Головкин Т.К. Морфофизиологическая характеристика уральских и арктических растений *Rhodiola rosea* (Crassulaceae) при выращивании в подзоне Средней тайги // Растительные ресурсы. 2005. Т. 41. N 4. С. 1–11.
4. Полетаева И.И., Володина С.О., Володин В.В. Изучение индивидуальной изменчивости растений *Rhodiola rosea* L. в целях отбора ценных генотипов для микроклонального размножения // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. N 3-2. С. 769–775.
5. Атлас лекарственных растений России: монография; изд. 2-е перераб. и дополненное. Под общ. ред. Н.И. Сидельникова. М.: Наука, 2021. С. 446–449.
6. Савченко О.М., Бабаева Е.Ю. Изучение фенологии и семенной продуктивности растений родиолы розовой в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 1. С. 26–35. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-98-109
7. Ким Е.Ф. Опыт выращивания родиолы розовой в низкогорьях Алтая // Растительные ресурсы. 1976. N 12. С. 583–590.
8. Шарыгина Ю.М. Опыт выращивания родиолы розовой в ботаническом саду Марийского государственного технического университета // Лесной журнал. 2004. N 1. С. 15–18.
9. Астафьев М.В., Саксонов С.В. Эколого-морфологическое изучение родиолы розовой, произрастающей в Самарской области // Самарская Лука: Бюл. 2007. Т. 16. N 1-2 (19-20). С. 283–288.
10. Иванова Н.С. Интродукция *Rhodiola rosea* L. в Центральной Якутии // Научный журнал КубГАУ. 2015. N 114 (10). URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/> (дата обращения: 02.09.2021)
11. Ишмуратова М.И., Сацыперова И.Ф. Начальные этапы онтогенеза и некоторые биологические особенности развития *Rhodiola rosea* L. и *R. iremlica* Boriss., интродуцированных в Башкирию // Растительные ресурсы. 1998. Т. 34. N 4. С. 3–11.
12. Uhl C.H. Heteroploidy in *Sedum rosea* (L.) Scop. // Evolution. 1952. N 6 (1). P. 81–86. DOI: 10.23072405505
13. Болховских З.В., Гриф В.Г., Захарьева О.И., Матвеева Т.С. Хромосомные числа цветковых растений // Под редакцией А.А. Федорова. Ботанический институт им. В.Л. Комарова АН СССР. Л.: Наука, 1969. 928 с.
14. Агапова Н.Д., Архарова К.Б., Вахтина Л.И., Земскова Е.А., Тарвис Л.В. Числа хромосом цветковых растений флоры СССР: семейства *Aceraceae-Menyanthaceae*. Л.: Наука, 1990. 509 с.
15. Пробатова Н.С., Соколовская А.П., Рудыка Э.Г., Шаталова С.А. Числа хромосом видов растений из бассейна реки Раздольная (Суйфун) в Приморском крае // Ботанический журнал. 2000. Т. 85. N 12. С. 102–107.
16. Uhl C.H., Moran R. Chromosomes of *Crassulaceae* from Japan and South Korea // Cytologia. 1972. N 37. P. 59–81.
17. Taylor R.L., Mulligan G.A. Flora of the Queen Charlotte Islands. Part 2. Cytological Aspects of the Vascular Plants. Ottawa, 1968.
18. Майр Э. Популяция, виды и эволюция. М.: Мир, 1974. 460 с.
19. Бадаева Е.Д., Салина Е.А. Структура генома и хромосомный анализ растения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. N 4/2. С. 1017–1043.
20. Требования к оформлению полевых опытов во Всероссийском научно-исследовательском институте лекарственных и ароматических растений. М.: ВИЛАР, 2006. 25 с.

21. Цицилин А.Н., Ковалев Н.И., Коротких И.Н., Кудринская (Басалаева) И.В., Бабенко Л.В., Савченко О.М., Хазиева Ф.М. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфирномасличных растений. (2-е издание, переработанное и дополненное). Москва: Наука, 2022. 64 с.
22. Саматадзе Т.Е., Савченко О.М. Цитогенетические особенности родиолы розовой при выращивании в Нечерноземной зоне России // Аграрная Россия. 2021. N 12. С. 21–25. DOI:10.30906/1999-5636-2021-12-21-25
23. Бушковская Л.М., Пушкина Г.П., Масляков В.Ю., Сидельников Н.И. Биологический фактор в агроценозах лекарственных культур как основа экологизированной защиты от вредных организмов. М.: ВИЛАР, 2015. 140 с.
24. Цыбулько Н.С., Савина Т.А. Методика количественного определения фенилпропаноидов в клеточной культуре *Rhodiola rosea* // Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения проф. А.И. Шретера «От растения к препарату: традиции и современность», Москва, 23–24 апреля 2014. С. 48–52.
25. Муравенко О.В., Зеленин А.В. Исследование хромосомной организации геномов мелкохромосомных растений // Генетика. 2009. N 45 (11). С. 1516–1529.
26. Агапова Н.Д., Гриф В.Г. О хромосомной терминологии // Ботанический журнал. 1982. N 67 (9). С. 123–127.
27. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
28. Фролов Ю.М., Полетаева И.И. Родиола розовая на Европейском Северо-Востоке. Екатеринбург: РАН. Урал. отделение. Коми науч. центр. Ин-т биологии, 1998. 192 с.
29. Карпун Ю.Н. Основы интродукции растений // Hortus Botanicus. 2004. N 2. С. 17–32.
30. Дмитриева С.А., Парфенов В.И. Кариология флоры как основа цитогенетического. Минск: Наука и техника, 1991. 231 с.
31. Седельникова Т.С., Муратова Е.Н. Кариологические особенности сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica du tour*) на болотах Западной Сибири // Экология. 2002. N 5. С. 323–328.
32. Samatadze T.E., Zoshchuk S.A., Khomik A.S., Amosova A.V., Svistunova N.Yu., Suslina S.N., Hazieva F.M., Yurkevich O.Yu., Muravenko O.V. Molecular cytogenetic characterization, leaf anatomy and ultrastructure of the medicinal plant *Potentilla alba* L. // Genet Resour Crop Evol. 2018. DOI:10.1007/s10722-018-0640-7
33. Badaeva E.D., Boguslavsky R.L., Badaev N.S., Zelenin A.V. Intraspecific chromosomal polymorphism of *Triticum araraticum* (*Poaceae*) detected by C-banding technique // Plant Systematics and Evolution. 1990. N 169. P. 13–24
34. Samatadze T.E., Muravenko O.V., Popov K.V., Zelenin A.V. Genome comparison of the *Matricaria chamomilla* L. varieties by the chromosome C- and OR-banding patterns // Caryologia. 2001. N 54 (4). P. 299–306. DOI:10.1080/00087114.2001.10589240
35. Саматадзе Т.Е., Зеленин А.В., Суслина С.Н., Амосова А.В., Попов К.В., Загуменникова Т.Н., Цицилин А.Н., Быков В.А., Муравенко О.В. Сравнительная цитогенетическая характеристика форм *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br. из различных мест произрастания // Генетика. 2012. N 48 (1). С. 72–79 DOI:10.1134/S1022795412010164
36. Kurkin V.A. *Rodiola rozovaya (zoltoj koren'): standartizaciya i sozdanie lekarstvennykh preparatov* [*Rhodiola rosea* (golden root): standardization and creation of medicines]. Samara, OOO «Ofort» Publ., 2020, 2nd ed., 240 p. (In Russian)
37. Zaushinceva A.V., Bryuhachev E.N. Mnogofunktsional'noe znachenie rodioly rozovoi [Multifunctional value of *Rhodiola rosea*]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Nizkotemperaturnye i pishchevytehnologii v XXI veke»*, Sankt-Peterburg, 13–15 noyabrya, 2019 [Proceedings of the Scientific and Technical Conference “Low-temperature and food technologies in the XXI century”, St. Petersburg, 13–15 November, 2019]. Saint Petersburg, 2019, pp. 191–195 (In Russian)
38. Dal'ke I.V., Golovko T.K. Morphophysiological characteristics of Ural and Arctic plants *Rhodiola rosea* (*Crassulaceae*) when grown in the Middle taiga subzone. *Rastitel'nye resursy* [Rastitelnye resursy]. 2005, vol. 41, no. 4, pp. 1–11. (In Russian)
39. Poletaeva I.I., Volodina S.O., Volodin V.V. Studying the individual variability of *Rhodiola rosea* L. plants for selection the valuable genotypes for microclonal reproduction. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2013, no. 15 (3-2), pp. 769–775. (In Russian)
40. Sidel'nikov N.I., ed. *Atlas lekarstvennykh rastenii Rossii* [Atlas of medicinal plants of Russia]. Moscow, Nauka Publ., 2021, 2nd ed., pp. 446–449. (In Russian)
41. Savchenko O.M., Babaeva E.Yu. Study of the phenology and seed productivity of *Rhodiola rosea* plants in the Central region of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 26–35. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-98-109
42. Kim E.F. The experience of growing *Rhodiola rosea* in the low mountains of Altai. *Rastitel'nye resursy* [Rastitelnye resursy]. 1976, no. 12, pp. 583–590. (In Russian)
43. Sharygina Yu.M. The experience of growing *Rhodiola rosea* in the botanical garden of the Mari State Technical University. *Lesnoi zhurnal* [Russian Forestry Journal]. 2004, no. 1, pp. 15–18. (In Russian)
44. Astaf'ev M.V., Saksonov S.V. Ecological and morphological study of *Rhodiola rosea* growing in the Samara region. *Samarskaya Luka* [Samarskaya Luka]. 2007, vol. 16, no. 1-2 (19-20), pp. 283–288. (In Russian)
45. Ivanova N.S. [Introduction of *Rhodiola rosea* L. in Central Yakutia]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2015, no. 114 (10). (In Russian) Available at: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/> (accepted 02.09.2021)
46. Ishmuratova M.I., Sacyperova I.F. Initial stages of ontogenesis and some biological features of the development of *Rhodiola rosea* L. and *R. iremelica* Boriss. introduced into Bashkiria. *Rastitel'nye resursy* [Rastitelnye resursy]. 1998, vol. 34, no. 4, pp. 3–11. (In Russian)
47. Uhl C.H. Heteroploidy in *Sedum rosea* (L.) Scop. *Evolution*, 1952, no. 6 (1), pp. 81–86. DOI: 10.2307/2405505
48. Bolkhovskikh Z., Grif V., Matvejeva T., Zakharyeva O. *Khromosomnye chisla tsvetkovykh rastenii* [Chromosome numbers of the flowering plants]. Leningrad, Nauka Publ., 1969, 926 p. (In Russian)
49. Agapova N.D., Arkharova K.B., Vakhtina L.I., Zemskova E.A., Tarvis L.V. *Chisla khromosom tsvetkovykh rastenii flory SSSR: cemeistva Aceraceae-Menyanthaceae* [Chromosome numbers in flowering plants of the flora of the U.S.S.R. *Aceraceae-Menyanthaceae*]. Leningrad, Nauka Publ., 1990, 509 p. (In Russian)
50. Probatova N.S., Sokolovskaya A.P., Rudyka E.G., Shatalova S.A. Chromosome numbers in plant species from the Razdol'naya (Suifun) River basin in the Primorsky Territory. *Botanicheskiy Zhurnal* [Botanical Journal]. 2000, no. 85 (12), pp. 102–107. (In Russian)
51. Uhl C.H., Moran R. Chromosomes of *Crassulaceae* from Japan and South Korea. *Cytologia* [Cytologia]. 1972, no. 37, pp. 59–81.
52. Taylor R.L., Mulligan G.A. Flora of the Queen Charlotte Islands. Part 2. Cytological Aspects of the Vascular Plants. Ottawa, 1968.
53. Majr E. *Populyatsiya, vidy i evolyutsiya* [Population, species and evolution]. Moscow, Mir Publ., 1974, 460 p. (In Russian)
54. Badaeva E.D., Salina E.A. Genome structure and chromosomal analysis of a plant. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding]. 2013, no. 17 (4/2), pp. 1017–1043. (In Russian)

REFERENCES

1. Kurkin V.A. *Rodiola rozovaya (zoltoj koren'): standartizaciya i sozdanie lekarstvennykh preparatov* [*Rhodiola rosea* (golden root): standardization and creation of medicines]. Samara, OOO «Ofort» Publ., 2020, 2nd ed., 240 p. (In Russian)
2. Zaushinceva A.V., Bryuhachev E.N. Mnogofunktsional'noe znachenie rodioly rozovoi [Multifunctional value of *Rhodiola rosea*]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*

20. *Trebovaniya k oformleniyu polevykh opytov vo Vserossiiskom nauchno-issledovatel'skom institute lekarstvennykh i aromatischeskikh rastenii* [Requirements for the design of field experiments at the All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants]. Moscow, VILAR Publ., 2006, 25 p. (In Russian)
21. Tsitsylin A.N., Kovalev N.I., Korotkikh I.N., Kudrinskaya (Basalaeva) I.V., Babenko L.V., Savchenko O.M., Khazieva F.M. *Metodika issledovaniy pri introduktsii lekarstvennykh i efirnomaslichnykh rastenii. (2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe)* [Research methodology for the introduction of medicinal and essential oil plants. (2nd edition, revised and enlarged)]. Moscow, Nauka Publ., 2022, 64 p. (In Russian)
22. Samatadze T.E., Savchenko O.M. Cytogenetic peculiarities of *Rhodiola rosea* in cultivation in the Non-Chernozem zone of Russia. *Agrarian Russia*, 2021, no. 12, pp. 21–25. (In Russian) DOI: 10.30906/1999-5636-2021-12-21-25
23. Bushkovskaya L.M., Pushkina G.P., Maslyakov V.YU., Sidel'nikov N.I. *Biologicheskii faktor v agrotsenozakh lekarstvennykh kul'tur kak osnova ekologizirovannoi zashchity ot vrednykh organizmov* [Biological factor in agrocenoses of medicinal crops as the basis of ecologized protection from harmful organisms]. Moscow, VILAR Publ., 2015, 140 p. (In Russian)
24. Cybul'ko N.S., Savina T.A. Metodika kolichestvennogo opredeleniya fenilpropanoidov v kletochnoi kul'ture *Rhodiola rosea* [Method of quantitative determination of phenylpropanoids in *Rhodiola rosea* cell culture] *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 95-letiyu so dnya rozhdeniya prof. A.I. Shretera «Ot rasteniya k preparatu: traditsii i sovremennost'»*, Moskva, 23–24 aprelya 2014 [Proceedings of all-Russian Conference with international participation dedicated to the 95th anniversary of the birth of Professor A. I. Schroeter "From plant to drug: traditions and modernity", Moscow, 23–24 April, 2014]. Moscow, 2014, pp. 48–52. (In Russian)
25. Muravenko O.V., Zelenin A.V. Investigation of the chromosomal organization of the genomes of small-chromosomal plants. *Genetika* [Genetics]. 2009, no. 45 (11), pp. 1516–1529. (In Russian)
26. Agapova N.D., Grif V.G. On chromosomal terminology. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal]. 1982, no. 67 (9), pp. 123–127. (In Russian)
27. Zaitsev G.N. *Matematika v eksperimental'noi botanike* [Mathematical analysis of biological data]. Moscow, Nauka Publ., 1991, 184 p. (In Russian)
28. Frolov Yu.M., Poletaeva I.I. *Rodiola rozovaya na Evropeiskom Severo-Vostoke* [*Rhodiola rosea* in the European Northeast]. Yekaterinburg, RAS. Ural. otd-nie. Komi Scientific Center. Institute of Biology Publ., 1998, 192 p. (In Russian)
29. Karpun Yu.N. The main problems of introduction. *Hortus Botanicus*. 2004, no. 2, pp. 17–32. (In Russian)
30. Dmitrieva S.A., Parfenov V.I. *Kariologiya flory kak osnova tsitogeneticheskogo* [Flora karyology as the basis of cytogenetic monitoring]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1991, 231 p. (In Russian)
31. Sedel'nikova T.S., Muratova E.N. Karyological features of siberian cedar pine (*Pinus sibirica* du tour) in the marshes of Western Siberia. *Ekologiya* [Ecology]. 2002, no. 5, pp. 323–328. (In Russian)
32. Samatadze T.E., Zoshchuk S.A., Khomik A.S., Amosova A.V., Svistunova N.Yu., Suslina S.N., Hazieva F.M., Yurkevich O.Yu., Muravenko O.V. Molecular cytogenetic characterization, leaf anatomy and ultrastructure of the medicinal plant *Potentilla alba* L. *Genet Resour Crop Evol.*, 2018. DOI: 10.1007/s10722-018-0640-7
33. Badaeva E.D., Boguslavsky R.L., Badaev N.S., Zelenin A.V. Intraspecific chromosomal polymorphism of *Triticum araraticum* (Poaceae) detected by C-banding technique. *Plant Systematics and Evolution*, 1990, no. 169, pp. 13–24.
34. Samatadze T.E., Muravenko O.V., Popov K.V., Zelenin A.V. Genome comparison of the *Matricaria chamomilla* L. varieties by the chromosome C- and OR-banding patterns. *Caryologia*, 2001, no. 54 (4), pp. 299–306. DOI: 10.1080/00087114.2001.10589240
35. Samatadze T.E., Zelenin A.V., Suslina S.N., Amosova A.V., Popov K.V., Zagumennikova T.N., Cicilin A.N., Bykov V.A., Muravenko O.V. Comparative cytogenetic study of the forms of *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br. from different localities. *Russian Journal of Genetics*, 2012, no. 48 (1), pp. 72–79. DOI: 10.1134/S1022795412010164

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга М. Савченко проводила полевые опыты, включающие фенологические и морфометрические наблюдения, проводила учеты и уборку семян и корневищ с корнями, проанализировала данные, написала рукопись. Наталья С. Цыбулько проводила биохимические анализы; Татьяна Е. Саматадзе осуществила кариологические исследования. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga M. Savchenko conducted field experiments, including phenological and morphometric observations, carried out records and harvesting of seeds and rhizomes with roots, analyzed data and wrote the manuscript. Natalia S. Tsybulko conducted biochemical analyses. Tatiana E. Samatadze carried out karyological studies. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга М. Савченко / Olga M. Savchenko <http://orcid.org/0000-0002-3054-1719>
 Наталья С. Цыбулько / Natalia S. Tsybulko <http://orcid.org/0000-0001-9542-5017>
 Татьяна Е. Саматадзе / Tatiana E. Samatadze <http://orcid.org/0000-0002-1012-3560>

Оригинальная статья / Original article
УДК 574.4: 631.585 (474)
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-33-43

Концентрация и запасы азота в почвах и травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия

Гасан Н. Гасанов^{1,2}, Татьяна А. Асварова¹, Камиль М. Гаджиев¹,
Раджаб З. Усманов¹, Мурат А. Арсланов², Магомед Р. Мусаев²,
Рашид Р. Баширов¹, Кабират Б. Гимбатова¹, Айшат С. Абдулаева¹

¹Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

²Дагестанский аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Гасан Н. Гасанов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45.
Тел. +79604214086

Email nikuevich@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6181-5196>

Формат цитирования

Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Усманов Р.З., Арсланов М.А., Мусаев М.Р., Баширов Р.Р., Гимбатова К.Б., Абдулаева А.С. Концентрация и запасы азота в почвах и травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 33-43. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-33-43

Получена 8 октября 2020 г.

Прошла рецензирование 14 июля 2022 г.

Принята 5 сентября 2022 г.

Резюме

Цель. Определение продуктивности фитоценозов, концентрации и запасов азота в блоках растительных ассоциаций и по типам почв Северо-Западного Прикаспия.

Методы. Комплексные исследования по накоплению органической массы и азота в пяти блоках растительного вещества, шести растительных ассоциациях и трех типах почв по сезонам года с использованием известных методик учета и анализов почв и растений.

Результаты. Выявлены закономерности формирования фитомассы, изменения концентрации и запасов азота в основных типах почв и шести растительных ассоциациях по сезонам 2011–2018 гг.

Выводы. Наиболее продуктивны формирующиеся на светло-каштановой почве эфемероидно-полынно-мятликовые, эфемерово-полынные, злаково-полынные и разнотравно-костровые растительные сообщества суммарной продуктивностью 24, 34 т/га. Максимальная концентрация азота отмечена в злаково-полынной, полынно-солянковой, разнотравно-солянковой и злаково-солянковой ассоциациях: соответственно 1,9; 1,97; 2,2 и 2,57%, что связано с преобладанием в них полыни таврической и Лерха, солянки иберийской. В ассоциациях, где преобладают представители семейств злаковых, крестоцветных и гвоздичных, азот снижается до 1,72–1,74%. Более высоким было его значение на светло-каштановой почве – 1,82% от абсолютно сухой массы, на лугово-каштановой снижалось до 1,75, на солончаке типичном – до 1,38%. В корневой массе растительных ассоциаций показатели были в 3,2 раза меньше, чем в надземной. Запасы азота по блокам растительного вещества образуют следующий убывающий ряд: корни ≥ зеленая масса ≥ ветошь ≥ войлок. В приходной части баланса в ассоциациях на светло-каштановой почве накапливается 171,6 азота, на лугово-каштановой – 63,1, на солончаке типичном автоморфном – 49,1 кг/га, в расходной части – соответственно 171,9; 64,3 и 58,1 кг/га. Баланс азота на первом типе почв складывается с минимальным с дефицитом соответственно 0,6 кг/га, 1,2 и 9 кг/га.

Ключевые слова

Азот общий, азот легкогидролизуемый, запасы азота, почва, заповедный режим, продуктивность, фитоценоз, растительная ассоциация, зеленая масса, ветошь, степной войлок, корни.

Concentration and reserves of nitrogen in soils and plant matter in blocks of grass ecosystems of the North-Western Precaspian region, Russia

Gasov N. Gasanov^{1,2}, Tatyana A. Asvarova¹, Kamil M. Gadzhiev¹,
Rajab Z. Usmanov¹, Murat A. Arslanov², Magomed R. Musaev²,
Rashid R. Bashirov¹, Kabirat B. Gimbatova¹ and Aishat S. Abdulaeva¹

¹Precaspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²M.M. Dzhambulatov Dagestan Agrarian University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Gasov N. Gasanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor & Chief Researcher, Precaspian Institute of Biological Resources, Russian Academy of Sciences; 45 M. Gadzhieva St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79604214086

Email nikuevich@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6181-5196>

How to cite this article

Gasov N. Gasanov, Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Usmanov R.Z., Arslanov M.A., Musaev M.R., Bashirov R.R., Gimbatova K.B., Abdulaeva A.S. Concentration and reserves of nitrogen in soils and plant matter in blocks of grass ecosystems of the North-Western Precaspian region, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 33-43. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-33-43

Received 8 October 2020

Revised 14 July 2022

Accepted 5 September 2022

Abstract

Aim. Determination of phytocenosis productivity, nitrogen concentration and reserves in blocks of plant associations and by soil types in the North-Western Precaspian region of Russia.

Methods. Comprehensive research on the accumulation of organic matter and nitrogen in five blocks of plant matter, six plant associations and three types of soil by season using well-known methods of accounting and analysis of soils and plants.

Results. The regularities of phytomass formation, changes in nitrogen concentration and reserves in the main soil types and six plant associations for the 2011–2018 seasons were revealed.

Conclusions. Ephemeroid-wormwood-cereal, ephemeroid-wormwood, cereal-wormwood, forb-campfire and mixed-grass-campfire plant communities formed on light chestnut soil are the most productive, with a total productivity of 24.34 t/ha. The maximum nitrogen concentration was observed in the cereal-wormwood, wormwood-saltwort, forb-saltwort and cereal-saltwort associations – 1.9, 1.97, 2.2, and 2.57%, respectively, which is due to the predominance of *Artemisia taurica* Willd., *Artemisia lercheana* Web. ex Stechm. and *Salsola iberica* Sennen & Pau. In associations where there are representatives of the *Poaceae*, *Brassicaceae* and *Caryophyllaceae*, nitrogen decreases to 1.72–1.74%. Its value was higher on light-chestnut soil, being 1.82% of absolutely dry mass, while on meadow-chestnut soil it decreased to 1.75 and on saline soil is typically 1.38%. In the root mass of plant associations, its indicators were 3.2 times less than in the above ground mass. Nitrogen reserves by blocks of plant matter formed the following decreasing series: roots ≥ green mass ≥ rags ≥ felt. In the input part of the balance in plant associations, 171.6 nitrogen accumulates on light-chestnut soil, 63.1 on meadow-chestnut soil, 49.1 kg/ha on automorphic typical saline soil, and 171.9; 64.3 and 58.1 kg/ha in the expenditure part, respectively. the balance of nitrogen in the first type of soil is formed with a minimum deficit of 0.6 kg/ha, 1.2 and 9 kg/ha, respectively.

Key Words

Total nitrogen, nitrogen easily hydrolyzed, nitrogen reserves, soil, conservation regime, productivity, phytocenosis, plant association, green mass, rags, steppe felt, roots.

ВВЕДЕНИЕ

Исследованию продуктивности пастбищных угодий Северо-Западного Прикаспия посвящены работы многих исследователей [1–5]. Отмечалось, что в полупустынных условиях региона урожайность пастбищных угодий держится на уровне 1–3 ц/га воздушно-сухой фитомассы. В работах приводятся результаты исследований по растительным ассоциациям на пастбищах [6–9] и химическому составу фитоценозов [10–14]. Однако в последние десятилетия XX – начале XXI века на рассматриваемой территории отмечалась значительное сокращение пастбищной нагрузки, одновременно улучшились и климатические условия. За влажный период 1981–2010 гг. осадков выпало больше, чем в предшествовавшие 30 лет на 34 мм, среднегодовая температура воздуха повысилась на 2,0°C, относительная влажность воздуха – на 3,4% [15]. Все эти факторы сказывались на продуктивности пастбищ и требовали дополнительных исследований по продуктивности, динамике растительных ассоциаций, их химическому составу. В ранее проведенных исследованиях недостаточно было работ по накоплению растительной массы и химических элементов в растительных ассоциациях, включая и азот, по блокам растительного вещества, увязке этих результатов с типами почв в полупустыне.

Целью наших исследований является определение продуктивности фитоценозов, концентрации и запасов азота в блоках растительных ассоциаций и по типам почв Северо-Западного Прикаспия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия на территории Кочубейской биосферной станции Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (КБС ПИБР ДФИЦ РАН) на заповедных экспериментальных участках. Географические координаты экспериментальных участков: 44.40880 с.ш. и 46.24771 в.д., и 44.40720 с.ш. и 46.24727 в.д., 44.40713 с.ш. и 46.24722 в.д. Изучали продуктивность фитоценозов на 3-х типах почв – светло-каштановой, лугово-каштановой и солончаке типичном на площадках по 100 м², обнесенных железной сеткой во избежание погрыв фитомассы скотом.

Образцы на определение азота в почвах отбирали три раза в год: весной при возобновлении вегетации растений (апрель) и конце июля – начале августа в период максимального напряжения гидротермических условий для жизнедеятельности растений и в сентябре, когда формировалась эфемерная сингузия. Анализы почв по химическим и водно-физическим показателям, водной вытяжке, содержанию гумуса проводили по известным методикам [16]. Общий азот в почве определяли фотометрическим методом «индофеноловой зелени», гидролизующий азот – методом Тюрина и Кононовой, содержания азота в растениях с помощью мокрого озоления [17]. Запасы надземного и подземного растительного вещества учитывали по Титляевой [18].

Климатические условия – сумма месячных и годовых осадков, среднемесячные и среднегодовые температуры и влажность воздуха – учитывали по

данным Кочубейской метеостанции. Статистическую обработку результатов проводили в Microsoft Excel 2010. Названия видов растений даны по Муртазалиеву [19].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Антропогенные факторы, в первую очередь нерегулируемый выпас скота, привели к смене растительного покрова, уменьшению его проективного покрытия и снижению продуктивности пастбищных угодий Северо-Западного Прикаспия (Терско-Кумской низменности). Вследствие этого усилилась деградация почв: ухудшились ее структурно-агрегатный состав, водно-воздушный режим, снизилось содержание гумуса и питательных элементов [20–22].

Исследуемые нами почвы характеризуются следующими физико-химическими свойствами в слое 0–20 см: светло-каштановая: содержание гумуса – 1,18%, общего азота – 0,08%, N гидролизующего, P₂O₅ и K₂O (мг/100г) – 4,94; 0,53 и 30,8; плотность – 1,18 г/см³, общая пористость – 55,1%, пористость аэрации – 25,5%; лугово-каштановая соответственно 1,33%; 0,10%; 5,26; 0,84; 33,8; 1,18 г/см³, 52,2%, 22,5%; солончак типичный автоморфный: 1,07%, 0,05% 3,12; 0,41; 28,6; 1,22 г/см³, 53,6%. Наименьшая влагоемкость в почвенном слое 0–60 см составляет соответственно по типам почв 18,8; 25,6 и 22,6%, водопроницаемость – 1,41; 1,25 и 2,35 мм/мин. Тип засоления почв, в зависимости от гидротермических условий сезонов года, меняется от хлоридно-сульфатного до хлоридного, степень засоления – от слабой до очень сильной степени.

Основным источником азота для растений являются запасы его в почве. По данным многолетних исследований Салманова А.Б. [20], Залибекова З.Г. [21], Баламирзоева М.А. [22], Мирзоева Э.М.-Р. [23], Саидова А.К. [24], Гасанова Г.Н. [25], содержание общего и гидролизующего азота в светло-каштановой почве Терско-Кумской низменности составляет соответственно 0,07–0,17% и 2–5 мг/100 г почвы, в лугово-каштановой – 0,17–0,3% и 3–6 мг/100 г почвы, в солончаках – 0,05–0,19% и 1–3 мг/100 г почвы.

В наших исследованиях больше всего легкогидролизующего азота во всех типах почв накапливалось в апреле – 4,1 мг/100г почвы в среднем по типам почв. В этот период складываются наиболее благоприятные гидротермические условия: среднемесячная температура воздуха составляет по годам 15–18°C, влажность почвы в слое 0–30 см находится в пределах 65–75% от наименьшей влагоемкости (НВ). Эти условия благоприятны для прохождения процессов нитрификации и накопления гидролизующего азота в почве (табл. 1).

Увеличение температуры воздуха до 22–26°C, снижение влажности почвы до 46–51% в июле – начале августа способствует снижению активности нитрифицирующих микроорганизмов и, уменьшению этого элемента питания в данном слое почвы до 3,0 мг/100 г, или на 26,8% по сравнению с весенним сроком определения. К концу сентября интенсивность испарения влаги из почвы сокращается в связи со снижением среднесуточных температур воздуха, в динамике накопления подвижного азота наблюдается второй максимум, но содержание его все же уступает апрельскому сроку на 14,6% из-за дефицита тепла.

Таблица 1. Содержание легкорастворимого азота в слое 0–20 см по сезонам года и типам почв Терско-Кумской низменности за 2012–2018 гг., мг/100 г.**Table 1.** Content of easily soluble nitrogen in the 0–20cm layer by seasons and soil types of the Terek-Kuma lowland in 2012–2018, mg/100 g

Тип почвы Soil type	Весна Spring	Лето Summer	Осень Autumn	Среднее Average
Светло-каштановая Light-chestnut	4,5	3,2	3,8	3,8
Лугово-каштановая Meadow-chestnut	4,2	2,9	3,5	3,5
Солончак типичный Typical saline	3,5	2,9	3,2	3,2

Но при всех сроках определения в светло-каштановой почве накапливается, вопреки ожиданию, больше гидролизуемого азота по сравнению с лугово-каштановой на 7,0%, с солончаком типичным – на 15,8%. Но в нашем случае последней было характерно сильная степень сульфатно-хлоридного засоления, полное отсутствие эфемеров, изреженный травостой полыни Лерха (*Artemisia lercheana* Web.ex Stechm.) и таврической (*Artemisia taurica* Willd.).

Растительный покров низменности отличается бедностью видового состава (около 35 видов). Доминирующими видами растений были: полынь Лерха, полынь таврическая, мятлик луковичный (*Poa bulbosa* L.), костер растопыренный (*Bromus squarrosus* L.), костер кровельный (*Anisantha tectorum* L. Nevski), житняк пустынный (*Agropyron desertorum* Fisch. ex Lin Schult.), полевица малая (*Eragrostic minor* Host), мортук пшеничный (*Eremopyrom triticeum* (Gaerth) Nevski.), мортук восточный (*Eremopyrom orientale* (L.) (Jaub. et Spach), бурачок пустынный (*Alyssum desertorum* Stapf.), курай-солянка иберийская (*Salsola iberica*

Sennen&Pau), дурнишник колючий (*Xanthium spinosum* L.), грыжник седой (*Herniaria incana* L.), смолевка коническая (*Silene conica* L.), рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius* L.) [8; 12].

Наибольшее распространение в условиях региона получили эфемероидно-полынно-мятликовые, эфемерово-полынные, злаково-полынные и разнотравно-костровые растительные ассоциации. На светло-каштановой почве на долю первых трех приходится 72,5% от общих запасов фитомассы, на лугово-каштановой – злаково-солянковая, злаково-полынная и полынно-солянковая (27,8–32,0%), на солончаке типичном – разнотравно-кострово-петросимоневые (58,3%) и разнотравно-солянковые (21%) ассоциации.

Основным поставщиком органической массы и питательных элементов в почву является подземная масса растений. Доля ее на светло-каштановой почве составляет 85,9%, на лугово-каштановой – 86,4%, на солончаке типичном – 83,7% от всей накопленной фитоценозами массы (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность фитомассы в блоках органической массы по растительным ассоциациям и типам почв Терско-Кумской низменности за 2011–2018гг., т/га**Table 2.** Phytomass yield in blocks of plant matter by plant associations and soil types of the Terek-Kuma lowland in 2011–2018, t/ha

Растительная ассоциация, тип почвы* Plant association, soil type*	Блок растительного вещества / Plant matter block				Вся надземная фитомасса All above ground phytomass
	зеленая масса green mass	ветошь vetosh	войлок voilok	корни roots	
1	5.41±0.01	5.3±0.01	4.96±0.02	93.74±0.02	15.67
2	2.35±0.01	2.29±0.03	1.88±0.01	42.02±0.04	6.52
3	2.13±0.04	2.05±0.02	1.91±0.01	34.21±0.03	6.09
4	7.8±0.04	7.73±0.04	6.34±0.01	136.0±0.04	21.87
5	3.41±0.02	3.46±0.02	3.05±0.03	62.0±0.02	9.92
6	3.09±0.02	3.21±0.04	3.22±0.02	46.05±0.02	9.52

Примечание: * – 1. Эфемероидно-полынно-злаковая, светло-каштановая. 2. Злаково-полынная, лугово-каштановая. 3. Разнотравно-кострово-петросимониевая, солончак типичный. 4. Злаково-солянковая, светло-каштановая. 5. Полынно-солянковая, лугово-каштановая. 6. Разнотравно-солянковая, солончак типичный
Note: * – 1. Ephemeroid-wormwood-cereal, light-chestnut. 2. Cereal-wormwood, meadow-chestnut. 3. Forb-campfire-petrosimonia, typical saline. 4. Cereal-saltwort, light-chestnut. 5. Wormwood-saltwort, meadow-chestnut. 6. Forb saltwort, typical saline

Химический состав биоценозов Терско-Кумской низменности, в отличие от аналогов других равнинных территорий, имеет повышенное содержание (наряду с кальцием и калием) азота. Нами выявлены различия в его концентрациях в фитомассе доминирующих видов на солончаке типичном автоморфном, где наиболее

высокими показателями характеризовались полынь Лерха, полынь таврическая, солянка грузинская (иберийская), сопоставимыми со значениями в сеянных многолетних травах – люцерной синей Кевсала и пыреем удлинённым (*Medicago sativa* L. и *Elytrigia elongata*) (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация и коэффициент биологического поглощения (КБП) азота (надземная часть/почва) в доминирующих представителях фитоценозов на солончаке типичном автоморфном в 2018 г.
Table 3. Concentration and coefficient of biological absorption (KBA) of nitrogen (above ground part/soil) in the dominant representatives of phytocenoses on automorphic typical saline in 2018

Вид растений Plant species	Семейство Family	N, %	КБП KBA
Полынь Лерха <i>Artemisia lercheana</i> Web.ex Stechm.	Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	1.37	6.9
Полынь таврическая <i>Artemisia taurica</i>	Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	1.30	6.5
Курай-солянка грузинская <i>Salsola iberica</i> Sennen&Pau	Маревые <i>Chenopodiaceae</i>	1.28	6.4
Ячмень заячий <i>Hordeum leporinum</i> Link.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.68	3.4
Мятлик луковичный <i>Poa bulbosa</i> L.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.20	1.0
Костер растопыренный <i>Bromus squarrosus</i> L.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.38	1.9
Бурачок пустынный <i>Alyssum desertorum</i> Stapf	Крестоцветные <i>Brassicaceae</i>	0.32	1.6
Смолевка коническая <i>Silene conica</i> L.	Гвоздичные <i>Caryophyllaceae</i>	0.27	1.4
Люцерна синяя Кевсаля (посев) <i>Medicago sativa</i> L.	Бобовые <i>Fabaceae</i>	1.50	7.5
Пырей удлиненный (посев) <i>Elytrigia elongata</i> (Host) Nevski	Злаковые <i>Poaceae</i>	1.20	6.0

Эти же виды растений имели самые высокие КБП, превышающие аналогичные показатели в растениях из семейства злаковые (*Poaceae*) в 3,1 раза, гвоздичные (*Caryophyllaceae*) – в 1,4, крестоцветные (*Brassicaceae*) – в 4,7 раза. Существенные различия по концентрации азота отмечено и в фитомассе растительных ассоциаций. Наименьшие значения получены в разнотравно-кострово-петросимониевой и эфемероидно-полынно-злаковой ассоциациях – 1,72–1,74%, где доминировал мятликовый фитоценоз с минимальными ее значениями – 0,1–0,3%. Достоверно выше она в злаково-полынной, полынно-солянковой, разнотравно-солянковой и злаково-солянковой ассоциации: соответственно 1,9; 1,97; 2,2 и 2,57%. Высокая концентрация азота в этих ассоциациях связана с преобладанием в них видов полыни таврической и Лерха, солянки грузинской, в которых ее значения в 5–8 раз выше, чем в фитоценозах, где преобладают представители семейства злаковых, крестоцветных и гвоздичных (табл. 4). Так, в надземной фитомассе светло-каштановой почвы концентрация его в бобовых растениях составила 1,80%, в разнотравье (полыни таврическая и Лерха) – соответственно 1,30 и 1,37%, в солянках (курай) – 1,28%, а в растениях из семейства мятликовых значительно меньше – 0,9%.

В наших исследованиях концентрация азота имеет высокие показатели: на светло-каштановой почве – 1,82% от абсолютно сухой массы, на лугово-каштановой, она снижалась до 1,75, на солончаке типичном – до 1,38%. Показатели ее в корневой массе растительных ассоциаций в 3,2 раза меньше, чем в надземной. Но и в данном случае значение азота в светло-каштановой почве выше, чем в лугово-каштановой на 14,8%, по сравнению с солончаком типичным на 15,3%.

Запасы азота в корневой массе в среднем по растительным ассоциациям и типам почв составляют 85,3% от суммарной их величины, в том числе на светло-каштановой почве 154,3 кг/га, на лугово-каштановой и солончаке типичном – меньше соответственно на 27,0 и 39,3%. В зеленой и мертвой массе растительных остатков (ветошь и войлок) в условиях Терско-Кумской низменности примерно одинаковы. По блокам растительного вещества запасы азота образуют следующий убывающий ряд: корни $\geq$ зеленая масса $\geq$ ветошь $\geq$ войлок.

Таким образом, тип почвы и функционирующие на нем растительные ассоциации играют существенную роль в накоплении запасов азота в надземной и подземной частях фитоценозов.

Известно, что некоторое количество азота поступает в почву из атмосферы с осадками. В зимний период таким путем поступает 0.065 ± 0.05 г/м² – 0.062 г/м² [26]. По данным М.А. Бобрицкой [27] количество водно-растворимого азота, попадающего с осадками из атмосферы на поверхность почвы за год, составляет 0.30 – 0.45 г/м², в частности, в районе Ростова-на-Дону – 0.406 – 0.416 г/м², или 0.034 г/м² в среднем в месяц. Эти значения незначительно отличаются от данных других авторов [28; 29]. С учетом небольшого количества осадков, отсутствия крупных промышленных объектов, поступление азота из атмосферы в почву в рассматриваемом регионе исследований мы приняли в количестве 2 кг/га.

При расчетах количества азота выщелоченных из надземных органов фитоценозов нами приняты данные А.А. Титляновой [30] с учетом незначительного количества атмосферных осадков (годовое количество осадков в среднем составляет до 292 мм) в природных условиях полупустыни. С учетом различий в накоплении

растительного вещества в различных типах почв, выщелачивание азота из надземных органов в светло-каштановую почву нами принято 0,3 кг/га, в лугово-

каштановую – 0,2, в солончак типичный автоморфный – 0,1 кг/га.

Таблица 4. Концентрация и запасы азота в блоках органической массы по растительным ассоциациям и типам почв Терско-Кумской низменности за 2011–2018 гг., кг/га

Table 4. Nitrogen concentration and reserves in plant matter blocks by plant associations and soil types of the Terek-Kuma lowland for 2011–2018, kg/ha

Растительная ассоциация, тип почвы* Plant association, soil type*	Блок растительного вещества Plant matter block				Вся надземная фитомасса All above ground phytomass
	Зеленая масса Green mass	Ветошь Vetosh	Войлок Voilok	Корни Roots	
Концентрация азота, % / Nitrogen concentration, %					
1	1.72±0.12	0.98±0.14	1.17±0.10	1.23±0.19	3.87
2	1.91±0.18	1.76±0.20	1.72±0.12	1.2±0.14	5.39
3	1.74±0.22	1.43±0.15	1.41±0.17	1.11±0.12	4.58
4	2.57±0.13	1.43±0.12	1.7±0.16	2.4±0,19	5.7
5	1.97±0.18	1.8±0.16	1.82±0.18	2.32±0.13	5.59
6	2.21±0.17	1.64±0.14	1.7±0.16	2.66±0.14	5.55
Запасы азота, кг/га / Nitrogen reserves, kg/ha					
1	9.3	5.2	5.8	115.3	20.3
2	4.5	4.03	3.23	51.5	11.76
3	3.7	2.9	2.7	38.0	9.3
4	20	11.0	10.8	235	41.8
5	6.72	6.23	5.55	143.8	18.5
6	6.83	5.26	5.47	122.5	17.56

Примечание: * – 1. Эфемероидно-полынно-злаковая, светло-каштановая. 2. Злаково-полынная, лугово-каштановая.

3. Разнотравно-кострово-петросимониевая, солончак типичный. 4. Злаково-солянковая, светло-каштановая.

5. Полынно-солянковая, лугово-каштановая. 6. Разнотравно-солянковая, солончак типичный

Note: * – 1. Ephemeroid-wormwood-cereal, light-chestnut. 2. Cereal-wormwood, meadow-chestnut.

3. Forb-campfire-petrosimonia, typical saline. 4. Cereal-saltwort, light-chestnut.

5. Wormwood-saltwort, meadow-chestnut. 6. Forb-saltwort, typical saline

В элементарной форме азот не может усваиваться растениями, за исключением накопленного не симбиотическим и симбиотическим путем [31] Согласно исследованиям Гасанова Г.Н. и др. [32] ведущая бобовая культура в Западном Прикаспии – люцерна – при урожайности 9–10 т/га сена накапливает на 1 га 200–220 кг симбиотического азота. Но доля бобовых культур в урожае фитомассы Терско-Кумской низменности за годы исследований не превышала 5–7%. Поэтому при расчетах баланса этого элемента питания симбиотическая фиксация нами принята 2 кг/га.

Существенная часть азота поступает в почву за счет выделения живых организмов (аммиак, мочевины, мочевины кислоты), а также с фекалиями животных [33] Так, Кулакова Н.Ю., Абатуров Б.Д. [26] выявили, что в местах скопления экскрементов (у выходов нор зверьков), занимающих около 1% территории, в биоценозы пустынного типа зоогенного азота поступает в 17 раз больше, чем с растительными остатками и достигает 75 г/м². Но в целом поступление зоогенного азота в почву меньше, чем с опадом надземной и подземной частей растений и составляет 1,7 г/м² или 17 кг/га. Такое количество принято нами в приходной части баланса азота на экспериментальном участке.

Помимо выноса надземной и подземной фитомассой, часть азота из почвы теряется при денитрификации. Размеры потерь зависят от гидротермических условий, реакции среды и других

условий: при высоких температурах воздуха и почвы, а также высоких значениях pH, потери его увеличиваются. Так, при pH = 7,0 они равны 0%; 8,6–13%; 9,3–13%, при pH 10,5 – 87% [30]. В нашем случае, с учетом слабощелочной реакции среды (pH светло-каштановой почвы 7,2, лугово-каштановой 7,5, солончака 8,0) и высоких летних температур воздуха – 25–35°C за май – сентябрь и содержания гидролизующего азота соответственно по типам почв 36,5; 41,5 и 30,0 кг/100 г нами приняты потери азота на денитрификацию из светло-каштановой почвы за год 0,6 кг/га, из лугово-каштановой – 1,2, из солончака типичного 9,0 кг/га.

Поступление азота в почву существенно отличается в зависимости от типа почвы особенно по таким статьям, которые связаны с объемами накопления растительной массы (табл. 5).

В светло-каштановую почву при разложении корневой массы фитоценозов азота поступает соответственно в 2,6 и 3,6 раза больше, чем в лугово-каштановую почву и солончак типичный, при разложении степного войлока – в 2,8 и 3,4 раза, зоогенных накоплений – в 1,2 и 1,9 раза. Более высокая продуктивность пастбищных фитоценозов является также причиной поступления в почву большего количества азота от симбиотической фиксации бобовыми травами и выщелачивания его из надземных органов растений. Поэтому суммарное поступление азота в светло-каштановую почву было больше, чем в лугово-каштановую в 2,7 раза, в солончак типичный – в 3,5 раза.

Таблица 5. Поступление в почву и вынос азота естественным фитоценозом в зависимости от типа почвы в Терско-Кумской низменности, 2011–2018 гг., кг/га**Table 5.** Nitrogen input and removal by natural phytocenosis depending on type of soil in the Terek-Kuma lowland, 2011–2018, kg/ha

Показатель Indicator	Тип почвы Soil type		
	Светло-каштановая Light-chestnut	Лугово-каштановая Meadow-chestnut	Солончак типичный Typical saline
Поступило в почву: Received into the soil:			
с атмосферными осадками with atmospheric precipitation	2,0	2,0	2,0
симбиотическая фиксация by symbiotic fixation	2,0	1,5	1,0
зоогенное накопление by zoogenic accumulation	17,0	14,0	9,0
выщелочено из надземных органов leached from above ground organs	0,3	0,2	0,1
при разложении войлока during decomposition of voilok	81,1	28,9	23,9
при разложении подземных органов during decomposition of underground organs	90,5	34,2	25,2
Всего в приходной части Total in consumed part	171,6	63,1	49,1
Вынос с урожаем фитомассы Removal with the harvest of phytomass	171,6	63,1	49,1
Денитрификация Denitrification	0,3	1,2	9,0
Всего в расходной части Total in consumable part	171,9	64,3	58,1
Баланс Balance	-0,3	-1,2	-9,0

Более высоким был и расход азота из почвы из светло-каштановой почвы в связи с высокой урожайностью фитомассы и минимальным расходом на денитрификацию. Этим объясняется минимальный минусовый баланс азота в этом типе почвы, в то время как в лугово-каштановой почве и солончаке типичном он сложился со значительными минусовыми показателями – 1,2 и 9 кг/га соответственно.

В результате комплексных исследований определено содержание общего, а также легкогидролизуемого азота в трех основных типах почв по сезонам года; исследовано влияние и взаимовлияние типов почв и шести растительных ассоциаций на накопление органической массы по блокам растительного вещества, концентрацию и запасы его в Северо-Западного Прикаспия. Определены основные приходные и расходные статьи и баланс азота. Ранее такие исследования в рассматриваемом регионе не проводили, имеются только данные по отдельным фрагментам данной проблемы, не увязанным в единый комплекс [26–36].

Ряд в виде различных соединений, но азот не запасается в резерв в живой клетке растений, как другие биофильные элементы (углерод, фосфор, калий, кальций и др.), поэтому растения не могут сразу усвоить большое количество этого элемента и накопить его в запас. В степной зоне злаковые травы накапливают незначительное количество азота в биологической форме: в надземной массе – 22, а в корнях – 18 кг/га [34].

В наших исследованиях в условиях полупустыни в надземной массе в зависимости от растительных

ассоциаций накапливалось разное количество азота: от 9,3 кг/га в полынно-солянково-злаковой ассоциации на солончаке типичном автоморфном, до 41,8 кг/га в злаково-полынной ассоциации на светло-каштановой почве. Не согласуются наши данные с приведенными выше показателями и по запасам азота в корнях растений. Они колеблются в зависимости от указанных нами факторов от 51,5 до 235 кг/га, то есть, размах колебаний очень большой и, главное, масса их выше указанных автором данных в 1,9–13,0 раз. Сказанное относится и к имеющимся сведениям о том, что в засохших частях степных растений Северного Прикаспия содержание азота было выше, чем в лесном опаде: 17,9 и 14,1 г/кг почвы соответственно [11; 34].

В этой связи надо отметить, что приведение обобщенных данных о запасах в надземной и подземной массе безотносительно к типу почвы, растительным ассоциациям может привести к недостаточно обоснованным выводам. Что касается более высоких значений массы корней в наших исследованиях, то это объясняется гидротермическими условиями зоны проведения исследований: в полупустынных ландшафтах соотношение корневой массы к надземной всегда выше, чем в более увлажненных регионах [37].

Выводы

1. Наибольшее содержание легкогидролизуемого азота во всех типах почв Северо-Западного Прикаспия наблюдается в апреле – 4,1 мг/100г в слое почвы 0–30 см в среднем по типам почв, когда складываются наиболее благоприятные гидротермические условия

для прохождения процессов нитрификации. Увеличение температуры воздуха до 22–26°C, снижение влажности почвы до 46–51% в июле – начале августа способствует снижению активности нитрифицирующих микроорганизмов и уменьшению этого элемента питания на 26,8% по сравнению с весенним сроком. В сентябре в его динамике наблюдается второй максимум, но содержание его все же уступает апрельскому сроку на 14,6%.

2. При всех сроках определения в среднесолонной светло-каштановой почве накапливается больше гидролизующего азота по сравнению с лугово-каштаной сильнозасолонной почвой на 7,0%, с солончаком типичным – на 15,8%.

3. Наиболее продуктивными в условиях Северо-Западного Прикаспия являются эфемероидно-лерхополюнно-мятликовые, эфемерово-полюнные, злаково-полюнные и разнотравно-костровые растительные сообщества. Согласно нашим исследованиям, наибольшее распространение на светло-каштановой почве получили первые три растительные ассоциации, особенно злаково-солянковая, на долю надземной части которой приходится 72,5% от общих запасов (24,34 т/га).

4. Основным поставщиком органической массы и питательных элементов в почву является подземная масса фитоценозов. Доля ее на светло-каштановой почве составляет 85,9%, на лугово-каштановой – 86,4, на солончаке типичном – 83,7% от всей накопленной ими массы.

5. В надземной фитомассе в бобовых растениях концентрация азота составила 1,8%, в разнотравье (полюны таврической и Лерха) – соответственно 1,3 и 1,37%, в солянках (курай) – 1,28%, а в растениях из семейства мятликовых значительно меньше – 0,9%.

6. Максимальная концентрация азота отмечена в злаково-полюнной, полюнно-солянковой, разнотравно-солянковой и злаково-солянковой ассоциациях: соответственно 1,9; 1,97; 2,2 и 2,57%, что связано с преобладанием в них видов полюны Таврической и Лерха, солянок иберийской. В ассоциациях, где преобладают представители семейств злаковых, крестоцветных и гвоздичных, она снижается до 1,72–1,74%. Более высокие показатели ее получены на светло-каштановой почве – 1,82% от абсолютно сухой массы, на лугово-каштановой она снижалась до 1,75, на солончаке типичном – до 1,38%. Показатели ее в корневой массе растительных ассоциаций в 3,2 раза меньше, чем в надземной.

7. Запасы азота по блокам растительного вещества образуют следующий убывающий ряд: корни ≥ зеленая масса ≥ ветошь ≥ войлок. В корневой массе в среднем по растительным ассоциациям и типам почв содержится 85,3% от суммарной их величины, которая на светло-каштановой почве достигает 154,3 кг/га, на лугово-каштановой и солончаке типичном – меньше соответственно на 27,0 и 39,3%.

8. В приходной части баланса в светло-каштановой почве накапливается (кг/га) 171,6 азота, в лугово-каштановой – 63,1, в солончаке типичном автоморфном – 49,1, в расходной части – соответственно 171,9; 64,3 и 58,1 кг/га. Баланс его на первом типе почв складывается с минимальным (0,6 кг/га) минусовым показателем, в двух других – с дефицитом соответственно 1,2 и 9 кг/га.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования проведены при финансовой поддержке МСХ РФ по ЕГИСУ НИОКТР 1022040900563-6-4.1.4

ACKNOWLEDGMENT

The studies were carried out with the financial support of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation according to EGISU NIOKTR 1022040900563-6-4.1.4

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Баширов Р.Р., Султанмахмедов М.С. Теоретически возможная и практически реализуемая по условиям влагообеспеченности и засоленности продуктивность светло-каштановой почвы Северо-Западного Прикаспия (на примере Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН) // Юг России: экология, развитие. 2014. N 2. С. 130–138.
2. Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б. О разнообразии почвенных ресурсов и их роли в создании продовольственной безопасности // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22. N 2 (67). С. 5–15.
3. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Баширов Р.Р. Зависимость урожайности пастбищных фитоценозов на различных типах почв Северо-Западного Прикаспия от экологического фактора и ФАР // Аридные экосистемы, 2017. Т. 3. N 2 (1). С. 24–28.
4. Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. N 1 (74). С. 3–10.
5. Радочинская Л.П., Кладиев А.К., Рыбашлыкова Л.П. Продукционный потенциал восстановленных пастбищ Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2019. Т. 25. N 1 (78). С. 61–68.
6. Джапова Р.Р. Динамика пастбищ и сенокосов Калмыкии. Элиста: Изд-во Калм. Ун-та, 2008. 176 с.
7. Усманов Р.З., Осипова С.В. Джалалова М.И., Бабаева М.А. Использование методов фитомелиорации на деградированных пастбищах Терско-Кумской низменности // Юг России: экология, развитие. 2008. N 3. С. 109–111.
8. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Салихов Ш.К. Видовой состав и продуктивность пастбищных фитоценозов Терско-Кумской низменности (на примере Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН) // Растительные ресурсы. 2017. N 53 (4). С. 459–475.
9. Гасанова З.У., Загидова Р.М. Особенности формирования деградированных пастбищ на фоне климатических изменений в Западном Прикаспии // Живые и биокосные системы. 2017. N 20. С. 18–25.
10. Асварова Т.А., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С. Баланс органического вещества и химических элементов в пастбищных фитоценозах Терско-Кумской равнины // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. N 2 (3). С. 412–415.
11. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Салихов Ш.К. Концентрация, транслокация и баланс фосфора в травяных экосистемах полупустынных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2019. N 2. С. 52–58. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2019-10054>
12. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Салихов Ш.К., Семенова В.В., Шайхалова Ж.О. Аккумуляция калия и кальция растительными ассоциациями пастбищных фитоценозов

- Терско-Кумской низменности // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2019. N 1. С. 46–56.
13. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Салихов Ш.К. Динамика химических элементов в блоках растительного вещества травяных экосистем Терско-Кумской низменности Прикаспия // Проблемы развития АПК. 2018. N 4. С. 39–45.
 14. Асварова Т.А., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С. Особенности накопления калия в надземной и подземной фитомассе в Терско-Кумской полупустыне Прикаспия // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2017. N 11 (3). С. 35–40.
 15. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Абдулаева А.С., Салихов Ш.К., Баширов Р.Р. Динамика климатических условий Терско-Кумской низменности Прикаспия за последние 120 лет // Юг России: экология, развитие. 2013. T. 8. N 4. С. 96–104.
 16. Аринушкина Е. В. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1970. С. 386–426.
 17. Ягодин Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.П. и др. Практикум по агрохимии. М.: Агропромиздат, 1987. 275 с.
 18. Титлянова А.А. Продуктивность травяных экосистем // Географическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Под ред. В.Б. Ильина. Наука: Сиб. отд-е, 1988. С. 109–127.
 19. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Т. I (Licopodiaceae – Urticaceae). 320 с.; Т. II (Euphorbiaceae – Dipsacaceae). 248 с.; Т. III (Campanulaceae – Hippuridaceae). 304 с.; Т. IV (Melanthiaceae – Acoraceae). 232 с. / Отв. ред. чл.-корр. РАН Р.В. Камелин. Махачкала: Издательский дом «Эпоха». 2009.
 20. Салманов А.Б. Агрохимическая характеристика почв, эффективность минеральных удобрений и перспективы их применения в условиях Дагестанской АССР // Всес. совещ. Госагрохимслужбы. Рига, 1970. С. 145–148.
 21. Залибеков З.Г. Опыт экологического анализа почвенного покрова Дагестана. Махачкала, 1995. 146 с.
 22. Баламирзоев М.А., Котенко М.Е. Экологические аспекты эволюции почв дельтовых районов Западного Прикаспия // Юг России: экология, развитие. 2009. N 4 (4). С. 200–204.
 23. Мирзоев Э.М.-Р. Почвенно-мелиоративное районирование Северо-Дагестанской низменности // Тр. почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1975. С. 63–73.
 24. Саидов А.К. Опустынивание почв водно-аккумулятивных равнин аридных областей России на примере почв Кизлярских пастбищ Дагестана. Авт. дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2009. 40 с.
 25. Гасанов Г.Н., Абасов М.М., Мусаев М.Р., Аджиев А.М. и др. Научные основы повышения плодородия почв Западного Прикаспия. Махачкала: ДГСХА, 2005. 258 с.
 26. Кулакова Н.Ю., Абатуров Б.Д. Элементы круговорота азота в ландшафтах Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. 2010. N 2. С. 151–159.
 27. Бобрицкая М.А. Поступление азота в почву с атмосферными осадками в различных зонах Европейской части СССР // Почвоведение. 1962. N 12. С. 5–61.
 28. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 186 с.
 29. Михайлов А.В., Лукьянов А.М., Быховец С.С., Припутина И.В. Влияние уровней выпадения азота и климатических изменений на различные способы ведения лесного хозяйства // Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. М.: Наука, 2007. 379 с.
 30. Титлянова А.А. Бюджет элементов питания в экосистемах // Почвоведение. 2007. N 12. С. 1422–1429.
 31. Трепачев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. М., 1999. 532 с.
 32. Гасанов Г.Н., Абасов М.М., Мусаев М.Р., Абдурахманов Г.М. и др. Экологическое состояние и научные основы повышения плодородия засоленных и подверженных опустыниванию почв Западного Прикаспия. М.: Наука, 2006. 264 с.
 33. Абатуров Б.Д. Критические параметры качества растительных кормов для сайгаков (*Saiga tatarica*) на естественном пастбище в полупустыне // Зоологический журнал. 1999. T. 78. N 8. С. 999–1010.
 34. Василенко Р.Н. Значение многолетних трав в системе земледелия // AgroOne. 2017. N 23. С. 23–25.
 35. Сиземская М.Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: КМК, 2013. 276 с.
 36. Кулакова Н.Ю. Распределение запасов углерода и азота в лугово-каштановых почвах Северного Прикаспия в естественных степных растительных сообществах и в лесных насаждениях // Вестник ВГУ, серия: география, геоэкология. 2014. N 1. С. 47–52.
 37. Сафиоллин Ф.Н. Продуктивность орошаемых сенокосов в поймах малых рек среднего Поволжья в зависимости от типа травостоя и режима азотного питания. М., 1984. 20 с.

REFERENCES

1. Gasanov G.N., Asvarova T.A., K.M. Gadzhiev, Akhmedova Z.N., Abdulayeva A.S., Bashirov R.R., Sultanakhmedov M.S. Theoretically possible and practically realized under the conditions of moisture supply and salinity productivity of light chestnut soil of the North-Western Precaspian (on the example of the Kochubey biosphere station of the PIBR DNC RAS). Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology, development]. 2014, no. 2, pp. 130–138. (In Russian)
2. Zalibekov Z.G., Bierslanov A.B. On the diversity of soil resources and their Role in creating food security. Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2016, vol. 22, no. 2 (67), pp. 5–15. (In Russian)
3. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Akhmedova Z.N., Abdulayeva A.S., Bashirov R.R. Dependence of pasture phytocenosis yield on various types of soils in the North-Western Precaspian on the ecological factor and FAR. Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2017, vol. 3, no. 2 (1), pp. 24–28. (In Russian)
4. Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S. on the 30th anniversary of the "General scheme for combating desertification of black lands and Kizlyar pastures". Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2018, vol. 24, no. 1 (74), pp. 3–10. (In Russian)
5. Radochinskaya L.P., Kladiev A.K., Rybashlykova L.P. Productive potential of restored pastures of the North-Western Precaspian. Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2019, vol. 25, no. 1 (78), pp. 61–68. (In Russian)
6. Dzhapova R.R. *Dinamika pastbishch i senokosov Kalmykii* [Dynamics of pastures and haymaking in Kalmykia]. Elista, Kalmykia Publ., 2008, 176 p. (In Russian)
7. Usmanov R.Z., Osipova S.V., Jalalova M.I., Babaeva M.A. Use of phytomelioration methods on degraded pastures of the Terek-Kuma lowland. Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology and development]. 2008, no. 3, pp. 109–111. (In Russian)
8. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Abdulayeva A.S., Akhmedova Z.N., Salikhov Sh. K. Species composition and productivity of pasture phytocenoses of the Terek-Kuma lowland (on the example of the Kochubey biosphere station of the PIBR DNC RAS). Rastitel'nye resursy [Plant resources]. 2017, no. 53 (4), pp. 459–475. (In Russian)

9. Gasanova Z.U., Zagidova R.M. Features of formation of degraded pastures against the background of climate changes in the Western Precaspian. Zhivye i biokosnye sistemy [Living and biokosnye systems]. 2017, no. 20, pp. 18–25. (In Russian)
10. Asvarova T.A., Gasanov G.N., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Akhmedova Z.N., Abdulayeva A.S. Balance of organic matter and chemical elements in pasture phytocenoses of the Terek-Kuma plain. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk [Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences]. 2017, vol. 19, no. 2 (3), pp. 412–415. (In Russian)
11. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Akhmedova Z.N., Abdulayeva A.S., Salikhov Sh.K. Concentration, translocation and balance of phosphor in grass ecosystems of semi-desert landscapes of the North-Western Precaspian. *Arid ecosystems*, 2019, no. 2, pp. 52–58. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2019-10054>
12. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Abdulaeva A.S., Akhmedova Z.N., Salikhov Sh.K., Semenova V.V., Shaychalova J.O. Accumulation of potassium and calcium in plant associations of grassland plant communities of Terek-Kuma lowland. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region [News of higher educational institutions. North Caucasus region]. 2019, no. 1, pp. 46–56. (In Russian)
13. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Akhmedova Z.N., Abdulayeva A.S., Salikhov Sh.K. Dynamics of chemical elements in blocks of plant matter in grass ecosystems of the Terek-Kuma lowland of the Precaspian. Problemy razvitiya APK [Problems of agro-industrial complex development]. 2018, no. 4, pp. 39–45. (In Russian)
14. Asvarova T.A., Gasanov G.N., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Akhmedova Z.N., Abdulayeva A.S. Features of potassium Accumulation in aboveground and underground phytomass in the Tersk-Kum semi-desert Of the Caspian sea. Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki [News of Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences]. 2017, no. 11 (3), pp. 35–40. (In Russian)
15. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Abdulayeva A.S., Akhmedova Z.N., Salikhov Sh.K., Bashirov R.R. Dynamics of climatic conditions of the Terek-Kuma lowland of the Precaspian over the past 120 years. Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology and development]. 2013, vol. 8, no. 4, pp. 96–104. (In Russian)
16. Arinushkina E.V. *Khimicheskii analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Moscow, MSU Publ., 1970, pp. 386–426. (In Russian)
17. Yagodin B.A., Deryugin I.P., Zhukov Yu.P. et al. *Praktikum po agrokhimii* [Practicum on Agrochemistry]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987, 275 p. (In Russian)
18. Titlyanova A.A. Productivity of grass ecosystems. *Biologicheskaya produktivnost' travyanykh ekosistem. Geograficheskie zakonomernosti i ekologicheskie osobennosti* [Biological productivity of grass ecosystems. Geographical patterns and environmental features]. Nauka Publ., 1988, pp. 109–127. (In Russian)
19. Murtazaliev R.A. Synopsis of the flora of Dagestan, vol. I (Licopodiaceae – Urticaceae), 320 p.; vol. II (Euphorbiaceae – Dipsacaceae), 248 p.; vol. III (Campanulaceae – Hippuridaceae), 304 p.; vol. IV (Melanthiaceae – Acoraceae), 232 p. Makhachkala, Epoch Publ., 2009. (In Russian)
20. Salmanov A.B. Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv, effektivnost' mineral'nykh udobrenii i perspektivy ikh primeneniya v usloviyakh Dagestanskoi ASSR [Agrochemical characteristics of soils, the effectiveness of mineral fertilizers and prospects for their use in the conditions of the Dagestan ASSR]. *Vsesoyuznoe soveshchanie Gosagrokhimsluzhby, Riga, 1970* [All-Union meeting of the State Agrochemical Service, Riga, 1970]. Riga, 1970, pp. 145–148. (In Russian)
21. Zalibekov Z.G. *Opyt ekologicheskogo analiza pochvennogo pokrova Dagestana* [Experience of ecological analysis of the soil cover of Dagestan]. Makhachkala, 1995, 146 p. (In Russian)
22. Balamirzoev M.A., Kotenko M.E. Ecological aspects of soil evolution in the Delta regions of the Western Caspian sea. Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology, development]. 2009, no. 4 (4), pp. 200–204. (In Russian)
23. Mirzoev E.M.-R. Soil-reclamation zoning of the North Dagestan lowland. In: *Trudy pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Proceedings of the V.V. Dokuchaev Soil Institute]. Moscow, 1975, pp. 63–73. (In Russian)
24. Saidov A.K. *Opustynivanie pochv vodno-akkumulyativnykh ravnin aridnykh oblastei Rossii na primere pochv Kizlyarskikh pastbishch Dagestana. Avt. Diss.dokt. boil. nauk* [Desertification of soils of water-accumulative plains of arid regions of Russia on the example of soils of Kizlyar pastures of Dagestan. Auth. Dis. Doc. Biol. Sciences]. Moscow, 2009, 40 p. (In Russian)
25. Gasanov G.N., Abasov M.M., Musaev M.R., Adzhiev A.M., et al. *Nauchnye osnovy povysheniya plodorodiya pochv Zapadnogo Prikaspiya* [Scientific bases of increasing soil fertility in the Western Precaspian]. Makhachkala, DGSSA Publ., 2005, 25 p. (In Russian)
26. Kulakova N.Yu., Abaturov B.D. Elements of the nitrogen cycle in the landscapes of the Northern Precaspian. Povolzhskii ekologicheskii zhurnal [Volga ecological journal]. 2010, no. 2, pp. 151–159. (In Russian)
27. Bobritskaya M.A. Nitrogen supply to the soil with atmospheric precipitation in various zones of the European part of the USSR. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1962, no. 12, pp. 5–61. (In Russian)
28. Kudiyarov V.N. *Tsikl azota v pochve i effektivnost' udobrenii* [Nitrogen cycle in soil and fertilizer efficiency]. Moscow, Nauka Publ., 1989, 186 p. (In Russian)
29. Mikhailov A.V., Lukyanov A.M., Bykhovets S.S., Pripulina I.V. Influence of nitrogen deposition levels and climate changes on various methods of forest management. *Modelirovanie dinamiki organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh* [Modeling the dynamics of organic matter in forest ecosystems]. Moscow, Nauka Publ., 2007, 379 p. (In Russian)
30. Titlyanova A.A. Budget of food elements in ecosystems. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2007, no. 12, pp. 1422–1429. (In Russian)
31. Trepachev E.P. *Agrokhimicheskie aspekty biologicheskogo azota v sovremennom zemledelii* [Agrochemical aspects of biological nitrogen in modern agriculture]. Moscow, 1999, 532 p. (In Russian)
32. Gasanov G.N., Abasov M.M., Musaev M.R., Abdurakhmanov G.M., et al. *Ekologicheskoe sostoyanie i nauchnye osnovy povysheniya plodorodiya zasolennykh i podverzhennykh opustynivaniyu pochv Zapadnogo Prikaspiya* [Ecological state and scientific bases of increasing the fertility of saline and desertification-prone soils of the Western Caspian region]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 264 p. (In Russian)
33. Abaturov B.D. Critical parameters of the quality of plant feed for Saiga (Saiga tatarica) on a natural pasture in a semi-desert. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal]. 1999, vol. 78, no. 8, pp. 999–1010. (In Russian)
34. Vasilenko R.N. The value of perennial grasses in the system of agriculture. *AgroOne* [AgroOne]. 2017, no. 23, pp. 23–25. (In Russian)
35. Sizemskaya M.L. *Sovremennaya prirodno-antropogennaya transformatsiya pochv polupustyni Severnogo Prikaspiya* [Modern natural and anthropogenic transformation of soils in the semidesert of the Northern Precaspian]. Moscow, KMK Publ., 2013, 276 p. (In Russian)
36. Kulakova N.Yu. Distribution of carbon and nitrogen reserves in meadow-chestnut soils of the Northern Precaspian in natural steppe plant communities and forest plantations.

Vestnik VGU, Seriya: Geografiya, geoeкологиya [Vestnik VSU, Series: Geography, geoeecology]. 2014, no. 1, pp. 47–52. (In Russian)

37. Safiollin F.N. *Produktivnost' oroshaemykh senokosov v poimakh malykh rek srednego povolzh'ya v zavisimosti ot tipa*

travostoya i rezhima azotnogo pitaniya [Productivity of irrigated hayfields in the floodplains of small rivers of the middle Volga region depending on the type of grass and nitrogen Nutrition regime]. Moscow, 1984, 20 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Гасан Н. Гасанов и Татьяна А. Асварова приняли участие в написании работы и в разработке ее концепции. Камиль М. Гаджиев, Рашид Р. Баширов, Айшат С. Абдулаева и Кабират Б. Гимбатова приняли участие в сборе материала, в анализе и интерпретации. Раджаб З. Усманов, Мурат А. Арсланов и Магомед Р. Мусаев приняли участие в сборе материала, интерпретации и корректуре статьи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Gasani N. Gasanov and Tatyana A. Asvarova participated in the development of its concept and the writing of the work. Kamil M. Gadzhiev, Rashid R. Bashirov, Aishat S. Abdulaeva and Kabirat B. Gimbatova participated in the collection of material, in analysis and interpretation. Rajab Z. Usmanov, Murat A. Arslanov and Magomed R. Musaev participated in the collection the material, and interpretation and proofreading of the article. 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

Гасан Н. Гасанов / Gasan N. Gasanov <http://orcid.org/0000-0002-6181-5196>

Татьяна А. Асварова / Tatyana A. Asvarova <http://orcid.org/0000-0002-5285-9250>

Камиль М. Гаджиев / Kamil M. Gadzhiev <http://orcid.org/0000-0003-1150-9593>

Раджаб З. Усманов / Rajab Z. Usmanov <http://orcid.org/0000-0002-4046-5991>

Мурат А. Арсланов / Murat A. Arslanov <http://orcid.org/0000-0002-3461-3564>

Магомед Р. Мусаев / Magomed R. Musaev <http://orcid.org/0000-0002-4467-5568>

Рашид Р. Баширов / Rashid R. Bashirov <http://orcid.org/0000-0002-6331-2592>

Кабират Б. Гимбатова / Kabirat B. Gimbatova <http://orcid.org/0000-0002-7516-0901>

Айшат С. Абдулаева / Aishat S. Abdulaeva <http://orcid.org/0000-0001-9056-1909>

Оригинальная статья / Original article
УДК 582.287.2 (470.67) : 502.753
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-44-52

First modern findings of red-listed fungus *Battarrea phalloides* (*Agaricales*, *Basidiomycota*) in the Republic of Dagestan, Russia

Sergey V. Volobuev and Nataliya V. Shakhova

Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

Principal contact

Sergey V. Volobuev, Candidate of Sciences (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Systematics and Geography of Fungi, Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences; 2 Professora Popova St, Saint Petersburg, Russia 197022.
Tel. +78123725469
Email sergvolobuev@binran.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>

How to cite this article

Volobuev S.V., Shakhova N.V. First modern findings of red-listed fungus *Battarrea phalloides* (*Agaricales*, *Basidiomycota*) in the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 44-52. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-44-52

Received 1 March 2023

Revised 14 April 2023

Accepted 27 April 2023

Abstract

Aim. The monitoring of known as well as the search for new localities of rare and protected species is a requirement for Red Data Books and conservation efforts as a whole. The aim of this paper is to describe the finding of basidiomycete fungus *Battarrea phalloides*, a rare and protected species in the Republic of Dagestan, and to discuss features of its phylogenetic diversity, distribution and ecology.

Material and Methods. Primary identification of the material was carried out by light microscopy. Phylogenetic analysis was performed based on the Maximum Likelihood method.

Results. New locality of *B. phalloides* has been revealed in Gunibsky district of the Republic of Dagestan. A detailed description of macro- and micromorphology of the collected basidioma, as well as peculiarities of new ecotope occupied by the species is presented. The complete ITS1–5.8S–ITS2 nrDNA sequence has been obtained and deposited in the NCBI GenBank database. In phylogenetic analysis the specimen studied formed a separate clade among other individuals of *B. phalloides* with different geographical origins.

Conclusion. The new *B. phalloides* finding recorded in Dagestan allowed us to expand the knowledge on its ecology and distribution, as well as on intraspecific phylogenetic structure of the species red-listed in the region and little-known in the Caucasus.

Key Words

Biodiversity, DNA barcoding, fungal conservation, gasteromycetes, North-Eastern Caucasus, phylogeny, Red Data Book, sandy stiltball.

Первые современные находки краснокнижного гриба *Battarreia phalloides* (Agaricales, Basidiomycota) в Республике Дагестан, Россия

Сергей В. Волобуев, Наталия В. Шахова

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

Контактное лицо

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

Email sergvolobuev@binran.ru

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

Формат цитирования

Волобуев С.В., Шахова Н.В. Первые современные находки краснокнижного гриба *Battarreia phalloides* (Agaricales, Basidiomycota) в Республике Дагестан, Россия // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 44-52. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-44-52

Получена 1 марта 2023 г.

Прошла рецензирование 14 апреля 2023 г.

Принята 27 апреля 2023 г.

Резюме

Цель. Мониторинг известных, а также поиск новых местонахождений редких и охраняемых видов является необходимым условием ведения Красных книг и природоохранной деятельности в целом. Цель данной работы – представить описание находки базидиомицета *Battarreia phalloides*, редкого и охраняемого вида в Республике Дагестан, а также обсудить особенности его филогенетического разнообразия, распространения и экологии.

Материал и методы. Первичная идентификация материала выполнена методами световой микроскопии. Филогенетический анализ проведен на основе метода максимального правдоподобия.

Результаты. Выявлено новое местонахождение *B. phalloides* на территории Гунибского района Республики Дагестан. Приведено подробное описание макро- и микроморфологии собранной базидиомы, а также особенностей занимаемого данным видом нового экотопы. Получена и депонирована в международную базу NCBI GenBank полная нуклеотидная ITS1–5.8S–ITS2 области ярдНК. По итогам филогенетического анализа изученный образец сформировал отдельную кладу среди других представителей вида *B. phalloides*, имеющих различное географическое происхождение.

Заключение. Новая находка *B. phalloides*, зарегистрированная в Дагестане, позволила расширить знания об экологии и распространении, а также о внутривидовой филогенетической структуре краснокнижного в регионе и малоизвестного на Кавказе вида.

Ключевые слова

биоразнообразие, ДНК-штрихкодирование, охрана грибов, гастеромицеты, макромицеты, Северо-Восточный Кавказ, филогения, Красная книга, баттаррея весёлковая.

INTRODUCTION

Fungi play a crucial role in terrestrial ecosystem functioning as saprotrophs, parasites and mycorrhizae-forming agents. They are main drivers of carbon cycle owing to the ability to decompose a wide range of plant remnants – from large-size coarse woody debris to modified lignocellulose-containing fragments of litter [1–3]. The unique enzymatic complexes and rather high adaptability to abiotic environmental factors predict the significant diversity of habitats and areas occupied by fungi [4–6].

At the same time, most fungal species, along with animals and plants, are also affected by loss and degradation of habitat, pollution, pressure from invasive species, and direct and indirect impacts of climate change [7]. The identification and documentation of those species most in need of conservation attention if global or regional extinction rates are to be reduced is the aim of red-lists [8].

Red-lists are one of key sources of information for setting conservation priorities along with other conservation values. In particular, an analysis of habitat and substratum requirements of red-listed organisms makes it possible to determine environmental deficiencies and helps to identify appropriate habitat qualities and land-management requirements for red-listed species [9].

The monitoring of known localities of rare and protected species, as well as the search for new occurrences, is a mandatory requirement for conservation activities and the maintenance of the Red Data Books. The

Red Data Book of the Republic of Dagestan includes ten species of non-lichenized fungi, among which ascomycetes (one species), aphyllorphoroid (six species), agaricoid (one species) and gasteroid (two species) basidiomycetes are represented. The latter group contains the species *Battarrea phalloides*, which is protected in the Republic of Dagestan with category 3 (VU), vulnerable species [10].

In 2022, a new locality of basidiomycete fungus *Battarrea phalloides* was discovered during the mycological survey on the territory of Gunibsky district of the Republic of Dagestan. This study is aimed to describe the new finding of *Battarrea phalloides*, a rare and protected species in the Republic of Dagestan, and to discuss features of its phylogenetic diversity, distribution and ecology.

MATERIAL AND METHODS

Specimen of *Battarrea phalloides* presented by a single mature basidioma was collected in September 2022 on soil under living shrub of *Berberis* sp. in scrubland with *Cornus australis*, *Hippophaë rhamnoides*, *Prunus cerasifera*, *Rosa* sp. and *Asparagus* sp. (Fig. 1) in a north-east-facing slope, in 6 km from Salta settlement along the road to Gunibsky hydroelectric power station, Gunibsky District, Republic of Dagestan. The geographical coordinates of sampling area are 42.42513° N, 47.00704° E, altitude is 940 m a.s.l. The voucher specimen is deposited in the Mycological Herbarium of the Komarov Botanical Institute, Saint Petersburg (LE) under the collection number LE F-342520.



Figure 1. The habitat of *Battarrea phalloides* revealed in Gunibsky district, Republic of Dagestan. Photo S.V. Volobuev
Рисунок 1. Местобитание *Battarrea phalloides*, выявленное в Гунибском районе Республики Дагестан.
Фото С.В. Волобуева

Identification of specimen was performed following Pegler et al. [11].

The description of macromorphological characteristics is based on the study a single basidioma of *Battarreia phalloides* collected by the authors. Microscopic features were studied by light microscopy technique using a LOMO Mikmed-6 microscope (Russia) and a Carl Zeiss AxioScope A1 microscope (Germany) with magnification up to 1000 $\times$ and an AxioCam MRC5 digital camera (Germany). Small pieces of gleba were mounted in a 5% aqueous solution of KOH. A total of 30 basidiospores with ornamentation were measured. The Q value means an average length/width ratio of all measured individual basidiospores.

SPECIMENS STUDIED: *Battarrea phalloides* (Dicks.) Pers. — Russian Soviet Federative Socialist Republic, Terskaya Guberniya, Kizlyarskii Uezd, on the road from Bolshaya Areshevka to Marenovka [current locality — Russia,

Republic of Dagestan, Kizlyarsky District, vicinity of Novaya Serebryakovka], on solonchak, 18.10.1922, coll. and det. A. I. Lobik (LE 1983, as *Battarrea stevenii* (Libosch.) Fr.) (Fig. 2). — Russian Soviet Federative Socialist Republic, Terskaya Guberniya, Kizlyarskii Uezd, on the road between Bolshaya Areshevka and Marenovka [current locality – Russia, Republic of Dagestan, Kizlyarsky District, vicinity of Novaya Serebryakovka], on solonchak, 18.10.1922, coll. and det. A. I. Lobik (LE 1984, as *Battarrea stevenii* (Libosch.) Fr.). — Russia, Republic of Dagestan, Gunibsky District, northern bank of the Bakdakuli river, north-east-facing slope, in 6 km from Salta settlement along the road to Gunibskaya hydroelectric power station, 42.42513° N, 47.00704° E, 940 m a.s.l., scrubland (*Berberis*, *Cornus australis*, *Hippophaë rhamnoides*, *Prunus cerasifera*, *Rosa*), on soil, 23.09.2022, coll. and det. S. V. Volobuev and N. V. Shakhova (LE F-342520).

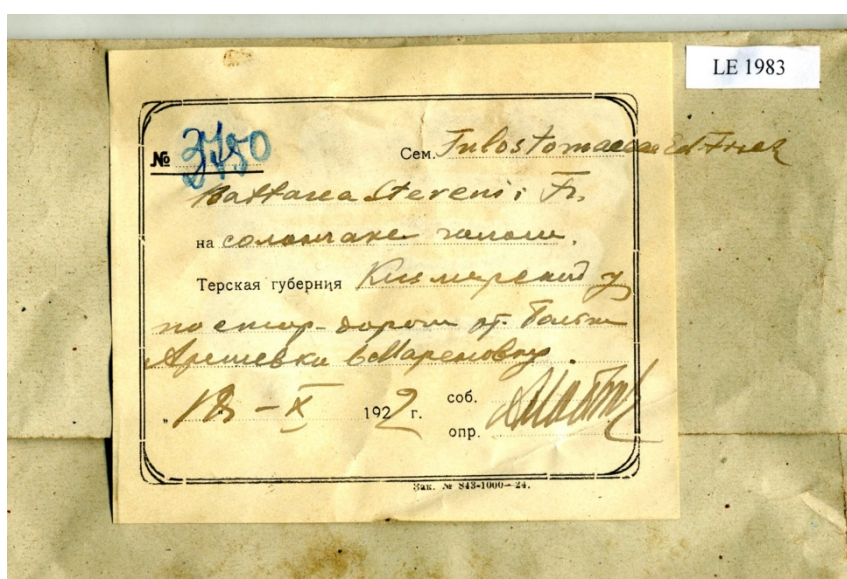


Figure 2. Herbarium envelope with the specimen of *Battarrea stevenii* (LE 1983) collected by A.I. Lobik in 1922
Рисунок 2. Гербарный конверт с образцом *Battarrea stevenii* (LE 1983), собранным А.И. Лобиком в 1922 году

DNA extraction, amplification, and sequencing were performed according to the procedures described in Volobuev and Shakhova [12]. Additionally, 38 sequences of *B. phalloides* and two sequences of *Phellorinia herculeana* (an outgroup) were retrieved from GenBank [13]. A total of 41 ITS sequences were aligned with a MAFFT version 7 web tool [14–15] using the E-INS-i option. Maximum Likelihood (ML) analysis was performed in an IQ-TREE Web Server [16] with 1000 ultrafast bootstrap replicates. Phylogenetic tree was visualized using FigTree 1.4.0 and edited using Adobe Illustrator CS5.1.

RESULTS

Based on macro- and micromorphological analyses, the gasteroid fungus *Battarreia phalloides* has been identified (Fig. 3). The description of Dagestanian specimen is presented below.

Battarrea phalloides (Dicks.) Pers., Syn. Meth. Fung. (Göttingen) 1: XIV, 129 (1801).

Basionym: *Lycoperdon phalloides* Dicks., Fasc. Pl. Crypt. Brit. (London) 1: 24 (1785).

BASIDIOMA 40 cm high, single, mature, epigeous, consisting of a long stipe with an apical spore sac (Fig. 3, A).

STIPE 37 cm high, dry, greyish brown with shaggy surface, covered by cinnamon-brown spore mass, curved to banana-shaped, swollen in a middle part to 3.5 cm, narrowed toward both the apex to 0.8 cm and the base to 2.5 cm, rigid with fibrous texture, hollow inside, with a bunch of white, shiny, silky, transparent hyphae.

EXOPERIDIUM brownish-cream, covered by brown spore mass, membranous, buried in soil and forming a cup-shaped volva at the base of the stipe.

ENDOPERIDIUM straw-whitish, thin, papyraceous.

GLEBA 8.5 cm in diameter and 2.5 cm high, convex to hemispherical, exposed, powdery, rusty-brown.

CAPILLITIUM of hyaline, thin-walled, smooth, clamped hyphae up to 5 μ m wide.

ELATERS 7.0–9.8 μm wide, worm-shaped, beige to pale sandy brown, with smooth, refractive, spiral thickened walls (Fig. 3, B).

BASIDIOSPORES 5.2–7.4 $\times$ 4.9–6.9 μm
($Q = 0.93 - 1.23$, $Q_{\text{mean}} = 1.06$) with ornamentation,
globose, subglobose to broad-ellipsoid, yellowish-brown,
thick-walled, densely verruculose, with tiny isolated warts
(Fig. 3, C).

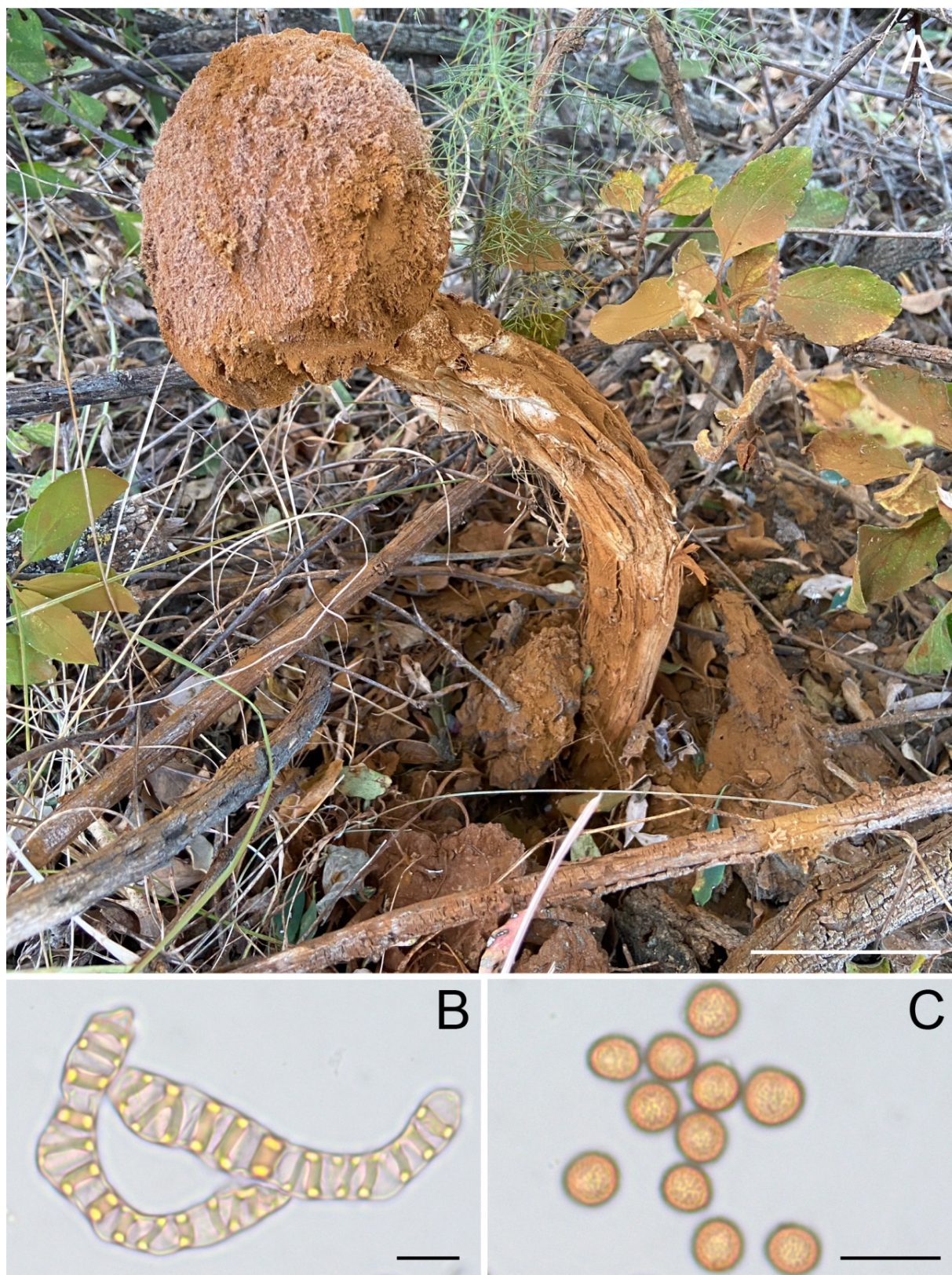


Figure 3. Macro- and micromorphological features of *Battarrea phalloides* basidioma:

A – basidioma, scale – 5 cm, B – elaters, C – basidiospores, scale – 10 μm. Photo S.V. Volobuev

Рисунок 3. Макро- и микроморфологические особенности базидиомы *Battarrea phalloides*:

A – базидиома, масштаб – 5 см, B – элатеры, C – базидиоспоры, масштаб – 10 мкм. Фото С.В. Волобуева

The complete ITS1–5.8S–ITS2 nrDNA sequence of *Battarrea phalloides* has been generated for this study and deposited in the GenBank Nucleotide database (GenBank accession number – OQ581869). The final dataset consisted of 41 ITS specimens belonging to *Battarrea phalloides* (39 sequences

from 16 countries of Africa, Asia, Europe, North America, and Oceania) and *Phellorinia herculeana* (two sequences). The MAFFT alignment was 942 bp in length.

ML analysis resulted in the tree rooted with *Phellorinia herculeana* (Fig. 4). Three main strongly

supported clades (A, B, C) are corresponded to previous studies on intraspecific phylogenetic structure of *Battarrea phalloides* [17–20]. Our specimen of *B. phalloides* is nested within clade B, but as a new separate subclade B3, sister to

two earlier distinguished subclades – subclade B1 formed by specimens from Spain and a well-supported subclade B2 combined specimens from Burundi, Cyprus, India, Israel, and the United Kingdom.

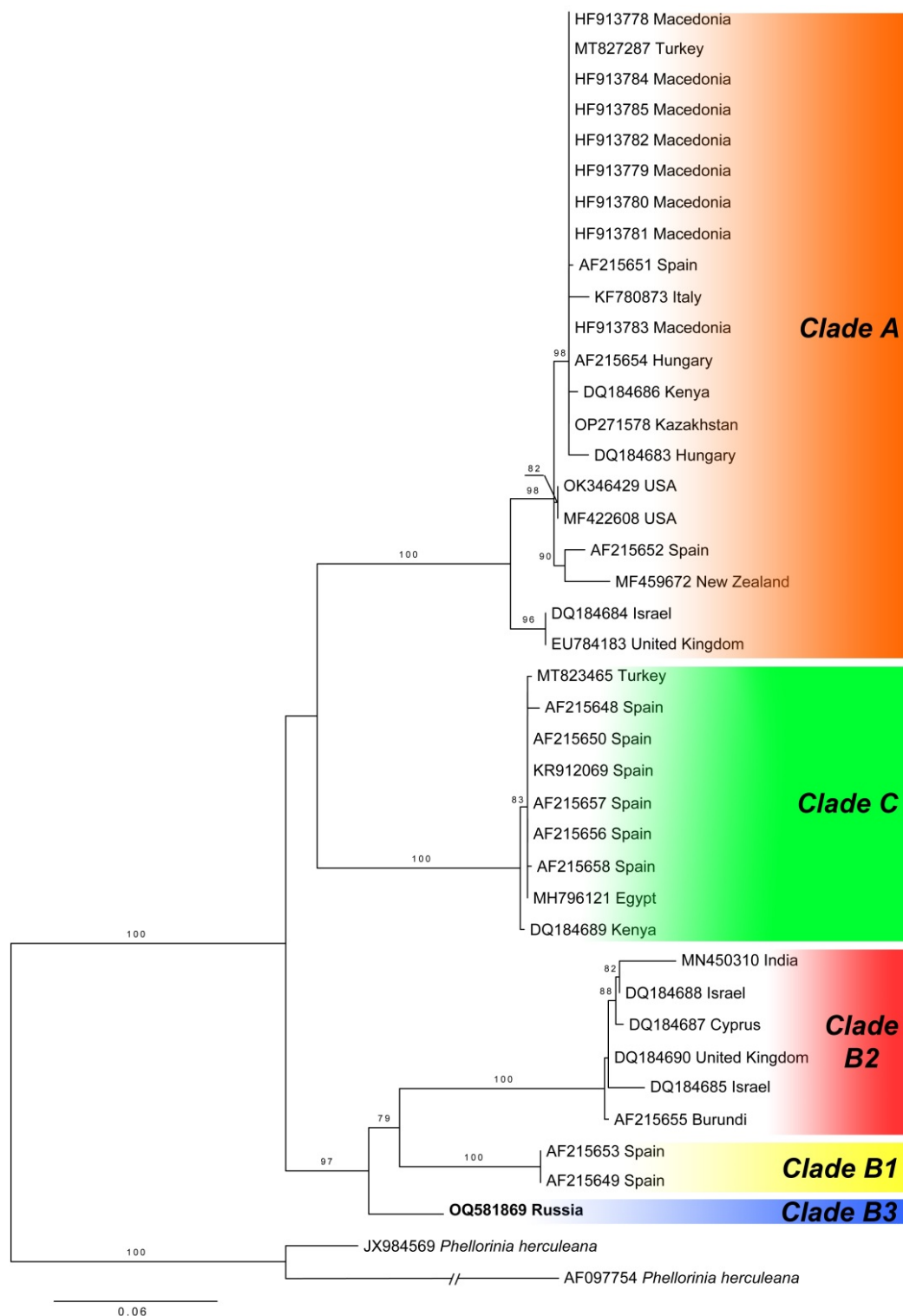


Figure 4. The Maximum Likelihood tree illustrating the phylogeny of *Battarrea phalloides*, based on ITS nrDNA sequences. Ultrafast bootstrap values (%) not less than 75 are shown above the branches. Country name of specimen originated is indicated after the sequence accession number (GenBank). The bold font shows the sequence obtained in this study. Clade names (A, B and C) are corresponding to Martín and Johannesson [17]

Рисунок 4. Дерево, построенное методом максимального правдоподобия и иллюстрирующее филогению *Battarrea phalloides*, на основе ITS-последовательностей ярдНК. Значения ultrafast bootstrap (не менее 75%) показаны над ветвями. Название страны происхождения образца указано после номера последовательности (в базе данных GenBank). Жирным шрифтом выделена последовательность, полученная в данном исследовании. Названия клад (A, B и C) даны по Martín и Johannesson [17]

DISCUSSION

The gasteroid fungus *Battarreia phalloides* is included to the Red Data Book of the Republic of Dagestan [10] as a thermophilic saprotrophic species that grows on a variety of soil types – in steppes (including mountain steppes) and deserts, on areas with sparse vegetation, less frequently in dry forests on litter and strongly destroyed humified wood. The main limiting factor for the species in the region is the restriction of available habitats. Our collection of *B. phalloides* from Gunibsky District cited above is the first modern occurrence of the species in Dagestan. Surprisingly, GBIF database contains the information on additional human observation of this fungus at site close to our collection. Basidioma of *B. phalloides* was registered on 11.08.2022 in Gunibsky district – 42.437554° N, 47.011427° E, on the eastern bank of the Bakdakuli river, in 2.5 km from Gunibskaya hydroelectric power station along the Gunib–Levashi–Buynaksk–Makhachkala road [21]. Both findings of the rare and protected species *B. phalloides* from the inner-mountain part of Dagestan significantly expand the known range of the species in the region. In addition, previous herbarium specimens of this species were collected 100 years ago by A. I. Lobik in the plain part of Dagestan in Kizlyarsky district (Fig. 2).

B. phalloides is distributed in steppe and desert ecosystems all over the world [22]. According to Ivančević et al. [23] the species is recorded in 64 countries on all continents except Antarctica. At the same time, the fungus demonstrates selectivity towards well-warmed habitats, and basidiomata appears at summer to late autumn, preferably on sandy soils of arid and semiarid regions from sea level up to 2,500 m high [24]. As far as the indicator value is concerned, the species indicates sunny dry places in humid areas [25]. Our record of *B. phalloides* in a well-heated and sunny north-east-facing slope of Inner-mountainous Dagestan (Eastern Caucasus) is corresponding to suitable habitat type for this species.

This fungus is included in conservation red-lists at regional or national levels in several countries (Austria, Bulgaria, Czech Republic, France, Germany, Hungary, North Macedonia, Poland, Romania, Russia, Serbia, Slovakia, Spain, and the UK) [25]. Moreover, the species is considered as a candidate for IUCN red-listing under the IUCN Global Fungal Red List Initiative [26]. In the Russian regions adjacent to the Republic of Dagestan, the species is also protected in the Republic of Kalmykia [27].

On the other hand, there currently remains a deficiency of sufficient knowledge on the distribution, occurrence and population trends at the global level, which determines the need for ecological research on the species [28].

The contradictions associated with the ecological preferences of *B. phalloides* are that the species occurs not only in nature, but also in ruderal and anthropogenically transformed habitats, for instance, in disturbed pastures. In addition, based on research carried out in Italy, it has been found that the fungal spores and mycelium are present in soils and soil for sale in flower shops and markets and are capable of developing fruiting bodies in flowerpots containing various ornamental plants (roses, geraniums, etc.) [28].

B. phalloides has a complex taxonomic history. Many independent taxa have been described from different regions and subsequently reduced to synonymy. At the same time, molecular phylogenetic analysis has

shown the existence of cryptic species within the *B. phalloides* group [19].

In the ITS phylogeny our specimen from Dagestan has been placed in a separate subclade B3 within clade B previously differentiated in only two subclades [18–20]. The segregation of the new subclade seems likely to be due to the fact that the sequence from the Caucasian specimen was included in the phylogenetic analysis for the first time. Meanwhile, finely verrucose spore ornamentation has been noted for the newly sequenced specimen of *B. phalloides* and is common characteristic for all representatives of clade B [17].

CONCLUSION

The new *B. phalloides* finding recorded in Dagestan expanded the knowledge on the ecology and distribution of the species red-listed in the region. The phylogenetic analysis based on ITS nrDNA sequences allowed us to clarify the intraspecific structure of *B. phalloides* with a distinguishing of new subclade formed only by Caucasian collection. Further taxonomic investigations should be focused on engaging new specimens of *B. phalloides* with different geographical origin as well as more representative datasets from the known localities.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to Dr. A.B. Ismailov (Mountain Botanical Garden, DFRC RAS, Makhachkala) for help in the organisation of field studies. This research was carried out within the framework of the institutional research project of the Komarov Botanical Institute RAS (project no. 122011900032-7, “Herbarium funds of the BIN RAS (history, preservation, study and enrichment)”) using the equipment of the Core Facility Centre “Cell and Molecular Technologies in Plant Science” at the Komarov Botanical Institute, RAS (St. Petersburg, Russia).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят к.б.н. А.Б. Исмаилова (Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала) за помощь в организации полевых исследований. Работа выполнена в рамках государственного задания БИН РАН по теме №122011900032-7 «Гербарные фонды БИН РАН (история, сохранение, изучение и пополнение)» с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Клеточные и молекулярные технологии изучения растений и грибов» Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург).

REFERENCES

1. Baldrian P., Valášková V. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS Microbiology Reviews*, 2008, vol. 32, no. 3, pp. 501–521. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2008.00106.x>
2. Mukhin V.A., Voronin P.Yu. Mycogenic decomposition of wood and carbon emission in forest ecosystems. *Russian Journal of Ecology*, 2007, vol. 38, no. 1, pp. 22–26.
3. Kazartsev I.A., Roshchin V.I., Solov'yev V.A. Degradation of *Populus tremula* and *Picea abies* wood carbohydrates by lignin-degrading fungi. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikologiya i fitopatologiya]. 2014, vol. 48, no. 2, pp. 112–117. (In Russian)
4. Boddy L., Frankland J.C., van West P. Ecology of saprotrophic basidiomycetes. London, Elsevier Academic Press, 2008, 372 p.
5. Bahram M., Netherway T. Fungi as mediators linking organisms and ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, 2022, vol. 46, no. 2, article id: fuab058. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuab058>

6. Geml J., Leal C.M., Nagy R., Sulyok J. Abiotic environmental factors drive the diversity, compositional dynamics and habitat preference of ectomycorrhizal fungi in Pannonian forest types. *Frontiers in Microbiology*, 2022, vol. 13, art. 1007935. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1007935>
7. Mueller G.M., Cunha K.M., May T.W., Allen J.L., Westrip J.R.S., Canteiro C., Costa-Rezende D.H., Drechsler-Santos E.R., Vasco-Palacios A.M., Ainsworth A.M., Alves-Silva G., Bungartz F., Chandler A., Gonçalves S.C., Krisai-Greilhuber I., Iršénaitė R., Jordal J.B., Kosmann T., Lendemer J., McMullin R.T., Mešić A., Motato-Vásquez V., Ohmura Y., Næsberg R.R., Perini C., Saar I., Simijaca D., Yahr R., Dahlberg A. What do the first 597 Global Fungal Red List assessments tell us about the threat status of fungi? *Diversity*, 2022, vol. 14, no. 9, art. 736. <https://doi.org/10.3390/d14090736>
8. Mace G.M., Collar N.J., Gaston K.J., Hilton-Taylor C., Akçakaya H.R., Leader-Williams N., Milner-Gulland E.J., Stuart S.N. Quantification of extinction risk: IUCN's system for classifying threatened species. *Conservation Biology*, 2008, vol. 22, no. 6, pp. 1424–1442. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01044.x>
9. Dahlberg A., Genney D.R., Heilmann-Clausen J. Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology*, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.10.004>
10. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Data Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, Printing house of IE M.A. Jamaludinov, 2020, 800 p. (In Russian)
11. Pegler D.N., Læssøe T., Spooner B.M. British puffballs, earthstars and stinkhorns. Kew, 1995, 255 p.
12. Volobuev S., Shakhova N. Towards the discovery of active lignocellulolytic enzyme producers: a screening study of xylotrophic macrofungi from the Central Russian Upland. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 2022, vol. 46, no. 1, pp. 91–100. <https://doi.org/10.1007/s40995-021-01245-7>
13. Benson D.A., Cavanaugh M., Clark K., Karsch-Mizrachi I., Lipman D.J., Ostell J., Eric W. Sayers E.W. GenBank. *Nucleic Acids Research*, 2013, vol. 41, no. D1, pp. D36–D42. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1195>
14. Katoh K., Standley D.M. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability. *Molecular Biology and Evolution*, 2013, vol. 30, no. 4, pp. 772–780. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst010>
15. Katoh K., Rozewicki J., Yamada K.D. MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Briefings in Bioinformatics*, 2019, vol. 20, no. 4, pp. 1160–1166. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx108>
16. Trifinopoulos J., Nguyen L.T., von Haeseler A., Minh B.Q. W-IQ-TREE: a fast online phylogenetic tool for maximum likelihood analysis. *Nucleic Acids Research*, 2016, vol. 44, no. W1, pp. W232–W 235. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw256>
17. Martín M.P., Johannesson H. *Battarea phalloides* and *B. stevenii*, insight into a long-standing taxonomic puzzle. *Mycotaxon*, 2000, vol. 76, pp. 67–75.
18. Martín M.P., Rusevska K., Dueñas M., Karadelev M. *Battarea phalloides* in Macedonia: genetic variability, distribution and ecology. *Acta Mycologica*, 2013, vol. 48, no. 1, pp. 113–122. <https://doi.org/10.5586/am.2013.013>
19. Garrido-Benavent I. The *Battarea phalloides*-*stevenii* complex: multiple sources of evidence as a strategy to unveil cryptic species within poorly characterized taxa. *Butlletí Societat Micològica Valenciana*, 2014, vol. 19, pp. 17–35.
20. Shepherd L.D., Cooper J.A. First record of the fungus *Battarea phalloides* (Agaricaceae) in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 2018, vol. 56, no. 1, pp. 109–114. <http://dx.doi.org/10.1080/0028825X.2017.1385491>
21. iNaturalist contributors, iNaturalist (2022). iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> accessed via GBIF.org. Available at: <https://www.gbif.org/occurrence/4034748523> (accessed 20.12.2022)
22. Pilát A. (ed.) *Gasteromycetes*. Flora ČSR. B. 1. Praha, 1958, 836 p.
23. Ivančević B., Mešić A., Tkalčec Z., Kušan I., Horjan I. Studies on Croatian Basidiomycota 3: the first record of *Battarea phalloides* (Agaricales) with a worldwide taxonomic review of *Battarea* species. *Nova Hedwigia*, 2016, vol. 102, no. 1–2, pp. 197–209. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2015/0300
24. Akata İ., Altuntaş D., Sahin E., Alli H., Kabaktepe Ş. A note on *Battarea phalloides* in Turkey. *Mantar Dergisi*, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 1–9. <https://doi.org/10.30708.mantar.800585>
25. Fraiture A., Otto P. Distribution, ecology and status of 51 macromycetes in Europe. Results of the ECCF Mapping Programme. *Scripta Botanica Belgica*, 2015, vol. 53, pp. 1–247.
26. *Battarea phalloides*. Available at: https://redlist.info/iucn/species_view/159853/ (accessed 16.12.2022)
27. *Krasnaya kniga Respubliki Kalmykiya. V 2-kh tomakh. Tom 2. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya rasteniya i griby* [Red Data Book of the Republic of Kalmykia. In 2 volumes. Vol. 2. Rare and endangered plants and fungi]. Elista, Dzhangar Publ., 2014, 199 p. (In Russian)
28. Gargano M.L., Venturella G., Ferraro V. Is *Battarea phalloides* really an endangered species? *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 2021, vol. 155, no. 4, pp. 759–762. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1779847>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baldrian P., Valášková V. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi // *FEMS Microbiology Reviews*. 2008. V. 32. N 3. P. 501–521. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2008.00106.x>
2. Мухин В.А., Воронин П.Ю. Микогенное разложение древесины и эмиссия углерода в лесных экосистемах // *Экология*. 2007. N 1. С. 24–29.
3. Казарцев И.А., Рошин В.И., Соловьев В.А. Разложение углеводов древесины *Populus tremula* и *Picea abies* под действием лигнинразрушающих грибов // *Микология и фитопатология*. 2014. Т. 48. N 2. С. 112–117.
4. Boddy L., Frankland J.C., van West P. Ecology of saprotrophic basidiomycetes. London, Elsevier Academic Press, 2008, 372 p.
5. Bahram M., Netherway T. Fungi as mediators linking organisms and ecosystems // *FEMS Microbiology Reviews*. 2022. V. 46. N 2. Article id: fuab058. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuab058>
6. Geml J., Leal C.M., Nagy R., Sulyok J. Abiotic environmental factors drive the diversity, compositional dynamics and habitat preference of ectomycorrhizal fungi in Pannonian forest types // *Frontiers in Microbiology*. 2022. V. 13. Art. 1007935. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1007935>
7. Mueller G.M., Cunha K.M., May T.W., Allen J.L., Westrip J.R.S., Canteiro C., Costa-Rezende D.H., Drechsler-Santos E.R., Vasco-Palacios A.M., Ainsworth A.M., Alves-Silva G., Bungartz F., Chandler A., Gonçalves S.C., Krisai-Greilhuber I., Iršénaitė R., Jordal J.B., Kosmann T., Lendemer J., McMullin R.T., Mešić A., Motato-Vásquez V., Ohmura Y., Næsberg R.R., Perini C., Saar I., Simijaca D., Yahr R., Dahlberg A. What do the first 597 Global Fungal Red List assessments tell us about the threat status of fungi? // *Diversity*. 2022. V. 14. N 9. Art. 736. <https://doi.org/10.3390/d14090736>
8. Mace G.M., Collar N.J., Gaston K.J., Hilton-Taylor C., Akçakaya H.R., Leader-Williams N., Milner-Gulland E.J., Stuart S.N. Quantification of extinction risk: IUCN's system for

- classifying threatened species // *Conservation Biology*. 2008. V. 22. N 6. P. 1424–1442. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01044.x>
9. Dahlberg A., Genney D.R., Heilmann-Clausen J. Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs // *Fungal Ecology*. 2010. V. 3. N 2. P. 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.10.004>
10. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала: Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. 800 с.
11. Pegler D.N., Læssøe T., Spooner B.M. British puffballs, earthstars and stinkhorns. Kew, 1995, 255 p.
12. Volobuev S., Shakhova N. Towards the discovery of active lignocellulolytic enzyme producers: a screening study of xylotrophic macrofungi from the Central Russian Upland // *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*. 2022. V. 46. N 1. P. 91–100. <https://doi.org/10.1007/s40995-021-01245-7>
13. Benson D.A., Cavanaugh M., Clark K., Karsch-Mizrachi I., Lipman D.J., Ostell J., Eric W. Sayers E.W. GenBank // *Nucleic Acids Research*. 2013. V. 41. N D1. P. D36–D42. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1195>
14. Katoh K., Standley D.M. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability // *Molecular Biology and Evolution*. 2013. V. 30. N 4. P. 772–780. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst010>
15. Katoh K., Rozewicki J., Yamada K.D. MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization // *Briefings in Bioinformatics*. 2019. V. 20. N 4. P. 1160–1166. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx108>
16. Trifinopoulos J., Nguyen L.T., von Haeseler A., Minh B.Q. W-IQ-TREE: a fast online phylogenetic tool for maximum likelihood analysis // *Nucleic Acids Research*. 2016. V. 44. N W1. P. W232–W 235. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw256>
17. Martín M.P., Johannesson H. *Battarrea phalloides* and *B. stevenii*, insight into a long-standing taxonomic puzzle // *Mycotaxon*. 2000. V. 76. P. 67–75.
18. Martín M.P., Rusevska K., Dueñas M., Karadelev M. *Battarrea phalloides* in Macedonia: genetic variability, distribution and ecology // *Acta Mycologica*. 2013. V. 48. N 1. P. 113–122. <https://doi.org/10.5586/am.2013.013>
19. Garrido-Benavent I. The *Battarrea phalloides*-*stevenii* complex: multiple sources of evidence as a strategy to unveil cryptic species within poorly characterized taxa // *Butlletí Societat Micològica Valenciana*. 2014. V. 19. P. 17–35.
20. Shepherd L.D., Cooper J.A. First record of the fungus *Battarrea phalloides* (Agaricaceae) in New Zealand // *New Zealand Journal of Botany*. 2018. V. 56. N 1. P. 109–114. <http://dx.doi.org/10.1080/0028825X.2017.1385491>
21. iNaturalist contributors, iNaturalist (2022). iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> accessed via GBIF.org on 2022-12-20. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/4034748523> (дата обращения: 20.12.2022)
22. Pilát A. (ed.) *Gasteromycetes*. Flora ČSR. B. 1. Praha, 1958, 836 p.
23. Ivančević B, Mešić A, Tkalčec Z, Kušan I, Horjan I. Studies on Croatian Basidiomycota 3: the first record of *Battarrea phalloides* (Agaricales) with a worldwide taxonomic review of *Battarrea* species // *Nova Hedwigia*. 2016. V. 102. N 1–2. P. 197–209. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2015/0300
24. Akata İ., Altuntaş D., Sahin E., Alli H., Kabaktepe Ş. A note on *Battarrea phalloides* in Turkey // *Mantar Dergisi*. 2021. V. 12. N 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.30708.mantar.800585>
25. Fraiture A., Otto P. Distribution, ecology and status of 51 macromycetes in Europe. Results of the ECCF Mapping Programme // *Scripta Botanica Belgica*. 2015. V. 53. P. 1–247.
26. *Battarrea phalloides*. URL: https://redlist.info/iucn/species_view/159853/ (дата обращения: 16.12.2022)
27. Красная книга Республики Калмыкия. В 2-х томах. Том 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения растения и грибы. Элиста: ЗАОР «НПП «Джангар», 2014. 199 с.
28. Gargano M.L., Venturella G., Ferraro V. Is *Battarrea phalloides* really an endangered species? // *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 2021. V. 155. N 4. P. 759–762. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1779847>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Both authors collected the material, discussed the results and participated in the writing of the manuscript. Sergey V. Volobuev carried out the microscopic identification of species and the molecular study of the specimen. 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.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Оба автора участвовали в сборе материала, обсуждении результатов и написании рукописи. Сергей В. Волобуев выполнил микроскопическую идентификацию видов и молекулярно-генетическое изучение собранного образца. Оба автора в равной степени несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Sergey V. Volobuev / Сергей В. Волобуев <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>

Nataliya V. Shakhova / Наталия В. Шахова <https://orcid.org/0000-0002-8733-2168>

Взаимодействие эндофитных микроорганизмов по отношению к циперметрину

Ленар Р. Валиуллин^{1,2}, Евгений В. Скворцов³, Владислав И. Егоров³,
Леонид Н. Алексейко⁴, Сергей В. Климович⁴, Игорь Э. Памирский⁵,
Александр Ф. Артеменко⁵, Александр М. Захаренко⁵, Кирилл С. Голохваст⁵

¹Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вяземы, Россия

³Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

⁴Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Республика Беларусь

⁵Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

Контактное лицо

Ленар Р. Валиуллин, зав. сектором питательных сред и культур клеток Федерального центра токсикологической, радиационной и биологической безопасности; 420075 Россия, г. Казань, ул. Научный городок 2.

Тел. +79509698469

Email lrvaliullin@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8277-3941>

Формат цитирования

Валиуллин Л.Р., Скворцов Е.В., Егоров В.И., Алексейко Л.Н., Климович С.В., Памирский И.Э., Артеменко А.Ф., Захаренко А.М., Голохваст К.С. Взаимодействие эндофитных микроорганизмов по отношению к циперметрину // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 53-69. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-53-69

Получена 14 декабря 2022 г.

Прошла рецензирование 24 января 2023 г.

Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. Поиск и отбор микроорганизмов, обладающих активными ферментативными свойствами для возможной биодеструкции пиретроидов.

Материалы и методы. Для эффективного скрининга и отбора наиболее активных изолятов для последующей разработки биотехнологических способов деструкции пестицидов и снижения их токсичности были отобраны пробы филосферы и ризосферы сельскохозяйственных культур, продовольственных продуктов и др. Из отобранных проб было выделено 23 изолята. Изоляты оценивали по внутриклеточному метаболизму и выработке экзоферментов. Выделенные микроорганизмы были идентифицированы на основе «Определителя бактерий Берджи». Скрининг микроорганизмов для разработки биотехнологических способов снижения токсичности экотоксикантов включал следующие этапы: выбор источников, отбор проб, посев на плотную среду для выделения чистой культуры, пересев чистой культуры, исследование биологических свойств выделенных штаммов.

Результаты. С целью поиска микроорганизмов способных утилизировать пиретроиды получены изоляты микроскопических грибов и бактерий. Из 23 штаммов 12 обладали наиболее широким спектром активности, 5 штаммов показали наиболее выраженную и стабильную антагонистическую активность в отношении патогенных микроорганизмов при различных температурных параметрах от 30°C до 42°C (*Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*). Для отобранных штаммов была проведена оптимизация среды для активации обменных процессов в клетке. Оценивалась активность амилаз, протеаз, ксиланаз и целлюлаз гриба *Trichoderma*, и протеаз *L. plantarum*, *L. lactis*, *B. subtilis* и *Propionibacterium*. Проведены исследования влияния на синтез гидролитических ферментов различных концентраций в культуральной среде в присутствии полисахаридов ксилана, целлюлозы, крахмала и белка казеина.

Заключение. Проведены токсикологические исследования отобранных изолятов и композиции, состоящей из этих изолятов в виде культуральной суспензии, на простейших стилонихиях. Биотестирование на водных обитателях выделенных микроорганизмов (*Trichoderma*, *L. plantarum*, *L. lactis*, *B. subtilis* и *Propionibacterium*) показало, что процент гибели инфузорий (*S. mytilus*) в опыте и контроле не имел значительных отличий. Создана микробиологическая композиция, которую возможно использовать для защиты окружающей среды при воздействии токсикантов агротехногенного происхождения. Отобранные штаммы были протестированы на возможность осуществлять биodeградацию пиретроидов на примере циперметрина.

Ключевые слова

Пестициды, пиретроиды, биodeградация, микроорганизмы, бактерии, микроскопические грибы, амилазы, ксиланазы, целлюлазы, протеазы, казеин, целлюлоза, ксилан, крахмал, циперметрин, токсины, стилонихии.

Interaction of endophytic microorganisms with respect to cypermethrin

Lenar R. Valiullin^{1,2}, Evgeny V. Skvortsov³, Vladislav I. Egorov³,
Leonid N. Alekseyko⁴, Sergey V. Klimovich⁴, Igor E. Pamirsky⁵,
Alexander F. Artemenko⁵, Alexander M. Zakharenko⁵ and Kirill S. Golokhvast⁵

¹Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia

²All-Russia Research Institute of Phytopatology, Large Vyazems, Russia

³Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

⁴Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus

⁵Siberian Federal Scientific Centre of Agrobiotechnologies, Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

Principal contact

Lenar R. Valiullin, Head. Sector of Nutrient Media and Cell Cultures, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, 2 Nauchny Gorodok St, Kazan, Russia 420075.
Tel. +79509698469
Email lvaliullin@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8277-3941>

How to cite this article

Valiullin L.R., Skvortsov E.V., Egorov V.I., Alekseyko L.N., Klimovich S.V., Pamirsky I.E., Artemenko A.F., Zakharenko A.M., Golokhvast K.S. Interaction of endophytic microorganisms with respect to cypermethrin. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 53-69. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-53-69

Received 14 December 2022

Revised 24 January 2023

Accepted 6 February 2023

Abstract

Aim. Search and selection of microorganisms with active enzymatic properties for possible biodestruction of pyrethroids.

Materials and Methods. For effective screening and selection of the most active isolates, for the subsequent development of biotechnological methods for the destruction of pesticides and reduction of their toxicity, samples of the phyllosphere and rhizosphere of agricultural crops, food products, etc. were taken. The isolates were evaluated by intracellular metabolism and the production of exoenzymes. The isolated microorganisms were identified on the basis of the "Bergey's Bacteria Determinant". Screening of microorganisms for the development of biotechnological methods to reduce the toxicity of ecotoxicants included the following stages: selection of sources, sampling, seeding on a dense medium for isolation of pure culture, replanting of pure culture and investigation of biological properties of isolated strains.

Results. In order to search for microorganisms capable of utilising pyrethroids, isolates of microscopic fungi and bacteria were obtained. Of the 23 selected strains, 12 had the widest spectrum of activity, while 5 strains showed the most pronounced and stable antagonistic activity against pathogenic microorganisms at various temperature parameters from 30°C to 42°C (*Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*). For the selected strains, the environment was optimised to activate cellular metabolic processes. The activity of amylases, proteases, xylanases and cellulases of the fungus *Trichoderma*, and proteases of *L. plantarum*, *L. lactis*, *B. subtilis* and *Propionibacterium* was evaluated. Studies of the effect on the synthesis of hydrolytic enzymes of various concentrations in the culture medium in the presence of xylan polysaccharides, cellulose, starch and casein protein were carried out.

Conclusion. Toxicological studies of the selected isolates and of a composition consisting of these isolates in the form of a culture suspension on the simplest stylonychia were carried out. Biotesting on isolated aquatic microorganisms (*Trichoderma*, *L. plantarum*, *L. lactis*, *B. subtilis* and *Propionibacterium*) showed that the percentage of dead infusoria (*S. mytilus*) in both the experiment and the control showed no significant differences. A microbiological composition has been created that can be used to protect the environment when exposed to toxicants of agrotechnogenic origin. The selected strains were tested for the possibility of biodegradation of pyrethroids using the example of cypermethrin.

Key Words

Pesticides, pyrethroids, biodegradation, microorganisms, bacteria, microscopic fungi, amylases, xylanases, cellulases, proteases, casein, cellulose, xylan, starch, cypermethrin, toxins, stylonychia.

ВВЕДЕНИЕ

Для защиты растительного сырья и достижения высокой урожайности сельскохозяйственных культур, ненормированное использование почвенных концентратов и пестицидов, может привести к необратимым изменениям в окружающей природной среде, к различным патологиям у людей, тепловых животных и уничтожению биологического равновесия. На данном этапе развития агрохимического сектора количество соединений направленного действия постоянно растет, и список их пополняется соединениями высокой опасности, способными в малых дозах вызывать изменения функционирования органов и систем организма как у млекопитающих, так и птиц [1; 2]. Преобладающее большинство хлорорганических пестицидов обладают стабильностью в окружающей среде [3; 4], в связи с этим все более широкое применение в сельском хозяйстве находят инсектициды, относящиеся к группе синтетических пестицидов или пиретроидов, которые имеют более короткий период жизни в окружающей среде [5; 6].

Синтетические пиретроиды масштабно применяются как инсектициды для защиты клубней картофеля, плодовых и огородных культур, для борьбы с паразитарными болезнями сельскохозяйственных животных, с вредителями запасов продовольствия в быту [7; 8]. Наличие инсектоакарицидов включает около 270 наименований, из них 12 являются пиретроидами, история которых насчитывает всего 40 лет. Пиретроиды являются 4-м поколением пестицидов, пришедшим на смену хлорорганическим (ДДТ, гексахлорциклогексан), фосфорорганическим соединениям и карбаматам. Рынок пиретроидов превышает 10 млрд долларов США, а их ежегодное производство составляет более 100000 т в расчёте на активное начало. Существенным преимуществом пиретроидов является их незначительная токсичность для теплокровных [9; 10].

По параметрам стабильных свойств синтетические пиретроиды существенно отличаются от своих предшественников, но стабильность циперметрина варьирует в зависимости от физико-химических условий окружающей среды [11–13]. Многие производные пиретроидов плохо растворимы в воде и лучше растворимы в полярных растворителях, что дает возможность в пиретроидах использовать галогены, тем самым, обеспечивая большую остаточную инсектицидную активность. Наличие в пиретроидах различных элементов увеличивает вероятность влияния на биосферу и возможность к биодеструкции эндофитной микрофлорой [14; 15].

Основным фактором появления пиретроидов на муниципальных территориях является внесение в вегетирующие растения, а в продовольственном сырье – обработка животных и амбары для складирования растительного сырья [16–18]. В воздушную среду муниципальных и городских участков пестициды попадают при опрыскивании наземными средствами или авиацией. Благодаря химической структуре пиретроиды обладают низким испарением от поверхности [19–22]. По многим исследованиям показана, что пиретроиды в неизменном виде находятся в растениях в течение 2–3 недель после распыления [23–26]. В агробиоценозе распад

пестицидов наступает в зависимости от микробной обсемененности, а так же от химического состава почвы в течение 90–180 дней [27–30]. Пестициды и их метаболиты могут образовывать в окружающей среде стойкие комплексы, которые при незначительных количествах могут вызвать острые и хронические отравления потребителей. Остатки пестицидов могут сохраняться в течение длительного времени на полях после применения из-за их сниженных свойств к биологическому разложению [31–34]. Они могут поглощаться водными организмами, такими как рыба, что приводит к негативному влиянию на их здоровье и качество мяса, что негативно сказывается на здоровье человека [35; 36]. Кроме того, они обладают быстрой скоростью биodeградации в водной среде, где существуют водоросли и макрофиты. Эти пестициды более чем в 100 раз более ядовиты для рыбы из-за повышенной чувствительности её к токсичным агентам, из-за их прямого контакта с водой через жабры и отсутствия или недостаточного количества гидролитических ферментов для пиретроидов [37; 38].

Исследовательскими работами показано, что растворимость пиретроидов в полярных растворителях проявляет их инсектицидную активность и нейротоксичность [39; 40].

Биологический метод деградации является идеальным подходом для удаления остатков циперметрина из-за ее высокой эффективности, экологичности и низкой стоимости [41; 42]. На сегодняшний день выделено множество микроорганизмов, способных разлагать техногенные соединения и циперметрин (бактерии, микроскопические грибы и актиномицеты) [43–46].

В биотрансформации пиретроидов основную роль играют биохимические процессы гидролазных ферментов [47; 48].

В связи вышесказанным актуальным является поиск и отбор микроорганизмов, обладающих активными ферментативными свойствами для возможной биодеструкции пиретроидов, что и стало целью данной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для эффективного скрининга и отбора наиболее активных изолятов, для последующей разработки биотехнологических способов деструкции пестицидов и снижения их токсичности, были отобраны пробы филосферы и ризосферы сельскохозяйственных культур, молока и кисломолочных продуктов, содержимого желудочно-кишечного тракта телят. Из отобранных проб было выделено 23 изолята. Изоляты оценивали по внутриклеточному метаболизму и выработке экзоферментов. Выделенные микроорганизмы были идентифицированы на основе «Определителя бактерий Берджи» [49].

Скрининг микроорганизмов для разработки биотехнологических способов снижения токсичности экотоксикантов включал следующие этапы: выбор источников, отбор проб, посев на плотную среду для выделения чистой культуры, пересев чистой культуры, исследование биологических свойств выделенных штаммов.

Целлюлазную (ЦА), ксиланазную (КА) и амилазную (АА) активность ферментов определяли

согласно калориметрическому методу, который основан на определении восстанавливающих углеводов, образующихся при их воздействии на субстрат карбоксиметилцеллюлозу, ксилан и крахмал, [50–52]. При установлении ЦА и КА, реакционную смесь, содержащую 0,2 мл раствора неочищенного фермента, 0,5 мл 1%-го (мас./об.) раствора субстрата, приготовленного в 0,1 М ацетатном (pH 5,0) и 0,05 М фосфатном (pH 6,0), соответственно, буферных растворах и 0,3 мл указанных буферов, выдерживали при 50°C в течение 15 мин. При установлении АА, реакционную смесь, содержащую 1,0 мл раствора неочищенного фермента и 1,0 мл 1%-го (мас./об.) раствора крахмала в 0,1 М фосфатном буфере (pH 6,0), инкубировали при 37°C в течение 15 минут. Для предотвращения гидролиза и установления содержания восстанавливающих углеводов применяли DNS-реагент (реагент 3,5-динитросалициловая кислота) [50–53]. Активность гидролаз выражали в международных единицах. За 1 единицу принимали определенное количество ферментов, катализирующее процесс образования 1 мкмоль продукта за 1 мин.

Активность протеазы устанавливали согласно универсальной методике с использованием в качестве субстрата казеина [54; 55]. Гидролазную активность выражали в ед./мл. За 1 единицу активности фермента принимали определенное его количество, катализирующее отщепление 1 мкмоль тирозина за 1 мин в опытных условиях (37°C, pH 7.5).

Микроорганизмы культивировали на различных жидких (МПА, бульон Сабуро) и плотных (МПА, сусло агар, Сабуро агар, MRS, M9) питательных средах с последующим изучением их морфологических, тинкториальных, биологических свойств. Антагонистическую активность изолятов в отношении некоторых бактерий, контаминирующих корма растительного происхождения, устанавливали с помощью методов агаровых блоков [56–60].

Исследование токсичности микроорганизмов на водных обитателях проводили методом биотестирования на простейших стилонихиях (*Stylonychia mytilus*) в соответствии с государственными нормами и правилам ГОСТ 31674-2012. Каждую пробу исследовали в пяти повторностях. Оценка результата биотеста дается по реакции гибели инфузорий.

Исследуемые препараты содержали бактерии в виде культуральной суспензии. Для испытания использовали культуры микроорганизмов второго или третьего пассажа, которые инкубировали на плотных питательных средах: *Trichoderma* на среде сабуро; *Lactobacillus* spp. и *Propionibacterium* на среде MRS; *Bacillus subtilis* – на МПА при температуре 37°C. Отобранные пробы суспензий бактерий в количестве 2 мл тщательно перемешивали и осаждали центрифугированием при 3000 об/мин 15 минут. Надосадочную жидкость отбирали, а осадок бактерий ресуспендировали в 2 мл физраствора. Таким образом, получали исходные пробы культуральной жидкости, содержащей растворенные метаболиты – продукты микробиологического синтеза.

Отобранные штаммы были протестированы на возможность осуществлять биodeградацию пиретроидов на примере циперметрина [45–62]. Находящиеся в воде микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности используют растворенный в воде

кислород для биохимического окисления органических соединений, в том числе загрязняющих веществ. Количество кислорода, израсходованное в определенный промежуток времени в процессе биохимического окисления органических веществ, содержащихся в анализируемой воде, называется биохимическим потреблением кислорода (далее – БПК BOD5). Этот показатель является некоторой условной мерой загрязнения вод органическими соединениями, в особенности достаточно легко поддающимися биохимической деградации. Скорость биodeградации органических загрязняющих веществ зависит от множества факторов. При неполном окислении органических веществ для сопоставимости величин БПК его определение должно проводиться в некоторых стандартных условиях. В качестве таковых приняты следующие: продолжительность инкубации 5 суток, температура (20±1)°C, отсутствие доступа света и воздуха. Потребление кислорода, определенное при этих условиях называется пятисуточным биохимическим потреблением кислорода (BOD5). Его находят как разность между содержанием кислорода в анализируемой пробе воды до и после инкубации.

Расчет потребленного кислорода проводили согласно методике РД 52.24.421-2012 «Химическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерений титриметрическим методом». Вычисление и оформление результатов измерений (BOD5) проводили по следующей схеме. Массовую концентрацию растворенного в воде кислорода X , мг/дм³, находят по формуле:

$$X = (M \times C_m \times V_m \times V \times 1000) / (50(V - V_1)),$$

где M – молярная масса КВЭ кислорода, равная 8 мг/ммоль; C_m – концентрация раствора тиосульфата натрия, моль/дм³ КВЭ; V_t – объем раствора тиосульфата натрия, пошедший на титрование, см³; V – вместимость кислородной склянки, см³; V_1 – суммарный объем растворов хлорида марганца и йодида калия, добавленных в склянку при фиксации растворенного кислорода, л.

Обработку результатов измерений (COD) проводили следующим образом. ХПК является общепринятым, важным и достаточно быстро определяемым показателем для характеристики загрязнения природных и сточных вод органическими соединениями. Химическое потребление кислорода (ХПК, COD) – количество кислорода, расходуемого на окисление содержащихся в воде органических и неорганических веществ сильными окислителями.

Величину ХПК (бихроматной окисляемости) X , мг/дм³, находят по формуле:

$$X = (8,0 \times (V_1 - V_2) \times M_m \times 1000) / V,$$

где V_1 – объем раствора соли Мора, израсходованный на титрование холостого опыта, см³; V_2 – объем раствора соли Мора, израсходованный на титрование пробы воды, см³; V – объем аликвоты пробы воды, взятый для выполнения анализа, см³; 8,0 – масса миллимоля КВЭ кислорода, мг/ммоль [63].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидролазная и антагонистическая активности изолятов

Результаты исследования биохимических свойств изолятов микроорганизмов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Биохимические показатели изолятов микроорганизмов**Table 1.** Biochemical parameters of isolates of microorganisms

Изолят Isolate	Показатель / Indicator				
	Целлюлозо- литическая Cellulolytic	Амил- литическая Amylolytic	Протео- литическая Proteolytic	Липо-литическая Lipolytic	Способность к выработке каталазы Catalase production
1	-	+	+	±	-
2	-	+	±	-	-
3	-	+	+	+	-
4	-	±	+	±	-
5	-	-	±	±	-
6	±	+	±	±	-
7	-	±	+	-	-
8	-	+	+	±	-
9	-	+	+	±	-
10	-	+	-	±	+
11	±	-	+	±	-
12	±	+	+	±	-
13	-	+	+	±	-
14	-	+	±	-	-
15	-	+	+	-	-
16	-	±	+	±	-
17	-	+	±	-	-
18	-	+	+	±	-
19	-	+	+	±	-
20	±	+	-	-	+
21	+	-	-	-	+
22	±	-	±	-	-
23	-	+	+	±	-

Примечание: (+) – ярко выраженная активность; (±) – умеренно или слабо выраженная активность;

(-) – отсутствие активности

Note: (+) – pronounced activity; (±) – moderate or weakly expressed activity; (-) – lack of activity

Как видно из таблицы 1, наиболее широким спектром активности обладали 12 штаммов № 1, 3, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 19, 21 и 23. Продуцируемые ими гидролазы позволяют эффективно расщеплять белковые субстраты и полисахариды. Данные штаммы показали потенциал применения в промышленном производстве и были отобраны для дальнейших исследований по оценке биологических свойств.

Известно, что разные микроорганизмы могут менять свои антагонистические свойства при воздействии различных факторов, в том числе при изменении температуры окружающей среды. Поэтому нами проведены исследования в разных температурных диапазонах. Результаты исследования антагонистических свойств изолятов при различных температурах (37°C, 30°C и 40°C) представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Антагонистическая активность изолятов в отношении патогенных штаммов бактерий (t=37°C)**Table 2.** Antagonistic activity of isolates against pathogenic bacterial strains (t=37°C)

Изолят Isolate	Патогенный штамм / Pathogenic strain			
	<i>E. coli</i>	<i>E. faecalis</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
1	1,26±0,07	1,28±0,07	1,25±0,08	1,14±0,08
2	0,21±0,06	0,16±0,07	0,22±0,07	0,06±0,06
3	1,38±0,07	1,32±0,08	1,30±0,08	1,35±0,08
4	1,25±0,08	1,13±0,07	1,02±0,08	1,10±0,07
5	1,34±0,11	1,12±0,11	1,46±0,10	1,04±0,11
6	1,34±0,11	1,46±0,09	1,41±0,10	1,41±0,11
7	1,61±0,10	1,64±0,11	1,62±0,11	1,68±0,10

8	1,30±0,09	1,42±0,09	1,35±0,07	1,40±0,07
9	1,43±0,11	1,12±0,10	1,35±0,10	1,21±0,11
10	1,22±0,06	1,17±0,04	1,21±0,06	1,19±0,06
11	1,50±0,11	1,53±0,10	1,46±0,09	1,41±0,09
12	1,39±0,09	1,41±0,10	1,43±0,10	1,46±0,11
13	1,30±0,10	1,35±0,17	1,28±0,12	1,40±0,10
14	1,16±0,04	1,21±0,06	1,18±0,06	1,20±0,06
15	1,43±0,09	1,48±0,10	1,37±0,09	1,34±0,09
16	1,84±0,12	1,78±0,11	1,82±0,11	1,81±0,11
17	1,47±0,10	1,53±0,11	1,51±0,09	1,49±0,10
18	1,54±0,11	1,51±0,09	1,46±0,12	1,50±0,10
19	1,80±0,11	1,82±0,11	1,77±0,10	1,78±0,11
20	1,33±0,07	1,29±0,12	1,37±0,16	1,38±0,10
21	1,86±0,12	1,87±0,12	1,74±0,11	1,79±0,11
22	1,14±0,06	1,12±0,05	1,16±0,06	1,20±0,06
23	1,86±0,12	1,90±0,12	1,79±0,11	1,82±0,12

Таблица 3. Антагонистическая активность изолятов в отношении патогенных штаммов бактерий при различной температуре

Table 3. Antagonistic activity of isolates against pathogenic bacterial strains at different temperatures

t°C	Изолят Isolate	Патогенный штамм / Pathogenic strain			
		<i>E. coli</i>	<i>E. faecalis</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>
30°C	9	1,83±0,11	1,75±0,10	1,75±0,11	1,80±0,12
	16	1,43±0,11	1,73±0,10	1,56±0,11	1,50±0,12
	19	1,34±0,11	1,42±0,11	1,35±0,10	1,67±0,10
	20	1,65±0,11	1,70±0,11	1,62±0,10	1,56±0,11
	23	1,62±0,10	1,71±0,11	1,68±0,11	1,73±0,11
42°C	9	1,01±0,10	1,05±0,10	0,98±0,09	0,61±0,11
	16	1,77±0,11	1,75±0,10	1,72±0,09	1,74±0,10
	19	1,82±0,11	1,82±0,11	1,79±0,10	1,78±0,11
	20	1,90±0,12	1,91±0,12	1,78±0,10	1,84±0,12
	23	1,82±0,11	1,84±0,11	1,72±0,11	1,75±0,11

Установлено, что наиболее выраженную антагонистическую активность при 37°C проявили 5 и 23 изолятов: №9, 16, 19, 20, и 23. Данные штаммы были отобраны для дальнейших экспериментов при 30°C и 40°C.

Из данных таблицы 3 видно, что при понижении температуры среды до 30°C выраженных изменений в антагонистической активности всех изученных изолятов отмечено не было, однако отмечается тенденция к ее снижению.

Напротив, при повышении температуры среды до 42°C наблюдаются выраженные изменения в антагонистической активности различных изолятов как в сторону увеличения, так и понижения. Так, у изолята №20 наблюдается повышение антагонистической активности, а изоляты № 9, 16 и 23 показали ее понижение.

Подбор оптимальной среды культивирования микроорганизмов для повышения процесса образования гидролаз

Выделенные микроорганизмы под № 9, 16, 19, 20 и 23 были идентифицированы как микроскопические грибы и бактерии.

Микроскопический гриб *Trichoderma* (изолят №9) возможно применять в качестве защиты от фитопатогенных микроорганизмов, а также и для возможной деструкции токсикантов [64–67]. Остальные изоляты представляли бактерии: *Lactobacillus plantarum* (изолят № 16), *Lactococcus Lactis* spp. (изолят №19), *B. subtilis* (изолят №20) и *Propionibacterium* (изолят №23). Изоляты №16, 19, 20 и 23 из гидролаз в значимом количестве синтезируют протеазы [68–74].

Для развития и синтеза ферментов микроорганизмами в питательной среде должны присутствовать источники азота и углерода. В связи с этим проведены работы по воздействию на биосинтез ферментов различных концентраций в культуральной среде в присутствии полисахаридов ксилана, целлюлозы, крахмала и белка казеина.

Оптимизация среды культивирования *Trichoderma* для повышения образования гидролаз

Для начала мы изучили динамику накопления гидролаз при выращивании штамма *Trichoderma* на среде, содержащей 5 г/л белка и 5 г/л ксилана (рис. 1).

Из представленных данных рисунка 2 видно, что синтез ферментов снижается к 48 часам, динамика

биосинтеза протеазы невысокая, поэтому при проведении дальнейших исследований продолжи-

тельность культивирования бактерий была ограничена до 48 часов.

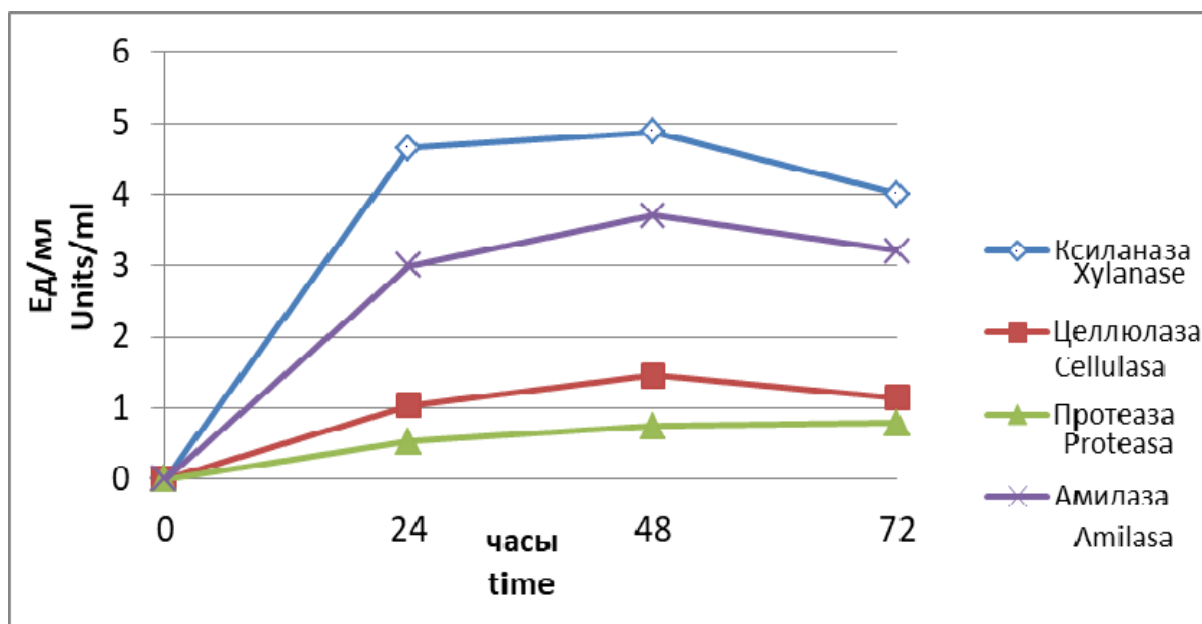


Рисунок 1. Кинетика биосинтеза ферментов при культивировании *Trichoderma* на среде, содержащей ксилан 5 г/л и белок 5 г/л

Figure 1. Kinetics of enzyme biosynthesis during *Trichoderma* cultivation on a medium containing xylan 5 g/l and protein 5 g/l

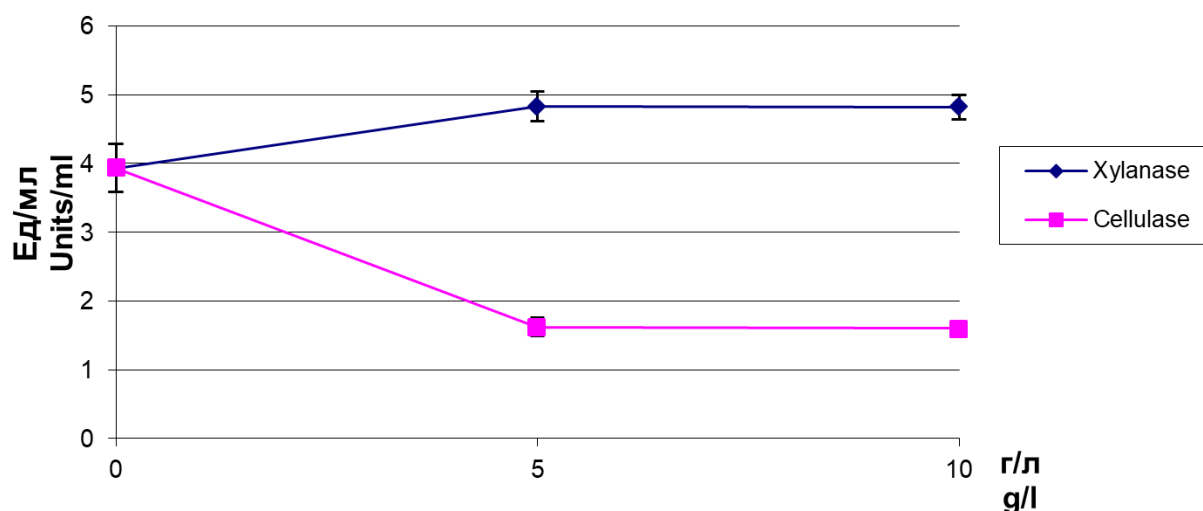


Рисунок 2. Активность ксиланаз *Trichoderma* в присутствии целлюлозы и ксилана

Figure 2. *Trichoderma* xylanase activity in the presence of cellulose and xylanase

Результаты по влиянию различных концентраций ксилана и белка для выращивания и синтеза гидролазных ферментов *Trichoderma* показала что ксиланазная активность увеличивается при концентрации белка до 5 г/см³. Медленный дальнейший рост ксиланазной активности культуральной жидкости прослеживался вплоть до увеличения содержания ксилана в исходной среде до 10 г/л. Оптимальное содержание белка составило 5 г/л. Максимальная ксиланазная активность культуральной жидкости была получена при исходной концентрации белка 5 г/л и ксилана 10 г/л и составила 4,86 Ед/мл (табл. 4).

Результаты исследования эффективности целлюлозы и ксилана в качестве источников углерода

для синтеза ксиланазы бактериями *Trichoderma* представлены в таблице 5.

Из полученных данных таблицы 5 видно, что в результате проведенных исследований во второй группе при добавлении совместно в культуральную среду ксилана и белка синтез фермента ксиланазы и целлюлазы было выше, чем в первой группе (контроль) на 16,0 и 18,3%. В третьей группе при повышении концентрации ксилана при культивировании *Trichoderma* концентрация ксиланазы и целлюлазы повысилась на 18,6 и 26,7% в сравнении с первой группой. В четвертой группе при добавлении совместно в культуральную среду белка и целлюлозы синтез фермента ксиланазы и целлюлазы микроскопическим грибом было ниже

контроля на 38,0 и 25,3%. В пятой группе при добавлении совместно в культуральную среду белка и целлюлозы в концентрации 10 гр/л синтез фермента ксиланазы и целлюлазы микроскопическим грибом было ниже контроля на 39,0 и 20,0%. В ходе исследований выявлено, что ксилан является более сильным, чем целлюлоза индуктором целлюлаз. При

культивировании микромицета на ксилане и белке полученные препараты проявляли целлюлазную активность на 25% большую, чем на целлюлозе и белке (рис. 3).

Исследование влияние крахмала на синтез фермента амилаз микромицетом *Trichoderma* представлена в таблице 6.

Таблица 4. Влияние ксилана и казеина на биосинтез ферментов *Trichoderma* ($n=3$, $\alpha \leq 0.05$)

Table 4. The effect of xylan and casein on the biosynthesis of *Trichoderma* enzymes ($n=3$, $\alpha \leq 0.05$)

№	Ксилан Xylan	Белок Protein	Биомасса Biomass	Ксиланазная активность Xylanase activity	Целлюлазная активность Cellulase activity	Протео- литическая активность Proteolytic activity	Амилазная активность Amylase activity
	г/л / gr/l	г/л / gr/l	мг/мл / mg/ml	Ед/мл / Units/ml	Ед/мл / Units/ml	Ед/мл / Units/ml	Ед/мл / Units/ml
1	0	2.5	0.26±0.05	3.06±0.38	1.19±0.12	0.37±0.13	3.02±0.38
2	0	5.0	0.32±0.02	3.93±0.39	1.28±0.13	0.43±0.20	3.13±0.31
3	0	7.5	0.32±0.05	3.39±0.40	1.20±0.12	0.67±0.15	3.31±0.40
4	5.0	2.5	0.48±0.08	4.33±0.45	1.42±0.14	0.75±0.19	3.33±0.35
5	5.0	5.0	0.48±0.08	4.52±0.20	1.42±0.12	0.80±0.19	3.72±0.20
6	5.0	7.5	0.49±0.10	4.51±0.40	1.52±0.14	0.80±0.18	3.51±0.30
7	10.0	2.5	0.45±0.05	4.22±0.45	1.42±0.13	0.81±0.20	3.22±0.35
8	10.0	5.0	0.44±0.04	4.22±0.40	1.43±0.13	0.93±0.18	3.22±0.30
9	10.0	7.5	0.42±0.05	4.57±0.45	1.32±0.12	0.98±0.20	3.49±0.34

Таблица 5. Влияние ксилана и целлюлозы на биосинтез ферментов *Trichoderma* ($n=3$, $\alpha \leq 0.05$)

Table 5. The effect of xylan and cellulose on the biosynthesis of *Trichoderma* enzymes ($n=3$, $\alpha \leq 0.05$)

№	Ксилан, г/л Xylan, gr/l	Белок (казеин), г/л Protein, gr/l	Целлюлоза, г/л Cellulose, gr/l	Биомасса, мг/мл Biomass, mg/ml	Ксиланазная активность, Ед/мл Xylanase activity, Units/ml	Целлюлазная активность, Ед/мл Cellulase activity, Units/ml
1	0	5.0	0	0.36±0.04	3.93±0.39	1.20±0.06
2	5.0	5.0	0	0.44±0.04	4.56±0.20	1.42±0.12
3	10.0	5.0	0	0.44±0.04	4.66±0.40	1.52±0.14
4	0	5.0	5.0	0.32±0.03	1.62±0.13	0.90±0.08
5	0	5.0	10.0	0.32±0.03	1.60±0.11	0.96±0.12

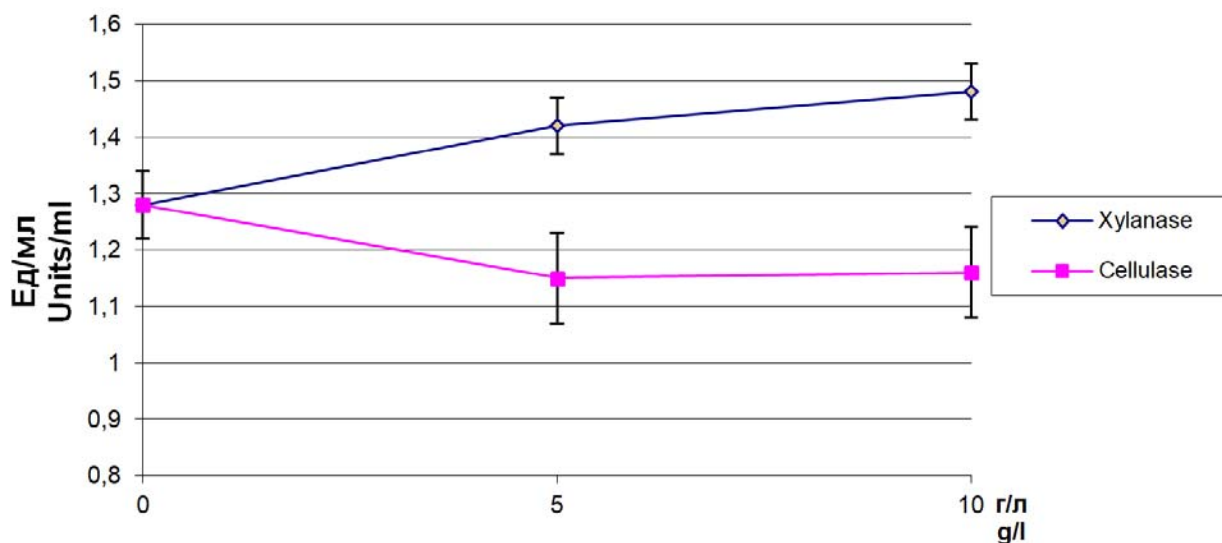


Рисунок 3. Активность целлюлаз *Trichoderma* в присутствии целлюлозы и ксилана

Figure 3. Activity of *Trichoderma* cellulases in the presence of cellulase and xylanase

Таблица 6. Исследование влияние крахмала на синтез фермента амилаз микромицетом *Trichoderma* (n=3, $\alpha \leq 0.05$)
Table 6. Study of the effect of starch on the synthesis of the enzyme amylase of micromycetes *Trichoderma* (n=3, $\alpha \leq 0.05$)

№	Белок (казеин), г/л Protein (casein), g/l	Крахмал, г/л Starch, g/l	Амилазная активность, Ед/мл Amylase activity, Units/ml
1	5,0	0	0,8±0,20
2	5,0	1,25	3,6±0,20
3	5,0	2,50	2,5±0,07
4	5,0	3,75	1,13±0,02
5	5,0	5,0	0,11±0,01

Из результатов представленных таблицы 6 видно, что во второй группе при повышении концентрации крахмала на 1,25 г/л в культуральной среде, синтез амилазы микромицетом повысился более 3 раза в сравнении с контрольной группой. В третьей группе при повышении концентрации крахмала на 2,50 г/л в культуральной среде синтез амилазы микромицетом повысился в 2 раза в сравнении с контрольной группой. При повышении концентрации крахмала на 3,75 г/л в культивируемой среде синтез амилазы микромицетом

повысился 41,0% в сравнении с контрольной группой. В пятой группе при повышении концентрации крахмала на 5,0 г/л в культуральной среде синтез амилазы микромицетом понизился на 86,0% в сравнении с контрольной группой. Анализируя полученные данные можно сказать, что при высоких концентрациях крахмала амилазная активность снижается в отрицательную сторону в сравнении с контролем (рис. 4).

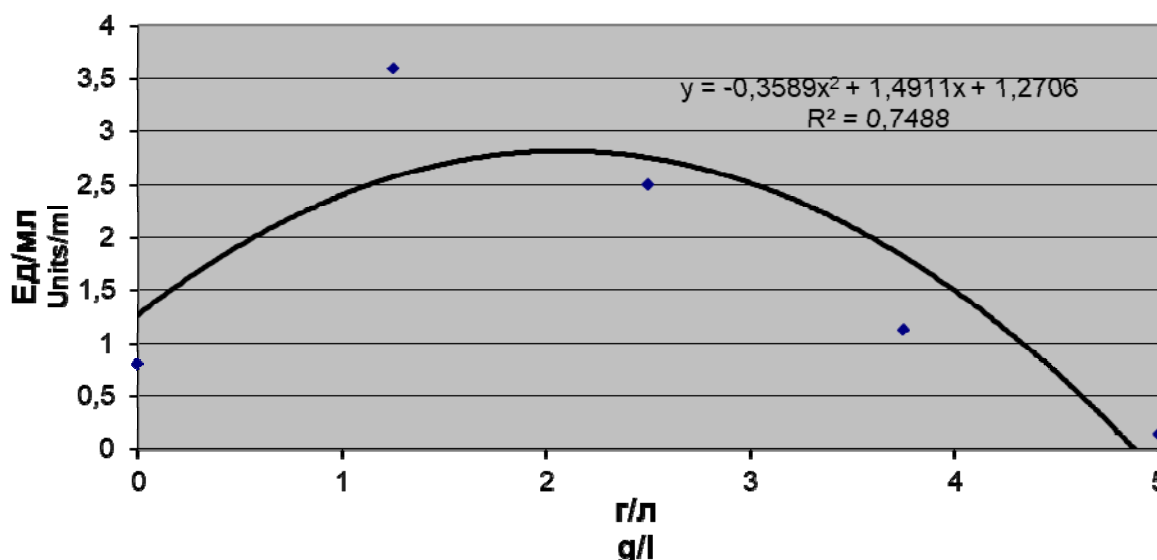


Рисунок 4. Изменение амилазной активности *Trichoderma* при добавлении крахмала
Figure 4. Change in the amylase activity of *Trichoderma* when starch is added

Оптимизация среды культивирования Lactobacillus plantarum, Lactococcus lactis, B. subtilis и Propionibacterium для повышения образования протеаз

Изначально для всех бактерий проведено изучение кинетики накопления протеаз в процессе культивирования на среде, содержащей 5 г/л белка и 5 г/л ксилана (рис. 5). Исследование показало, что после 2 суток роста протеолитическая активность растет незначительно либо снижается, поэтому при проведении дальнейших исследований продолжительность культивирования штаммов бактерий *L. plantarum*, *L. lactis* и *B. subtilis* была ограничена 2 сутками. Оптимизация компонентов культуральной среды не проводилась для бактерий *Propionibacterium* поскольку их протеолитическая активность была незначительная и как продуценты протеаз данные микроорганизмы не представляют интереса.

Далее проведены исследования влияния концентрации ксилана и казеина в культуральной среде на синтез протеолитических ферментов (табл. 7).

Результаты эксперимента показали нарастание протеазной активности культуральной жидкости при увеличении содержания белка в интервале 0–5 г/л при всех концентрациях ксилана для всех исследуемых бактерий. Дальнейший рост протеазной активности (с незначительными отличиями у разных штаммов) культуральной жидкости прослеживается вплоть до увеличения содержания белка в исходной среде до 7,5 г/л. Максимальная протеазная активность культуральной жидкости, полученная при исходной концентрации белка 7,5 г/л и ксилана 10 г/л составила 0,72±0,21 Ед/мл для *L. plantarum*, 0,44±0,19 Ед/мл для *L. lactis* и 0,57±0,17 Ед/мл для *B. subtilis*. Для всех штаммов оптимальное содержание белка составило 5 г/л.

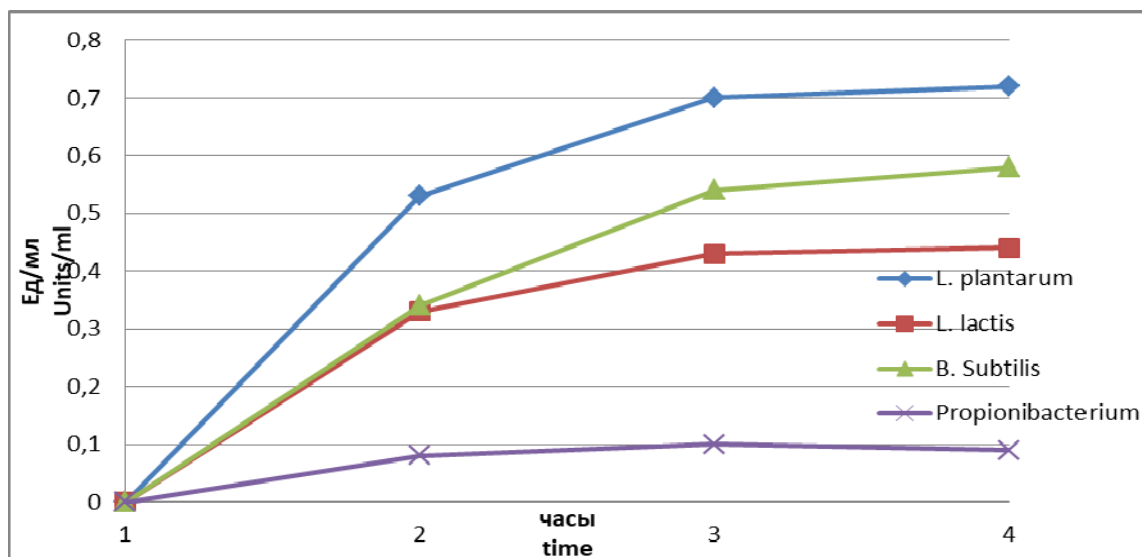


Рисунок 5. Кинетика биосинтеза протеаз при культивировании бактерий на среде содержащей ксилан 5 г/л и белок 5 г/л

Figure 5. Kinetics of protease biosynthesis during bacterial cultivation on a medium containing xylan 5 g/l and protein 5 g/l

Таблица 7. Влияние ксилана и казеина на биосинтез протеолитических ферментов бактерий (n=3, $\alpha \leq 0.05$)

Table 7. The effect of xylan and casein on the biosynthesis of proteolytic enzymes of bacteria (n=3, $\alpha \leq 0.05$)

Название штамма Strain	№	Ксилан Xylan	Белок (казеин) Protein	Биомасса Biomass	Протеолитическая активность Proteolytic activity
		г/л / g/l	г/л / g/l	мг/мл / mg/l	Ед/мл / Units/ml
<i>L. plantarum</i>	1	0	2.5	0.24±0.06	0.18±0.07
	2	0	5.0	0.32±0.03	0.29±0.09
	3	0	7.5	0.32±0.04	0.52±0.12
	4	5.0	2.5	0.49±0.09	0.45±0.13
	5	5.0	5.0	0.50±0.07	0.40±0.14
	4	5.0	7.5	0.52±0.12	0.44±0.15
	7	10.0	2.5	0.41±0.08	0.54±0.15
	8	10.0	5.0	0.42±0.06	0.71±0.13
	9	10.0	7.5	0.42±0.06	0.72±0.21
<i>L. lactis</i>	1	1	2.5	0.14±0.05	0.15±0.04
	2	0	5.0	0.12±0.02	0.29±0.10
	3	0	7.5	0.14±0.05	0.32±0.11
	4	5.0	2.5	0.28±0.08	0.25±0.15
	5	5.0	5.0	0.29±0.08	0.40±0.15
	4	5.0	7.5	0.39±0.10	0.43±0.14
	7	10.0	2.5	0.25±0.05	0.24±0.13
	8	10.0	5.0	0.26±0.04	0.41±0.12
	9	10.0	7.5	0.36±0.08	0.44±0.19
<i>B. subtilis</i>	1	0	2.5	0.12±0.06	0.13±0.05
	2	0	5.0	0.12±0.08	0.29±0.09
	3	0	7.5	0.15±0.06	0.42±0.12
	4	5.0	2.5	0.29±0.09	0.24±0.14
	5	5.0	5.0	0.31±0.12	0.51±0.14
	4	5.0	7.5	0.39±0.11	0.53±0.12
	7	10.0	2.5	0.28±0.08	0.26±0.13
	8	10.0	5.0	0.32±0.06	0.48±0.13
	9	10.0	7.5	0.38±0.10	0.57±0.17

Изучение токсичности микроорганизмов на водных обитателях

Для создания биологических препаратов, используемых для защиты окружающей среды, необходимо исследование их токсикологических свойств. Поэтому это стало следующим этапом исследований для отобранных микроорганизмов, проявивших выраженную антагонистическую активность по отношению к

патогенной и условно патогенной микрофлоре, загрязняющей окружающую среду. Также проведены токсикологические исследования композиции изолятов, состоящей из этих изолятов в виде культуральной суспензии, взятых в равных пропорциях.

Процент выживания простейших *Stylonychia mytilus* при экспозиции с клеточной суспензией суточной культуры изолятов представлены в таблице 8.

Таблица 8. Выживаемость простейших *Stylonychia mytilus* при экспозиции с клеточной суспензией суточной культуры изолятов, %

Table 8. Survival of the protozoa *Stylonychia mytilus* when exposed to a cell suspension of a daily culture of isolates, %

Изолят Isolate	Титр микроорганизмов / Titer of microorganisms		
	1x10 ⁹ КОЕ/мл 1x10 ⁹ КОЕ/ml	1x10 ¹⁰ КОЕ/мл 1x10 ¹⁰ КОЕ/ml	1x10 ¹¹ КОЕ/мл 1x10 ¹¹ КОЕ/ml
<i>Trichoderma</i>	95,2	93,7	92,8
<i>L. plantarum</i>	93,6	93,1	92,8
<i>L. lactis</i>	94,7	93,3	92,6
<i>B. subtilis</i>	94,2	93,7	92,8
(<i>Trichoderma</i> , <i>Lactobacillus</i> spp., <i>B. subtilis</i> , <i>Propionibacterium</i>)	93,2	91,5	92,4
Контроль / Control	95,7		

Установлено, что выживаемость инфузорий после экспозиции с изолятами составила для *Trichoderma* spp. – 92,8–95,2%; *L. plantarum* – 92,8–94,7%; *B. subtilis* – 92,1–94,2%; для композиции – 92,6–94,7%, что незначительно отличается от контроля – 95,7%.

Процент гибели инфузорий в опыте и контроле не имел значительных отличий, что свидетельствует об отсутствии токсического действия суспензии в отношении одноклеточных водных обитателей на примере *S. mytilus*. Таким образом созданную микробиологическую композицию возможно использовать для защиты окружающей среды при воздействии токсикантов агротехногенного происхождения.

Тестирование биodeградации пиретроидов на примере циперметрина

Последним этапом исследования было тестирования микроорганизмов осуществлять биodeградацию пиретроидов. В качестве целевого пестицида был выбран типичный представитель пиретроидов – циперметрин. Высокое соотношение биохимической

потребности в кислороде через 5 дней (BOD₅) и химической потребности в кислороде (COD_{cr}) является показателем лучшей биоразлагаемости циперметрина. Способность к биологическому разложению можно разделить на четыре категории: легко поддающиеся биологическому разложению, биоразлагаемые, трудно поддающиеся биологическому разложению и с трудом поддающиеся биологическому разложению, в которых соотношение BOD₅/COD_{cr} составляет > 0,45, >0,3, <0,3 и < 0,2 соответственно.

Биodeградация циперметрина микроорганизмами на основе соотношения биохимической потребности в кислороде через 5 дней (BOD₅) и химической потребности в кислороде (COD_{cr}) представлены в таблице 9. Наиболее активным биоразлагаемым действием обладают изоляты микроскопического гриба и спорообразующей бактерии *B. subtilis*. Этот результат намного лучше, чем у других представленных микроорганизмов, которые возможно в биологическом консорциуме будут эффективней разлагать синтетические пиретроиды [45; 67–75].

Таблица 9. Биodeградация циперметрина микроорганизмами на основе соотношения биохимической потребности в кислороде через 5 дней (BOD₅) и химической потребности в кислороде (COD_{cr})

Table 9. Biodegradation of cypermethrin by microorganisms based on the ratio of biochemical oxygen demand after 5 days (BOD₅) and chemical oxygen demand (COD_{cr})

Микроорганизмы Microorganism	БПК ₅ (BOD ₅) (mg L)	ХПК _{cr} (COD _{cr}) (mg L)	Биodeградация, % Biodegradation, %	Остаток, % Residue, %
<i>Trichoderma</i>	115±25	640±38	18,0±4,1	82,03±9,7
<i>L. plantarum</i>	40±20	785±44	5,10±2,4	94,90±9,2
<i>L. lactis</i>	30±21	795±39	3,77±3,1	96,23±9,3
<i>B. subtilis</i>	100±26	700±43	14,29±3,6	85,71±8,6
(<i>Trichoderma</i> , <i>Lactobacillus</i> spp., <i>B. subtilis</i> , <i>Propionibacterium</i>)	145±24	600±37	24,2±3,3	75,8±8,2

На 5 сутки биодegradация циперметрина составила 18,0% для изолята микроскопического гриба *Trichoderma*, 5% для *L. plantarum*, 3,7% для *L. lactis* и 14,3% для *B. subtilis*. Композиция микроорганизмов подвергла циперметрин максимальной биодegradации, которая составила 24,2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в условиях активного сельскохозяйственного производства особое значение отводится новым способам утилизации агротехногенных токсикантов различного происхождения, которые дают возможность быстро и безопасно обезвреживать токсические вещества, не нанося вред окружающей среде и его обитателям. Изучение биологических свойств, в том числе и ферментативной активности, является основным показателем метаболизма микроорганизмов, которая является основным механизмом дальнейшего разложения пестицидов и их промежуточных продуктов. В результате проведенной работы выявлено, что из 23 выделенных изолятов наибольшей ферментативной активностью обладало 5 изолятов, продуцируемые ими гидролазы позволяют не только эффективно расщеплять биологические субстраты, но так же предоставляют возможность применения данных штаммов в деструкции пестицидов. Отобранные на первом этапе работы изоляты, обладающие наибольшей ферментативной активностью, показали и высокую антагонистическую активность в отношении некоторых бактерий контаминирующих в окружающей среде и представляющих условно-патогенную микрофлору. Биотестирование на водных обитателях выделенных микроорганизмов показало, что процент гибели инфузорий (*S. mytilus*) в опыте и контроле не имел значительных отличий. Были выделены микроорганизмы, способные к биодеструкции пестицидов из класса синтетических пиретроидов. Исследования также показали, что усиленная деструкция циперметрина может быть достигнута смешанными микробными популяциями при оптимальных режимах окружающей среды.

Таким образом, проведенные исследования указывают на возможность считать перспективными для дальнейшей работы по отбору штаммов для применения в разработке препаратов для защиты окружающей среды от загрязнителей агротехногенного происхождения.

Однако для полного понимания механизмов биодеструкции пестицидов требуется идентификация ферментов, ответственных за дegradацию пиретроидов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке гранта №220-2961-3099 согласно Постановлению Правительства РФ №220.

ACKNOWLEDGMENT

The work was supported by grant No. 220-2961-3099 in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation No. 220.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chen S., Sun D., Chung J.S. Treatment of Pesticide Wastewater by Moving-Bed Biofilm Reactor Combined with Fenton-Coagulation Pretreatment // J. Hazard. Mater. 2007. V. 144. P. 577–584.

2. Egorov V.I., Aleyev D.V., Malanov A.V., Khalikova K.F., Galyautdinova G.G., Yamalova G.R., Tremasova A.M., Kadikov I.R., Saifutdinov A.M., Semenov E.I., Shuralev E.A., Smolentsev S.Yu. The use of sorbents for intoxication of chickens with imidacloprid // International Journal of Pharmaceutical Research. 2021. V. 13. N 1. P. 3225–3233.
3. Nayak S.K., Dash B., Baliyarsingh B. Microbial Remediation of Persistent Agrochemicals by Soil Bacteria: An Overview // Microb. Biotechnol. 2018. P. 275–301.
4. Abdallah O.I., Hanafi A., Ghani S.B.A., Ghisoni S., Lucini L. Pesticides Contamination in Egyptian Honey Samples // J. Consum. Prot. Food Saf. 2017. V. 12. P. 317–327.
5. Кузнецова Е.Л. Влияние дециса на кур // Материалы Международной конференции ветеринарных фармакологов и токсикологов, посвященной 125-летию Н.А. Сохественского. Казань. 2001. С. 73–74.
6. Liu C., Qu J., Wu M., Huang X., Li L. Cypermethrin triggers YY1-mediated testosterone biosynthesis suppression // Ecotoxicol Environ Saf. 2021. V. 225. Article ID: 112792. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112792>
7. Aldridge W.N. Toxicology of pyrethroids // Pestic. chem: Hum. Welfare and Environ. Pros.: 5th intern kongr. Kioto. 1982. N 3. P. 485–490.
8. Grey A.J., Soderlund D.M. Mammalian toxicology of pyrethroids // Insecticides. Chichester: John Wiley and Sons. 1985. V. 5. P. 207–212.
9. White G.B. Pyrethroids – why is their use increasing // J. Toxicol. Clin. Toxicol. 1999. V. 37. N 3. Article ID: 361.
10. Cunha E.O., Reis A.D., Macedo M.B., Machado M.S., Dallegrave E. Braz. Ototoxicity of cypermethrin in Wistar rats // J Otorhinolaryngol. 2020. V. 86. Iss. 5. P. 587–592. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2019.02.007>
11. Chen S., Lin Q., Xiao Y., Deng Y., Chang C., Zhong G., Hu M., Zhang L.H. Monooxygenase, a novel beta-cypermethrin degrading enzyme from *Streptomyces* sp. // PLoS ONE. 2013. V. 8. Article ID: 75450.
12. Valiullin L.R., Titova V.Y., Skvortsov E.V., Muhammadiev R.S., Validov S.Z., Rud V.Y., Davydov V.V., Glinushkin A.P. Search for antagonists to protect plant raw materials from pathogens Earth and Environmental Science // All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021. Article ID: 012005.
13. Wang H.X., Zhang R., Li Z., Wang L.S., Yu Y., Wang Q., Ding Z., Zhang J.P., Zhang M.R., Xu L.C. Cypermethrin induces Sertoli cell apoptosis through mitochondrial pathway associated with calcium // Toxicol Res. 2021. V. 10. N 4. P. 742–750. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfab056>
14. Chen S., Geng P., Xiao Y., Hu M. Bioremediation of β -cypermethrin and 3-phenoxybenzaldehyde contaminated soils using *Streptomyces aureus* HP-S-01 // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2012. V. 94. P. 505–515.
15. Pankaj, Sharma A., Gangola S., Khatri P., Kumar G., Srivastava A. Novel pathway of cypermethrin biodegradation in a *Bacillus* sp. strain SG2 isolated from cypermethrin-contaminated agriculture field // Biotech. 2016. V. 6. Iss. 1. Article number: 45. doi: 10.1007/s13205-016-0372-3
16. Ucar A., Özgeriş F.B., Yeltekin A.Ç., Parlak V., Alak G., Keleş M.S., Atamanalp M. J The effect of N-acetylcysteine supplementation on the oxidative stress levels, apoptosis, DNA damage, and hematopoietic effect in pesticide-exposed fish blood // Biochem Mol Toxicol. 2019. V. 6. Article ID: 22311. <https://doi.org/10.1002/jbt.22311>
17. Sharma R., Jindal R., Faggio C. Impact of cypermethrin in nephrocytes of freshwater fish *Catla catla* // Environ Toxicol Pharmacol. 2021. V. 88. Article ID: 103739. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103739>
18. Бадман Л.А., Волкова Н.В., Грекова Т.Д. и др. Справочное издание. Вредные химические вещества.

- Неорганические соединения V-VIII групп. Л.: Химия, 1989. С. 442–473.
19. Sulaiman N., Chee Beng Y., Ahmad Bustamam F.K., Khairuddin NSK., Muhamad H. Fate of cypermethrin in Malaysian oil palm plantation // *Drug Test Anal.* 2020. V. 12. Iss. 4. P. 504–513. <https://doi.org/10.1002/dta.2760>
 20. Yadav A., Tandon A., Seth B., Goyal S., Singh S.J., Tiwari S.K., Agarwal S., Nair S., Chaturvedi R.K. Cypermethrin Impairs Hippocampal Neurogenesis and Cognitive Functions by Altering Neural Fate Decisions in the Rat Brain // *Mol Neurobiol.* 2021. V. 58. P. 263–280. <https://doi.org/10.1007/s12035-020-02108-9>
 21. Di Bella G., Mottese A.F., Potorti A.G., Fede M.R., Sabatino G., Cicero N., Beltifa A., Dugo G., Lo Turco V. Organic pollution in PGI and non-PGI lemons and related soils from Italy and Turkey // *Nat Prod Res.* 2019. V. 33. Iss. 21. P. 3089–3094. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1519818>
 22. Oumbouke W.A., Rowland M., Koffi A.A., Alou LPA., Camara S., N'Guessan R. Evaluation of an alpha-cypermethrin + PBO mixture long-lasting insecticidal net VEERALIN® LN against pyrethroid resistant *Anopheles gambiae* s.s.: an experimental hut trial in M'bé, central Côte d'Ivoire // *Parasit Vectors.* 2019. V. 15. N 12. Article number: 544. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3796-x>
 23. Lissenden N., Kont M.D., Essandoh J., Ismail H.M. et. al. Review and Meta-Analysis of the Evidence for Choosing between Specific Pyrethroids for Programmatic Purposes // *Insects.* 2021. V. 14. Iss. 12. Article number: 826. <https://doi.org/10.3390/insects12090826>
 24. Ali M.H., Sumon K.A., Sultana M., Rashid H. Toxicity of cypermethrin on the embryo and larvae of *Gangetic mystus*, *Mystus cavasius* // *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018. V. 25. N4. P. 3193–3199. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9399-1>
 25. Jin S., Yao X., Xu Z., Zhang X., Yang F. Estimation of soil-specific microbial degradation of alpha-cypermethrin by compound-specific stable isotope analysis // *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018. V. 23. P. 22736–22743. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2399-y>
 26. Мельников Н.Н. Методическое указание по определению микроклимата пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде. М.: Госхимкомиссия. 1982. ч. 12. 301 с.
 27. Seema J. Comparative assessment of growth and biodegradation potential of soil isolate in the presence of pesticides // *J Biol Sci.* 2013. V. 20. Iss. 3. P. 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.02.007>
 28. Akbar S., Sultan S., Kertesz S. Determination of cypermethrin degradation potential of soil bacteria along with plant growth-promoting characteristics // *Microbiol.* 2015. V. 70. N 1. P. 75–84. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0684-7>
 29. Amin M., Raza Gurmani A., Rafique M., Ullah Khan S., Mehmood A., Muhammad D., Hussain Syed J.Saudi. Investigating the degradation behavior of Cypermethrin (CYP) and Chlorpyrifos (CPP) in peach orchard soils using organic/inorganic amendments // *J Biol Sci.* 2021. V. 28. Iss. 10. P. 5890–5896. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.035>
 30. Jiang W., Yao G., Jing X., Liu X., Liu D., Zhou Z. Effects of Cd²⁺ and Pb²⁺ on enantioselective degradation behavior of α -cypermethrin in soils and their combined effect on activities of soil enzymes // *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021. V. 28. Iss. 34. P. 47099–47106. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13929-z>
 31. Мельников Н.Н. Химия и технология пестицидов. М.: Наука, 1974. С. 209–226.
 32. Yao G., Jing X., Liu C., Wang P., Liu X., Hou Y., Zhou Z., Liu D. Enantioselective degradation of alpha-cypermethrin and detection of its metabolites in bullfrog (*Rana catesbeiana*) // *Ecotoxicol Environ Saf.* 2017. V. 141. P. 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.019>
 33. Jiang W., Gao J., Cheng Z., Zhai W., Liu D., Zhou Z., Wang P. The influence of oxytetracycline on the degradation and enantioselectivity of the chiral pesticide beta-cypermethrin in soil // *Environ Pollut.* 2019. V. 255. Part 1. Article ID: 113215. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113215>
 34. Kanyika-Mbewe C., Thole B., Makwinja R., Kaonga C.C. Monitoring of carbaryl and cypermethrin concentrations in water and soil in Southern Malawi // *Environ Monit Assess.* 2020. V. 192. Iss. 9. Article number: 595. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08557-y>
 35. Lu J., Wu Q., Yang Q., Li G., Wang R., Liu Y., Duan C., Duan S., He X., Huang Z., Peng X., Yan W., Jiang J. Molecular mechanism of reproductive toxicity induced by beta-cypermethrin in zebrafish // *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 2021. V. 239. Article ID: 108894. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108894>
 36. Saied E., Fouda A., Alemam A.M., Sultan M.H., et. al. Evaluate the Toxicity of Pyrethroid Insecticide Cypermethrin before and after Biodegradation by *Lysinibacillus cresolivorans* Strain HIS7 // *Plants (Basel).* 2021. V. 10. Iss. 9. Article ID: 1903. <https://doi.org/10.3390/plants10091903>
 37. Yang Y., Ma S., Liu F., Wang Q., Wang X., et. al. Acute and chronic toxicity of acetamiprid, carbaryl, cypermethrin and deltamethrin to *Apis mellifera* larvae reared *in vitro* // *Pest Manag Sci.* 2020. V. 76. N 3. P. 978–985. <https://doi.org/10.1002/ps.5606>
 38. Seven B., Kültiğin, Çavuşoğlu, Yalçın E., Acar A. Investigation of cypermethrin toxicity in Swiss albino mice with physiological, genetic and biochemical approaches // *Sci Rep.* 2022. V. 12. Article number: 11439. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15800-8>
 39. Raginov I.S., Egorov V.I., Valiullin L.R., Watanabe D., Balakin K.V., Murinov Y.I. Morphological and functional evaluation of the effect of novel pyrimidine derivatives on regeneration of the sciatic nerve in rats // *Neurosci Lett.* 2019. V. 706. P. 110–113. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.05.008>
 40. Akelma H., Kilic E.T., Salik F., Bica E.A., Yektas A. Pyrethroid intoxication: A rare case report and literature review // *J Clin Pract.* 2019. V. 22. N 3. P. 442–444. DOI: 10.4103/njcp.njcp_241_18
 41. Chen S., Geng P., Xiao Y., Hu M. Bioremediation of β -cypermethrin and 3-phenoxybenzaldehyde contaminated soils using *Streptomyces aureus* HP-S-01 // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2012. V. 94. P. 505–515.
 42. Ruan Z.Y., Zhai Y., Song J.L., Shi Y.H., Li K., Zhao B., et al. Molecular cloning and characterization of a newly isolated pyrethroid-degrading esterase gene from a genomic library of *Ochrobactrum anthropi* YZ-1 // *PLoS One.* 2013. V. 8, Article ID: e77329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077329>
 43. Liu F.F., Chi Y.L., Wu S., Jia D.Y., Yao K. Simultaneous degradation of cypermethrin and its metabolite, 3-phenoxybenzoic acid, by the cooperation of *Bacillus licheniformis* B-1 and *Sphingomonas* sp. SC-1 // *J. Agric. Food Chem.* 2014. V. 62. P. 8256–8262. <https://doi.org/10.1021/jf502835n>
 44. Zhao J.Y., Chi Y.L., Xu Y.C., Jia D.Y., Yao K. Co-metabolic degradation of β -cypermethrin and 3-phenoxybenzoic acid by co-culture of *Bacillus licheniformis* B-1 and *Aspergillus oryzae* M-4 // *PLoS One.* 2016. V. 11. Article number: e0166796. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166796>
 45. Pavelyev R.S., Zaripova Y.F., Yarkovoi V.V., Vinogradova S.S., et. al. Performance of Waterborne Polyurethanes in Inhibition of Gas Hydrate Formation and Corrosion: Influence of Hydrophobic Fragments // *Molecules.* 2020. V. 25. Iss. 23. Article ID: 5664. <https://doi.org/10.3390/molecules25235664>
 46. Zhan H., Huang Y.H., Lin Z.Q., Bhatt P., Chen S.H. New insights into the microbial degradation and catalytic mechanism of synthetic pyrethroids // *Environ. Res.* 2020. V.

182. Article ID: 109138.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109138>
47. Gaughan L.C., Unai T., Gasida I.E. Permethrin metabolism in rats // *Agric. Food. Chem.* 1977. V. 25. P. 9–17.
48. Xu Z., Shen X., Zhang X.C., Liu W., Yang F. Microbial degradation of alpha-cypermethrin in soil by compound-specific stable isotope analysis // *J Hazard Mater.* 2015. V. 295. P. 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.03.062>
49. Хоула Дж. Определитель бактерий Берджи: в 2 т. М.: Мир, 1997.
50. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // *Analytical Chemistry.* 1959. V. 31. N 3. P. 426–428.
51. Najafi M.F., Deobagkar D., Deobagkar D. Purification and characterization of an extracellular amylase from *Bacillus subtilis* AX20 // *Protein Exp. Purif.* 2005. V. 41. P. 349–354.
52. Schuerg T., et al. Xylose induces cellulase production in *Thermoascus aurantiacus* // *Biotechnol Biofuels.* 2017. V. 10. Article number: 271. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0965-z>
53. Gabriel R., et al. Development of genetic tools for the thermophilic filamentous fungus *Thermoascus aurantiacus* // *Biotechnol Biofuels.* 2020. V. 13. Article ID: 167. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01804-x>
54. Cupp-Enyard C. Sigma's non-specific protease activity assay – casein as a substrate // *J. Vis. Exp.* 2008. V. 19. Article ID: e899. DOI: 10.3791/899
55. Gabriel R., et al. The F-box protein gene *exo-1* is a target for reverse engineering enzyme hypersecretion in filamentous fungi // *PNAS.* 2021. V. 118. Iss. 26. Article number: e2025689118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2025689118>
56. Berg G., Hallmann J., Schulz B.J.E., Boyle C.J.C., Sieber T.N. Control of plant pathogenic fungi with bacterial endophytes. Berlin: Springer, 2006, pp. 53–69.
57. Chen Y., Gao X., Chen Y., Qin H., Huang L., Han Q. Inhibitory efficacy of endophytic *Bacillus subtilis* EDR4 against *Sclerotinia* access to microbial diversity for drug discovery from natural products. 2014. vol. 69. P. 49–55.
58. Mohamad O.A.A., Li L., Ma J.B., et.al. Evaluation of the Antimicrobial Activity of Endophytic Bacterial Populations From Chinese Traditional Medicinal Plant Licorice and Characterization of the Bioactive Secondary Metabolites Produced by *Bacillus atrophaeus* Against *Verticillium dahlia* // *Front Microbiol.* 2018. V. 9. Article ID: 924. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00924>
59. Mukhammadiev R.S., Mukhammadieva A.S., Skvortsov E.V., Valiullin L.R., Glinushkin A.P. Antagonistic properties and biocompatibility as important principles for development of effective and biosafety probiotic drugs iop // All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021, Article ID: 012008.
60. Diabankana R.G.C., Afordoanyi D.M., Safin R.I., Nizamov R.M., Karimova L.Z., Validov S.Z. Antifungal Properties, Abiotic Stress Resistance, and Biocontrol Ability of *Bacillus mojavensis* PS17 // *Curr Microbiol.* 2021. V. 78. N 8. P. 3124–3132. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02578-7>
61. Kelland M.A., Production Chemicals for the Oil and Gas Industry. CRC, Boca Raton, FL. 2014.
62. Erguven G.O., Yildirim N. The Evaluation of Imidacloprid Remediation in Soil Media by Two Bacterial Strains // *Curr Microbiol.* 2019. V. 76. N 12. P. 1461–1466. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01774-w>
63. РД 52.24.421-2012 Химическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерений титриметрическим методом. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Ростов-на-Дону, 2012. 20 с.
64. van Loon L.C. Plant responses to plant growth promoting rhizobacteria // *Eur. J. Plant Pathol.* 2007. V. 119. P. 243–254.
65. TariqJaveed M., Farooq T., Al-Hazmi A.S., Hussain M.D., Rehman A.U. Role of *Trichoderma* as a biocontrol agent (BCA) of phytoparasitic nematodes and plant growth inducer // *J Invertebr Pathol.* 2021. V. 183. Article ID: 107626. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107626>
66. Alfiky A., Weisskopf L.J. Deciphering *Trichoderma*-Plant-Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications // *Fungi (Basel).* 2021. V. 7. N 1. Article ID: 61. <https://doi.org/10.3390/jof7010061>
67. Apha AWWA, WPCF American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington. 2005.
68. Cove J.H., Holland K.T., Cunliffe W.J. Effects of Oxygen Concentration on Biomass Production, Maximum Specific Growth Rate and Extracellular Enzyme Production by Three Species of Cutaneous Propionibacteria Grown in Continuous Culture // *Journal of General Microbiology.* 1983. V. 129. P. 3327–3334.
69. Sa-Pereira P., Costa-Ferreira M., Aires-Barros M.R. Enzymatic properties of a neutral endo- 1, 3 (4) - xylanase *Xyl II* from *Bacillus subtilis* // *Journal of Biotechnology.* 2002. V. 94. N 3. P. 245–275.
70. Hasan B. Fermentation of fish silage using *Lactobacillus pentosus* // *J Natur Indones.* 2003. V. 4. N 1. P. 11–15.
71. Simova E., Simov Z., Beshkova D., Frengova G., Dimitrov Z., Spasov Z. Aminoacid profiles of lactic acid bacteria, isolated from kefir grains and kefir starter made from them // *Int J Food Microbiol.* 2004. V. 107. N 2. P. 112–123.
72. Savijoki K., Ingmer H., Varmanen P. Proteolytic systems of lactic acid bacteria // *Appl Microbiol Biotechnol.* 2004. V. 71. P. 394–404.
73. Chebotar V.K., Makarova N.M., Shaposhnikov A.I., Kravchenko L.V. Antifungal and phytostimulating characteristics of *Bacillus subtilis* Ch-13 rhizospheric strain, producer biopreparations // *Appl. Biochem. Microbiol.* 2009. V. 45. N 4. P. 419–423.
74. Lim Y.H., Foo H.L., Loh T.C., Mohamad R., Abdullah N. Comparative studies of versatile extracellular proteolytic activities of lactic acid bacteria and their potential for extracellular amino acid productions as feed supplements // *Journal of Animal Science and Biotechnology.* 2019. V. 10. Iss. 15. P. 2–13.
75. Jin X.L., Jing M., Chen X., Zhuang Z.X., Wang X.R., Lee F.S. A study on the relationship between BOD(5) and COD in a coastal seawater environment with a rapid BOD measurement system // *Water Sci Technol.* 2010. V. 61. Iss. 6. P. 1499–1503. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.810>

REFERENCES

1. Chen S., Sun D., Chung J.S. Treatment of Pesticide Wastewater by Moving-Bed Biofilm Reactor Combined with Fenton-Coagulation Pretreatment. *J. Hazard. Mater.*, 2007, vol. 144, pp. 577–584.
2. Egorov V.I., Aleyev D.V., Malanov A.V., Khalikova K.F., Galyautdinova G.G., Yamalova G.R., Tremasova A.M., Kadikov I.R., Saifutdinov A.M., Semenov E.I., Shuralev E.A., Smolentsev S.Yu. The use of sorbents for intoxication of chickens with imidacloprid. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 3225–3233.
3. Nayak S.K., Dash B., Baliyarsingh B. Microbial Remediation of Persistent Agro-chemicals by Soil Bacteria: An Overview. *Microb. Biotechnol.*, 2018, pp. 275–301.
4. Abdallah O.I., Hanafi A., Ghani S.B.A., Ghisoni S., Lucini L. Pesticides Contamination in Egyptian Honey Samples. *J. Consum. Prot. Food Saf.*, 2017, vol. 12, pp. 317–327.
5. Kuznetsova E.L. Vliyaniye detsisa na kur [Influence of decison chickens]. *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii veterinarnykh farmakologov i toksikologov, posvyashchennoi 125-letiyu N.A. Soshestvenskogo, Kazan', 2001* [Proceedings of the International Conference of Veterinary Pharmacologists

- and Toxicologists dedicated to the 125th anniversary of N.A. Soshestvensky, Kazan, 2001]. Kazan, 2001, pp. 73–74. (In Russian)
6. Liu C., Qu J., Wu M., Huang X., Li L. Cypermethrin triggers YY1-mediated testosterone biosynthesis suppression. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 2021, vol. 225, article ID: 112792. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112792>
 7. Aldridge W.N. Toxicology of pyrethroids. *Pestic. chem: Hum. Welfare and Environ. Pros.: 5th intern kongr. Kioto.*, 1982, no. 3, pp. 485–490.
 8. Grey A.J., Soderlund D.M. *Mammalian toxicology of pyrethroids*. Insecticides. Chichester: John Wiley and Sons., 1985, vol. 5, pp. 207–212.
 9. White G.B. Pyrethroids – why is their use increasing. *J. Toxicol. Clin. Toxicol.*, 1999, vol. 37, no. 3, article id: 361.
 10. Cunha E.O., Reis A.D., Macedo M.B., Machado M.S., Dallegrave E. Braz. Ototoxicity of cypermethrin in Wistar rats. *J Otorhinolaryngol*, 2020, vol. 86, iss. 5, pp. 587–592. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2019.02.007>
 11. Chen S., Lin Q., Xiao Y., Deng Y., Chang C., Zhong G., Hu M., Zhang L.H. Monooxygenase, a novel beta-cypermethrin degrading enzyme from *Streptomyces* sp. *PLoS ONE*, 2013, vol. 8, article ID: 75450.
 12. Valiullin L.R., Titova V.Y., Skvortsov E.V., Muhammadiev R.S., Validov S.Z., Rud V.Y., Davydov V.V., Glinushkin A.P. Search for antagonists to protect plant raw materials from pathogens Earth and Environmental Science. All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021, article ID: 012005.
 13. Wang H.X., Zhang R., Li Z., Wang L.S., Yu Y., Wang Q., Ding Z., Zhang J.P., Zhang M.R., Xu L.C. Cypermethrin induces Sertoli cell apoptosis through mitochondrial pathway associated with calcium. *Toxicol Res.*, 2021, vol. 10, no. 4, pp. 742–750. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfab056>
 14. Chen S., Geng P., Xiao Y., Hu M. Bioremediation of β -cypermethrin and 3-phenoxybenzaldehyde contaminated soils using *Streptomyces aureus* HP-S-01. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2012, vol. 94, pp. 505–515.
 15. Pankaj, Sharma A., Gangola S., Khatri P., Kumar G., Srivastava A. Novel pathway of cypermethrin biodegradation in a *Bacillus* sp. strain SG2 isolated from cypermethrin-contaminated agriculture field. *Biotech*, 2016, vol. 6, iss. 1, article number: 45. doi: 10.1007/s13205-016-0372-3
 16. Ucar A., Özgeriş F.B., Yeltekin A.Ç., Parlak V., Alak G., Keleş M.S., Atamanalp M.J. The effect of N-acetylcysteine supplementation on the oxidative stress levels, apoptosis, DNA damage, and hematopoietic effect in pesticide-exposed fish blood. *Biochem Mol Toxicol.*, 2019, vol. 6, article ID: 22311. <https://doi.org/10.1002/jbt.22311>
 17. Sharma R., Jindal R., Faggio C. Impact of cypermethrin in nephrocytes of freshwater fish *Catla catla*. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2021, vol. 88, article ID: 103739. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103739>
 18. Badman L.A., Volkova N.V., Grekova T.D., et al. *Spravochnoe izdanie. Vrednye khimicheskie veshchestva. Neorganicheskie soedineniya V-VIII grupp* [Reference edition. Harmful chemicals. Inorganic compounds of groups V-VIII]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989, pp. 442–473. (In Russian)
 19. Sulaiman N., Chee Beng Y., Ahmad Bustamam F.K., Khairuddin N.S.K., Muhamad H. Fate of cypermethrin in Malaysian oil palm plantation. *Drug Test Anal.*, 2020, vol. 12, iss. 4, pp. 504–513. <https://doi.org/10.1002/dta.2760>
 20. Yadav A., Tandon A., Seth B., Goyal S., Singh S.J., Tiwari S.K., Agarwal S., Nair S., Chaturvedi R.K. Cypermethrin Impairs Hippocampal Neurogenesis and Cognitive Functions by Altering Neural Fate Decisions in the Rat Brain. *Mol Neurobiol.*, 2021, vol. 58, pp. 263–280. <https://doi.org/10.1007/s12035-020-02108-9>
 21. Di Bella G., Mottese A.F., Potorti A.G., Fede M.R., Sabatino G., Cicero N., Beltifa A., Dugo G., Lo Turco V. Organic pollution in PGI and non-PGI lemons and related soils from Italy and Turkey. *Nat Prod Res.*, 2019, vol. 33, iss. 21, pp. 3089–3094. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1519818>
 22. Oumbouke W.A., Rowland M., Koffi A.A., Alou L.P.A., Camara S., N'Guessan R. Evaluation of an alpha-cypermethrin + PBO mixture long-lasting insecticidal net VEERALIN® LN against pyrethroid resistant *Anopheles gambiae* s.s.: an experimental hut trial in M'bé, central Côte d'Ivoire. *Parasit Vectors.*, 2019, vol. 15, no. 12, article number: 544. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3796-x>
 23. Lissenden N., Kont M.D., Essandoh J., Ismail H.M. et. al. Review and Meta-Analysis of the Evidence for Choosing between Specific Pyrethroids for Programmatic Purposes. *Insects*, 2021, vol. 14, iss. 12, article number: 826. <https://doi.org/10.3390/insects12090826>
 24. Ali M.H., Sumon K.A., Sultana M., Rashid H. Toxicity of cypermethrin on the embryo and larvae of *Gangetic mystus*, *Mystus cavasius*. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 2018, vol. 25, no. 4, pp. 3193–3199. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9399-1>
 25. Jin S., Yao X., Xu Z., Zhang X., Yang F. Estimation of soil-specific microbial degradation of alpha-cypermethrin by compound-specific stable isotope analysis. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 2018, vol. 23, pp. 22736–22743. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2399-y>
 26. Mel'nikov N.N. *Metodicheskoe ukazanie po opredeleniyu mikrokolichestv pestitsidov v produktakh pitaniya, kormakh i vneshej srede* [Guidelines for the determination of trace amounts of pesticides in food, feed and the environment]. Moscow, Goskhimkomissiya Publ., 1982, pt. 12, 301 p. (In Russian)
 27. Seema J. Comparative assessment of growth and biodegradation potential of soil isolate in the presence of pesticides. *J Biol Sci.*, 2013, vol. 20, iss. 3, pp. 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.02.007>
 28. Akbar S., Sultan S., Kertesz M. Determination of cypermethrin degradation potential of soil bacteria along with plant growth-promoting characteristics. *Microbiol.*, 2015, vol. 70, no. 1, pp. 75–84. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0684-7>
 29. Amin M., Raza Gurmani A., Rafique M., Ullah Khan S., Mehmood A., Muhammad D., Hussain Syed J. Saudi. Investigating the degradation behavior of Cypermethrin (CYP) and Chlorpyrifos (CPP) in peach orchard soils using organic/inorganic amendments. *J Biol Sci.*, 2021, vol. 28, iss. 10, pp. 5890–5896. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.035>
 30. Jiang W., Yao G., Jing X., Liu X., Liu D., Zhou Z. Effects of Cd²⁺ and Pb²⁺ on enantioselective degradation behavior of α -cypermethrin in soils and their combined effect on activities of soil enzymes. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 2021, vol. 28, iss. 34, pp. 47099–47106. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13929-z>
 31. Mel'nikov N.N. *Khimiya i tekhnologiya pestitsidov* [Chemistry and technology of pesticides]. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 209–226. (In Russian)
 32. Yao G., Jing X., Liu C., Wang P., Liu X., Hou Y., Zhou Z., Liu D. Enantioselective degradation of alpha-cypermethrin and detection of its metabolites in bullfrog (*Rana catesbeiana*). *Ecotoxicol Environ Saf.*, 2017, vol. 141, pp. 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.019>
 33. Jiang W., Gao J., Cheng Z., Zhai W., Liu D., Zhou Z., Wang P. The influence of oxytetracycline on the degradation and enantioselectivity of the chiral pesticide beta-cypermethrin in soil. *Environ Pollut.*, 2019, vol. 255, pt. 1, article ID: 113215. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113215>
 34. Kanyika-Mbewe C., Thole B., Makwinja R., Kaonga C.C. Monitoring of carbaryl and cypermethrin concentrations in water and soil in Southern Malawi. *Environ Monit Assess.*,

- 2020, vol. 192, iss. 9, article number: 595.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08557-y>
35. Lu J., Wu Q., Yang Q., Li G., Wang R., Liu Y., Duan C., Duan S., He X., Huang Z., Peng X., Yan W., Jiang J. Molecular mechanism of reproductive toxicity induced by beta-cypermethrin in zebrafish. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.*, 2021, vol. 239, article id: 108894.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108894>
36. Saied E., Fouda A., Alemam A.M., Sultan M.H., et. al. Evaluate the Toxicity of Pyrethroid Insecticide Cypermethrin before and after Biodegradation by *Lysinibacillus cresolivorans* Strain HIS7. *Plants (Basel)*, 2021, vol. 10, iss. 9, article id: 1903. <https://doi.org/10.3390/plants10091903>
37. Yang Y., Ma S., Liu F., Wang Q., Wang X., et. al. Acute and chronic toxicity of acetamiprid, carbaryl, cypermethrin and deltamethrin to *Apis mellifera* larvae reared *in vitro*. *Pest Manag Sci.*, 2020, vol. 76, no. 3, pp. 978–985.
<https://doi.org/10.1002/ps.5606>
38. Seven B., Kültiğin, Çavuşoğlu, Yalçın E., Acar A. Investigation of cypermethrin toxicity in Swiss albino mice with physiological, genetic and biochemical approaches. *Sci Rep.*, 2022, vol. 12, article number: 11439.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-15800-8>
39. Raginov I.S., Egorov V.I., Valiullin L.R., Watanabe D., Balakin K.V., Murinov Y.I. Morphological and functional evaluation of the effect of novel pyrimidine derivatives on regeneration of the sciatic nerve in rats. *Neurosci Lett.*, 2019, vol. 706, pp. 110–113.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.05.008>
40. Akelma H., Kilic E.T., Salik F., Bicak E.A., Yektas A. Pyrethroid intoxication: A rare case report and literature review. *J Clin Pract.*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 442–444. DOI: 10.4103/njcp.njcp_241_18
41. Chen S., Geng P., Xiao Y., Hu M. Bioremediation of β -cypermethrin and 3-phenoxybenzaldehyde contaminated soils using *Streptomyces aureus* HP-S-01. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2012, vol. 94, pp. 505–515.
42. Ruan Z.Y., Zhai Y., Song J.L., Shi Y.H., Li K., Zhao B., et al. Molecular cloning and characterization of a newly isolated pyrethroid-degrading esterase gene from a genomic library of *Ochrobactrum anthropi* YZ-1. *PLoS One*, 2013, vol. 8, article id: e77329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077329>
43. Liu F.F., Chi Y.L., Wu S., Jia D.Y., Yao K. Simultaneous degradation of cypermethrin and its metabolite, 3-phenoxybenzoic acid, by the cooperation of *Bacillus licheniformis* B-1 and *Sphingomonas* sp. SC-1. *J. Agric. Food Chem.*, 2014, vol. 62, pp. 8256–8262.
<https://doi.org/10.1021/jf502835n>
44. Zhao J.Y., Chi Y.L., Xu Y.C., Jia D.Y., Yao K. Co-metabolic degradation of β -cypermethrin and 3-phenoxybenzoic acid by co-culture of *Bacillus licheniformis* B-1 and *Aspergillus oryzae* M-4. *PLoS One*, 2016, vol. 11, article number: e0166796.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166796>
45. Pavelyev R.S., Zaripova Y.F., Yarkovoi V.V., Vinogradova S.S., et. al. Performance of Waterborne Polyurethanes in Inhibition of Gas Hydrate Formation and Corrosion: Influence of Hydrophobic Fragments. *Molecules*, 2020, vol. 25, iss. 23, article ID: 5664. <https://doi.org/10.3390/molecules25235664>
46. Zhan H., Huang Y.H., Lin Z.Q., Bhatt P., Chen S.H. New insights into the microbial degradation and catalytic mechanism of synthetic pyrethroids. *Environ. Res.*, 2020, vol. 182, article ID: 109138.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109138>
47. Gaughan L.C., Unai T., Gasida I.E. Permethrin metabolism in rats. *Agric. Food. Chem.*, 1977, vol. 25, pp. 9–17.
48. Xu Z., Shen X., Zhang X.C., Liu W., Yang F. Microbial degradation of alpha-cypermethrin in soil by compound-specific stable isotope analysis. *J Hazard Mater.*, 2015, vol. 295, pp. 37–42.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.03.062>
49. Khoulā Dzh. *Opredelitel' bakterii Berdzhii: v 2 tomakh* [Burgey's Bacteria Determinant: in 2 volumes]. Moscow, Mir Publ., 1997. (In Russian)
50. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 1959, vol. 31, no. 3, pp. 426–428.
51. Najafi M.F., Deobagkar D., Deobagkar D. Purification and characterization of an extracellular amylase from *Bacillus subtilis* AX20. *Protein Exp. Purif.*, 2005, vol. 41, pp. 349–354.
52. Schuerg T., et al. Xylose induces cellulase production in *Thermoascus aurantiacus*. *Biotechnol Biofuels*, 2017, vol. 10, article number: 271. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0965-z>
53. Gabriel R., et al. Development of genetic tools for the thermophilic filamentous fungus *Thermoascus aurantiacus*. *Biotechnol Biofuels*, 2020, vol. 13, article id: 167.
<https://doi.org/10.1186/s13068-020-01804-x>
54. Cupp-Enyard C. Sigma's non-specific protease activity assay – casein as a substrate. *J. Vis. Exp.*, 2008, vol. 19, article ID: e899. DOI: 10.3791/899
55. Gabriel R., et al. The F-box protein gene *exo-1* is a target for reverse engineering enzyme hypersecretion in filamentous fungi. *PNAS*, 2021, vol. 118, iss. 26, article number: e2025689118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2025689118>
56. Berg G., Hallmann J., Schulz B.J.E., Boyle C.J.C., Sieber T.N. Control of plant pathogenic fungi with bacterial endophytes. Berlin, Springer, 2006, pp. 53–69.
57. Chen Y., Gao X., Chen Y., Qin H., Huang L., Han Q. Inhibitory efficacy of endophytic *Bacillus subtilis* EDR4 against *Sclerotinia* access to microbial diversity for drug discovery from natural products. 2014, vol. 69, pp. 49–55.
58. Mohamad O.A.A., Li L., Ma J.B., et.al. Evaluation of the Antimicrobial Activity of Endophytic Bacterial Populations From Chinese Traditional Medicinal Plant Licorice and Characterization of the Bioactive Secondary Metabolites Produced by *Bacillus atrophaeus* Against *Verticillium dahlia*. *Front Microbiol.*, 2018, vol. 9, article ID: 924.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00924>
59. Mukhammadiyev R.S., Mukhammadiyeva A.S., Skvortsov E.V., Valiullin L.R., Glinushkin A.P. Antagonistic properties and biocompatibility as important principles for development of effective and biosafety probiotic drugs iop // All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021, Article ID: 012008.
60. Diabankana R.G.C., Afordoanyi D.M., Safin R.I., Nizamov R.M., Karimova L.Z., Validov S.Z. Antifungal Properties, Abiotic Stress Resistance, and Bioccontrol Ability of *Bacillus mojavensis* PS17. *Curr Microbiol.*, 2021, vol. 78, no. 8, pp. 3124–3132.
<https://doi.org/10.1007/s00284-021-02578-7>
61. Kelland M.A., Production Chemicals for the Oil and Gas Industry. CRC, Boca Raton, FL. 2014.
62. Erguven G.O., Yildirim N. The Evaluation of Imidacloprid Remediation in Soil Media by Two Bacterial Strains. *Curr Microbiol.*, 2019, vol. 76, no. 12, pp. 1461–1466.
<https://doi.org/10.1007/s00284-019-01774-w>
63. RD 52.24.421-2012 *Khimicheskoe potreblenie kisloroda v vodakh. Metodika vypolneniya izmerenii titrimetricheskim metodom. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy (Rosgidromet)* [RD 52.24.421-2012 Chemical oxygen demand in waters. Method for performing measurements by the titrimetric method. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet)]. Rostov-on-Don, 2012, 20 p. (In Russian)
64. van Loon L.C. Plant responses to plant growth promoting rhizobacteria. *Eur. J. Plant Pathol.*, 2007, vol. 119, pp. 243–254.
65. TariqJaveed M., Farooq T., Al-Hazmi A.S., Hussain M.D., Rehman A.U. Role of Trichoderma as a biocontrol agent (BCA) of phytoparasitic nematodes and plant growth inducer. *J*

Invertebr Pathol., 2021, vol. 183, article ID: 107626.

<https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107626>

66. Alfiky A., Weisskopf L.J. Deciphering *Trichoderma*-Plant-Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications. *Fungi (Basel)*, 2021, vol. 7, no. 1, article id: 61. <https://doi.org/10.3390/jof7010061>

67. Apha AWWA, WPCF American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington. 2005.

68. Cove J.H., Holland K.T., Cunliffe W.J. Effects of Oxygen Concentration on Biomass Production, Maximum Specific Growth Rate and Extracellular Enzyme Production by Three Species of Cutaneous Propionibacteria Grown in Continuous Culture. *Journal of General Microbiology*, 1983, vol. 129, pp. 3327–3334.

69. Sa-Pereira P., Costa-Ferreira M., Aires-Barros M.R. Enzymatic properties of a neutral endo- 1, 3 (4) - xylanase Xyl II from *Bacillus subtilis*. *Journal of Biotechnology*, 2002, vol. 94, no. 3, pp. 245–275.

70. Hasan B. Fermentation of fish silage using *Lactobacillus pentosus*. *J Natur Indones*, 2003, vol. 4, no. 1, pp. 11–15.

71. Simova E., Simov Z., Beshkova D., Frengova G., Dimitrov Z., Spasov Z. Amino acid profiles of lactic acid bacteria, isolated

from kefir grains and kefir starter made from them. *Int J Food Microbiol.*, 2004, vol. 107, no. 2, pp. 112–123.

72. Savijoki K., Ingmer H., Varmanen P. Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 2004, vol. 71, pp. 394–404.

73. Chebotar V.K., Makarova N.M., Shaposhnikov A.I., Kravchenko L.V. Antifungal and phytostimulating characteristics of *Bacillus subtilis* Ch-13 rhizospheric strain, producer biopreparations. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2009, vol. 45, no. 4, pp. 419–423.

74. Lim Y.H., Foo H.L., Loh T.C., Mohamad R., Abdullah N. Comparative studies of versatile extracellular proteolytic activities of lactic acid bacteria and their potential for extracellular amino acid productions as feed supplements. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2019, vol. 10, iss. 15, pp. 2–13.

75. Jin X.L., Jing M., Chen X., Zhuang Z.X., Wang X.R., Lee F.S. A study on the relationship between BOD(5) and COD in a coastal seawater environment with a rapid BOD measurement system. *Water Sci Technol.*, 2010, vol. 61, iss. 6, pp. 1499–1503. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.810>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ленар Р. Валиуллин работал над планом научной работы, проанализировал и оценил полученные данные. Евгений В. Скворцов изучил физико-химические свойства ксиланазы. Владислав И. Егоров провел токсикологический подбор доз токсикантов. Леонид Н. Алексейко подобрал и обосновал использование микроорганизмов. Сергей В. Климович подобрал оптимальные параметры выращивания бактерий. Игорь Э. Памирский изучил свойства микромицетов. Александр Ф. Артеменко оформил таблицы и графические данные. Александр М. Захаренко изучил биологические свойства выбранных объектов. Кирилл С. Голохваст обсудил и оформил результаты. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Lenar R. Valiullin worked on the scientific work plan, analysis and evaluation of the data obtained. Evgeny V. Skvortsov studied the physico-chemical properties of xylanase. Vladislav I. Egorov undertook toxicological selection of doses of toxicants. Leonid N. Alekseyko undertook selection and justification of the use of microorganisms. Sergey V. Klimovich undertook selection of optimal parameters for growing bacteria. Igor E. Pamirsky undertook the study of properties of micromycetes. Alexander F. Artemenko designed tables and graphic data. Alexander M. Zakharenko undertook study of biological properties of selected objects. Kirill S. Golokhvast was engaged in discussion and design of the results. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ленар Р. Валиуллин / Lenar R. Valiullin <https://orcid.org/0000-0002-8277-3941>

Евгений В. Скворцов / Evgeny V. Skvortsov <https://orcid.org/0000-0002-1453-4834>

Владислав И. Егоров / Vladislav I. Egorov <https://orcid.org/0000-0002-9691-2009>

Леонид Н. Алексейко / Leonid N. Alekseyko <https://orcid.org/0000-0003-3962-9722>

Сергей В. Климович / Sergey V. Klimovich <https://orcid.org/0000-0002-2728-5996>

Игорь Э. Памирский / Igor E. Pamirsky <https://orcid.org/0000-0002-9427-2036>

Александр Ф. Артеменко / Alexander F. Artemenko <https://orcid.org/0000-0003-2927-323X>

Александр М. Захаренко / Alexander M. Zakharenko <https://orcid.org/0000-0002-9520-8271>

Кирилл С. Голохваст / Kirill S. Golokhvast <https://orcid.org/0000-0002-4873-2281>

Оригинальная статья / Original article
УДК 579.64
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-70-81

Изучение метаболитов новых перспективных штаммов бактерий-антагонистов рода *Bacillus* для повышения эффективности биопрепаратов фунгицидного действия на их основе

Наталья С. Томашевич, Татьяна М. Сидорова, Валерия В. Аллахвердян, Анжела М. Асатунова
Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Валерия В. Аллахвердян, м.н.с. лаборатории микробиологической защиты растений, Федеральный научный центр биологической защиты растений; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о-39.

Тел. +79648950107

Email lera_arm@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

Формат цитирования

Томашевич Н.С., Сидорова Т.М., Аллахвердян В.В., Асатунова А.М. Изучение метаболитов новых перспективных штаммов бактерий-антагонистов рода *Bacillus* для повышения эффективности биопрепаратов фунгицидного действия на их основе // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 70-81. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-70-81

Получена 2 марта 2023 г.

Прошла рецензирование 17 апреля 2023 г.

Принята 27 апреля 2023 г.

Резюме

Цель. Изучить метаболомный профиль перспективных для разработки биофунгицидов штаммов бактерий рода *Bacillus* с использованием методов тонкослойной хроматографии (ТСХ), биоавтографии и высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС).

Материалы и методы. Объекты исследования – штаммы бактерий рода *Bacillus*. Из жидкой культуры выделяли экзометаболиты и анализировали их метаболомный профиль методами ТСХ, биоавтографии и ВЭЖХ-МС.

Результаты. Методом биоавтографии с тест-культурой гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6 идентифицированы метаболиты штаммов бактерий рода *Bacillus* сурфактин, итурин и фенгизин. Количественный анализ с применением ВЭЖХ-МС анализа позволяет констатировать, что штаммы *B. velezensis* BZR 336g и *B. amyloliquefaciens* BZR 277 продуцируют больше сурфактина, чем другие. Обнаружено повышенное содержание липопептидов итуриновой природы у штаммов *B. velezensis* BZR 517 и *B. velezensis* BZR 336g. По способности продуцировать фенгизины штаммы *B. velezensis* BZR 517 и *B. velezensis* BZR 336g, опережают другие штаммы.

Заключение. Исследования с использованием двух аналитических методов позволяют обнаружить, что штаммы продуцируют все три антигрибных липопептида. Это важно, поскольку метаболиты способны не только подавлять фитопатогенные грибы, но и усиливать антигрибной эффект за счет синергизма. Полученные результаты позволяют констатировать о возможности использования всех четырех штаммов в качестве продуцентов эффективных биофунгицидов.

Ключевые слова

Метаболиты, *Bacillus velezensis*, антигрибные липопептиды, газовая хроматография-масс-спектрометрия, метаболомный профиль.

The study of metabolites of new promising strains of bacterial-antagonists of the genus *Bacillus* to increase the effectiveness of fungicidal biological products based on them

Natalia S. Tomashevich, Tatiana M. Sidorova, Valeria V. Allahverdyan and Anzhela M. Asaturova

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Valeria V. Allahverdyan, junior researcher
laboratory of microbiological plant protection,
Federal Research Centre of Biological Plant
Protection; 350039 Russia, Krasnodar, p/o-39.
Tel. +79648950107

Email lera_arm@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

How to cite this article

Tomashevich N.S., Sidorova T.M., Allahverdyan V.V., Asaturova A.M. The study of metabolites of new promising strains of bacterial-antagonists of the genus *Bacillus* to increase the effectiveness of fungicidal biological products based on them. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 70-81. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-70-81

Received 2 March 2023

Revised 17 April 2023

Accepted 27 April 2023

Abstract

Aim. To study the metabolomic profile of bacterial strains of the genus *Bacillus* promising for the development of biofungicides using thin layer chromatography (TLC), bioautography and high performance liquid chromatography with mass spectrometry (HPLC-MS).

Materials and Methods. The objects of study are strains of bacteria of the genus *Bacillus*. Exometabolites were isolated from the liquid culture and their metabolomic profile was analyzed by TLC, bioautography, and HPLC-MS.

Results. By the method of bioautography with a test culture of the fungus *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6 metabolites of bacterial strains of the genus *Bacillus* surfactin, iturin and fengycin were identified. Quantitative analysis using HPLC-MS analysis allows us to state that the *B. velezensis* BZR 336g and *B. amyloliquefaciens* BZR 277 strains produce more surfactin than the others. An increased content of ituric lipopeptides was found in strains *B. velezensis* BZR 517 and *B. velezensis* BZR 336g. According to the ability to produce fengycins, strains of *B. velezensis* BZR 517 and *B. velezensis* BZR 336g are ahead of other strains.

Conclusion. Studies using two analytical methods reveal that the strains produce all three antifungal lipopeptides. This is important, since metabolites are able not only to suppress phytopathogenic fungi, but also to enhance the antifungal effect due to synergism. The results obtained allow us to state the possibility of using all four strains as producers of effective biofungicides.

Key Words

Metabolites, *Bacillus velezensis*, antifungal lipopeptides, gas chromatography-mass spectrometry, metabolomic profile.

ВВЕДЕНИЕ

Применение полезных микроорганизмов в качестве агентов биоконтроля считается одним из наиболее перспективных методов эффективной и безопасной защиты растений. Род *Bacillus* включает некоторые из коммерчески перспективных бактерий, используемых для производства широкого спектра промышленных микробиологических препаратов. Все чаще эти бактерии используют в качестве средств биоконтроля грибов [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. Виды *Bacillus*, такие 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. 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 итирина, сурфактина и фенгидина, а в последнее время также с представителями семейства курстакинов, являются хорошо известными соединениями с однозначными доказательствами их биоконтрольных свойств [4]. Нерибосомные липопептиды представляют собой гетерогенную группу соединений, состоящую из аминокислот, гидроксильных или аминокислотных жирных кислот, очень часто модифицированных метилированием, ацилированием или гликозилированием. Большинство из них имеют циклическую структуру, состоящую из семи или десяти аминокислотных остатков с множеством изомерных форм, из-за различий в аминокислотном составе или разной длины цепи жирных кислот. Многие штаммы *Bacillus*, продуцирующие более одного семейства липопептидов, могут увеличивать свою способность за счет синергетического взаимодействия между различными соединениями. Несколько исследований показали одновременное противомикробное действие отдельных сочетаний липопептидов, в основном достигаемое *in vitro*, такое как комбинация сурфактина и итирина, сурфактина и фенгидина, итирина и фенгидина, бацилломицина и фенгидина, субтулена и итирина [5].

Для анализа метаболитов микроорганизмов и их свойств возможно использовать несколько методов в отдельности или в сочетании. Так, на основе R_f -значения, тонкослойная хроматография может предоставлять информацию о полярности, спектральных свойствах (поглощение, флуоресценция) и размере молекул анализата. Это чувствительный, качественный метод, поэтому он подходит на начальных этапах исследований, а также для целенаправленного выделения соединений. Высокоэффективная жидкостная хроматография является аналитическим методом химического профилирования липопептидов и является

необъемлемым этапом подтверждения выделенных соединений [5]. Биоавтография – это биологический метод, который является важным инструментом для идентификации биологически активных соединений, в том числе перспективных в качестве фунгицидов и/или фунгистатиков.

В связи с этим целью данной работы было изучить метаболомный профиль перспективных для разработки эффективных биофунгицидов новых штаммов бактерий рода *Bacillus* с использованием современных аналитических методов быстрого и надежного обнаружения соединений липопептидной природы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования – новые оригинальные штаммы бактерий *Bacillus velezensis* BZR 336g, *Bacillus velezensis* BZR 517, *Bacillus amyloliquefaciens* BZR 277 и *Bacillus siamensis* BZR 86, перспективные для разработки на их основе биопрепаратов для защиты растений от фитопатогенных грибов [6], а также тест-культуры грибов *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6 и *Alternaria* sp. BZR F12 из БРК ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов».

Культивирование микроорганизмов и изучение антигрибных метаболитов бактерий *Bacillus* методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) и биоавтографии проводили на базе лаборатории микробиологической защиты растений с использованием материально-технической базы УНУ «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» [7]. Изучение метаболомного профиля жидких культур (ЖК) на основе штаммов бактерий с использованием ESI-Q-TOF масс-спектрометра проводили на базе ЦКП «Масс-спектрометрические исследования» (г. Новосибирск).

ЖК бактерий получали методом периодического культивирования в ротационном шейкере-инкубаторе New Brunswick Scientific Excella E25 на основе штаммов бактерий *B. velezensis* BZR 336g, *B. velezensis* BZR 517 и *B. amyloliquefaciens* BZR 277, *B. siamensis* BZR 86. Для изучения количественных закономерностей роста исследуемых штаммов использовали метод Коха [8]. Повторность опыта трехкратная. Подсчет выросших колоний осуществляли с использованием системы для автоматического подсчета колоний Color Qcount, Spiral Biotech. Выделение метаболитов проводили методом ТСХ, а выявление метаболитов с антигрибной активностью проводили методом биоавтографии [9; 10].

В ходе анализа метаболитов жидкой культуры бактерий методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС) стандарты разводили в 200 мкл 100% метанола так, чтобы концентрация каждого соединения составляла 10–4 М. Хроматографировали смесь стандартов, а не индивидуальные соединения.

Образцы разводили в 5 мл 100% метанола каждый. Из растворов отбирали по 1 мл экстракта, центрифугировали при 4°C в течение 10 минут при 13,2g и проводили ВЭЖХ-МС анализ полученных экстрактов [11; 12].

В ходе ВЭЖХ-МС анализа смеси стандартов (сурфактин, итирин А, фенгидин) было установлено, что для каждого соединения наблюдается по 4 пика в

хроматограмме полного ионного тока, которые соответствуют различным формам исходных соединений, отличающимся длиной углеродной цепи. Для сурфактина – C12–C15, для итурина – C14–C17, для

фенгигина C16–C19. Время выхода всех 4 форм для итурина 3.6–4.5 минут; для фенгигина – 4.1–6 минут, для сурфактина 10.1–15.2 минут (рис. 1–3).

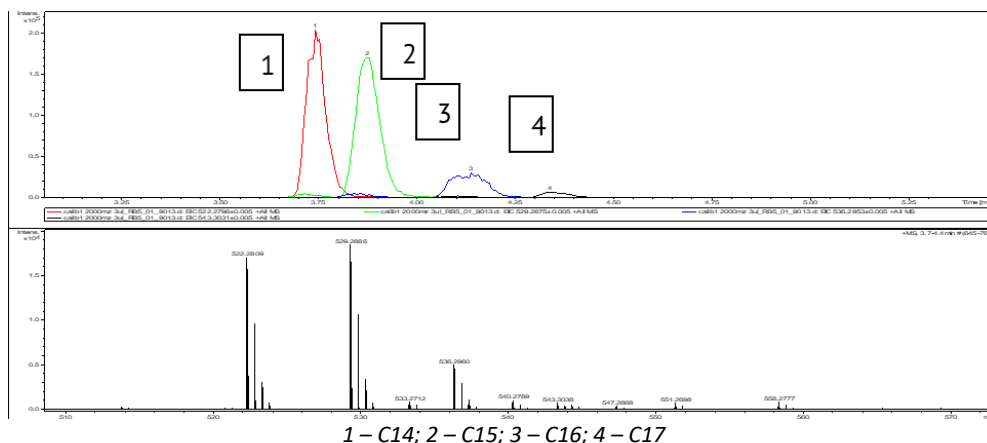


Рисунок 1. Хроматограммы выделенного ионного тока по двухзарядным ионам, соответствующим разным формам итурина

Figure 1. Chromatograms of the isolated ion current for doubly charged ions corresponding to different forms of iturin

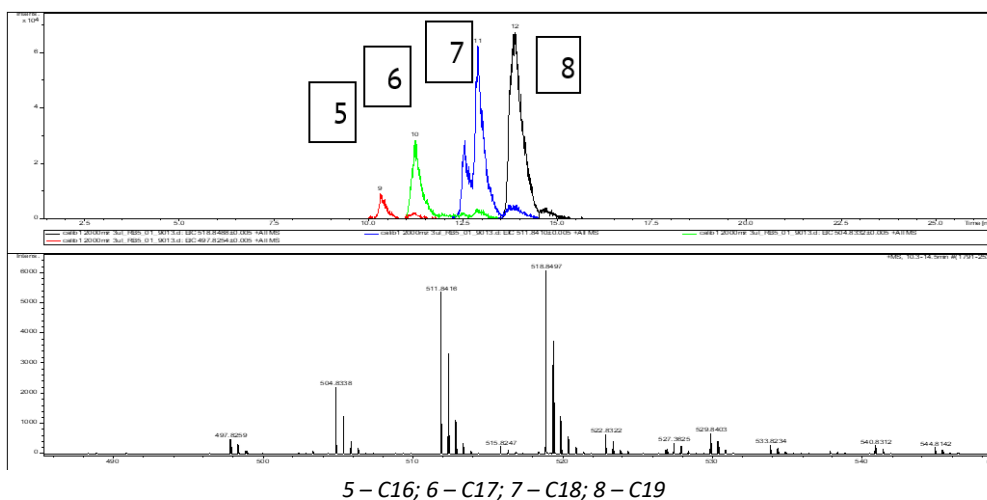


Рисунок 2. Хроматограммы выделенного ионного тока по двухзарядным ионам, соответствующим разным формам фенгигина

Figure 2. Chromatograms of the isolated ion current for doubly charged ions corresponding to different forms of fengycin

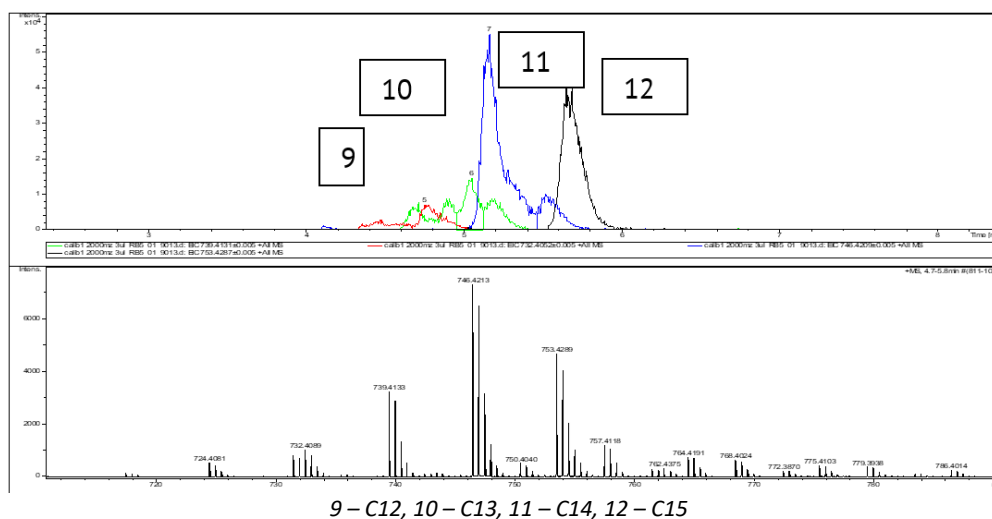


Рисунок 3. Хроматограммы выделенного ионного тока по двухзарядным ионам, соответствующим разным формам сурфактина

Figure 3. Chromatograms of the isolated ion current for doubly charged ions corresponding to different forms of surfactin

Интегрирование сигналов от каждого стандарта проводили по 4 сигналам суммарно. Для итурина хроматограмма выделенного ионного тока была построена по сигналам от двухзарядных ионов C14–C17 с m/z 522.2796, 529.2874, 536.2952, 543.3031. Для фенгицина хроматограмма выделенного ионного тока была построена по сигналам от двухзарядных ионов

C16–C19 с m/z 732.4052, 739.4130, 746.4209, 753.4287. Для сурфактина – по сигналам от двухзарядных ионов C12–C15 с m/z 497.8259, 504.8331, 511.8410, 518.8495. На рисунке 4 представлены калибровочные кривые для сурфактина, итурина и фенгицина. На вставках в каждом графике указаны уравнения аппроксимации.

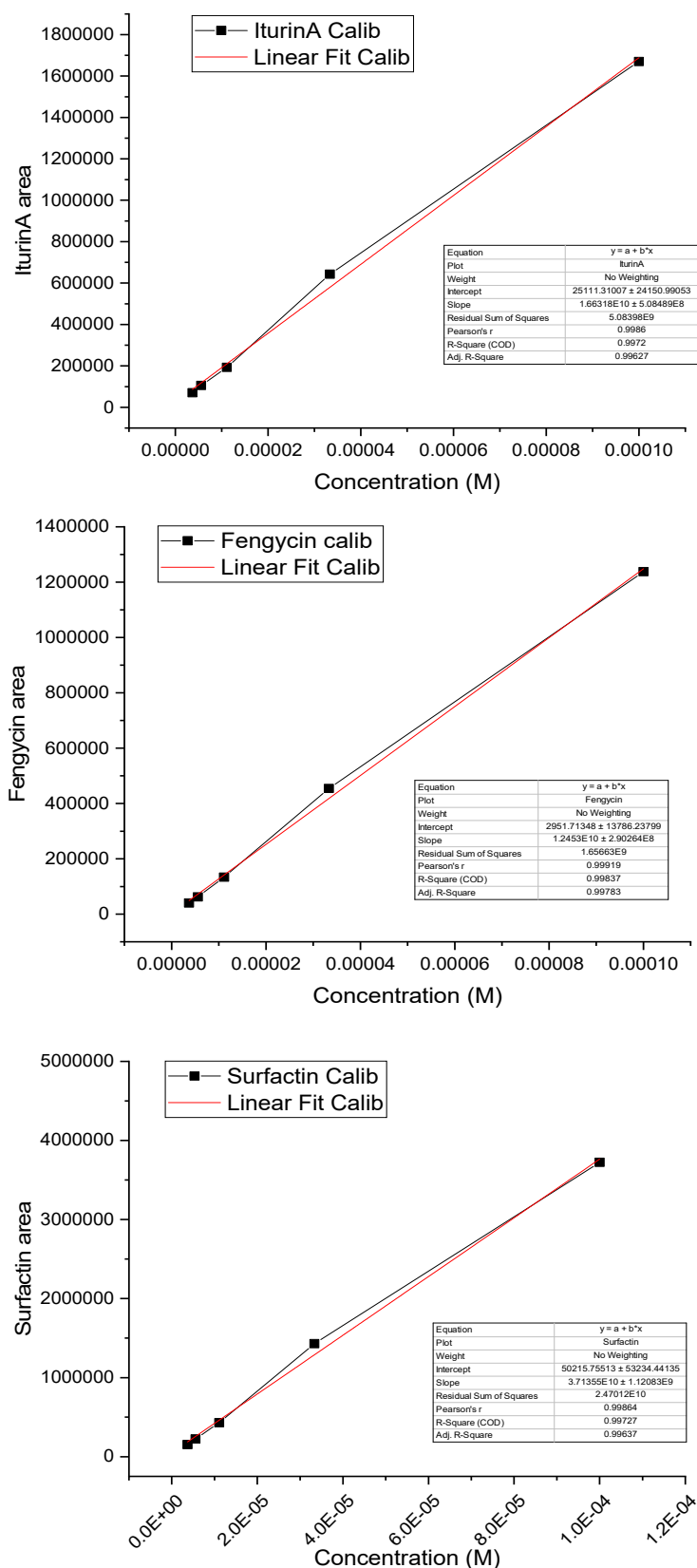


Рисунок 4. Калибровочные кривые для стандартов метаболитов

Figure 4. Calibration curves for metabolite standards

Каждый экстракт метаболитов *B. siamensis* BZR 86, *B. amyloliquefaciens* BZR 277, *B. velezensis* BZR 336g, *B. velezensis* BZR 517 разводили в 2,5 мл 100% метанола. Из результатов предварительного анализа были установлены ориентировочные величины разведения образцов для одновременного определения концентраций трех типов соединений в сложной смеси. Экстракт метаболитов *B. siamensis* BZR 86 разводили в 1,2, 2,4 и 6 раз, *B. amyloliquefaciens* BZR 277 – в 1,5, 12 и 24 раза, *B. velezensis* BZR 336g – в 3, 4 и 24 раза, *B. velezensis* BZR 517 – в 3, 4 и 12 раз. ВЭЖХ-МС анализ проводили для 12 образцов, в каждом из которых определяли площадь под суммарным сигналом от 4 форм каждого из интересующих липопептидов. Далее концентрацию сурфактинов, фенгицинов и итуринов в образцах нормировали на 90 мл объема среды, из которой были экстрагированы метаболиты. Все коэффициенты разведений учитывали при расчетах.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выделение метаболитов бактерий методом ТСХ и предварительный анализ их химической структуры
ТСХ становится все более важным инструментом в анализе природных соединений. Она используется не

только как простой метод разделения, идентификации и количественного определения природных компонентов, но и как метод изучения потенциальных свойств выделенных соединений за счет использования различных биологических тестов, совместимых с ТСХ. Это связано с преимуществами метода: возможность простого, быстрого и гибкого анализа множества образцов параллельно, без необходимости специальных этапов очистки образцов, получения визуальных результатов и возможности множественных детекций [10].

В результате анализа хроматограмм образцов под ультрафиолетовым светом (366 нм) можно сделать вывод о присутствии в этилацетатных экстрактах супернатантов ЖК бактерий *B. velezensis* BZR 336g, *B. amyloliquefaciens* BZR 277 и *B. siamensis* BZR 86 соединений фенольной природы (голубое свечение) (R_f 0,52–0,59), а *B. velezensis* BZR 517 (R_f 0,48–0,54), а также циклических липопептидов (зеленое свечение) (R_f 0,82–0,90) (рис. 5).

Таким образом, визуальная оценка с применением ультрафиолетового света с длиной волны 366 нм дает основание предположить наличие среди выделенных метаболитов соединений липопептидной природы.

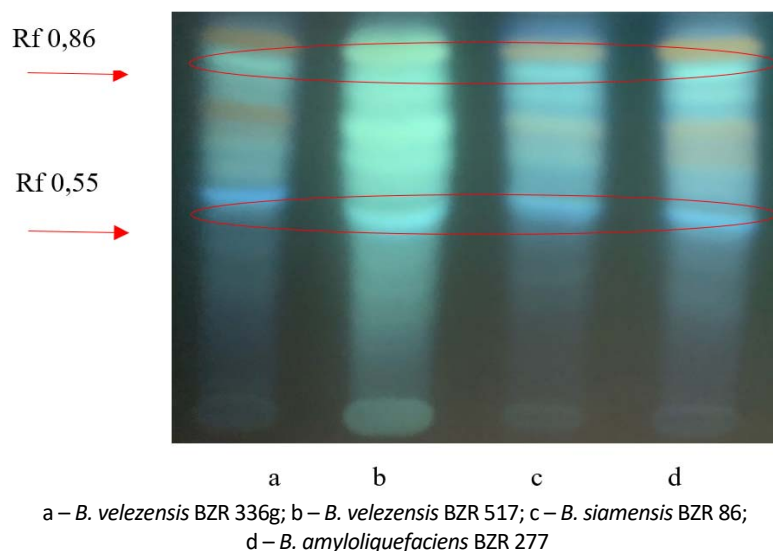


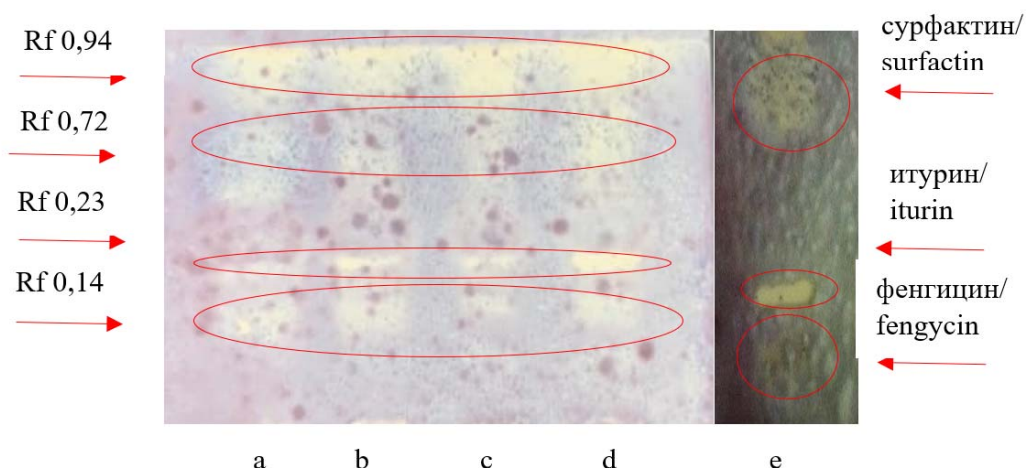
Рисунок 5. Тонкослойные хроматограммы метаболитов бактерий рода *Bacillus* под ультрафиолетом 366 нм
Figure 5. Thin-layer chromatograms of metabolites of bacteria of the genus *Bacillus* under ultraviolet 366 nm

Изучение антигрибной активности метаболитов штаммов методом биоавтографии

На биоавтограммах всех вариантов опыта с тест-культурой гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6 обнаруживалась значительная по площади зона ингибирования гриба метаболитами сурфактиновой природы (рисунок 6). Это можно констатировать в результате проведенных экспериментов по выявлению соответствующей хроматографической подвижности (R_f 0,70) и характерному подавлению роста гриба (фунгистатичность) для стандарта сурфактина. Наиболее выражена данная зона у штаммов *B. velezensis* BZR 336g и *B. amyloliquefaciens* BZR 277. Хочется подчеркнуть, что сурфактин играет особую роль в защите растений от фитопатогенных грибов, так как не только фунгистатически подавляет грибок, но и способствует стимуляции системной устойчивости растений к

фитопатогенам, а также благоприятно воздействует на образование биопленок [12]. Его важным свойством является способность синергетически влиять на биологическую активность метаболитов итуриновой и фенгициновой структур [13; 14].

Можно также отметить продуцирование штаммами метаболитов итуриновой природы (R_f 0,21–0,25). Зона ингибирования гриба этим метаболитом была наиболее выражена у *B. amyloliquefaciens* BZR 277, наименьшая зона подавления – у штаммов *B. siamensis* BZR 86 и *B. velezensis* BZR 336g. Кроме того, все штаммы продуцировали фенгигин (R_f 0,13–0,15). Незначительная зона ингибирования тест-культуры гриба метаболитом фенгициновой природы была отмечена только у штамма *B. siamensis* BZR 86.



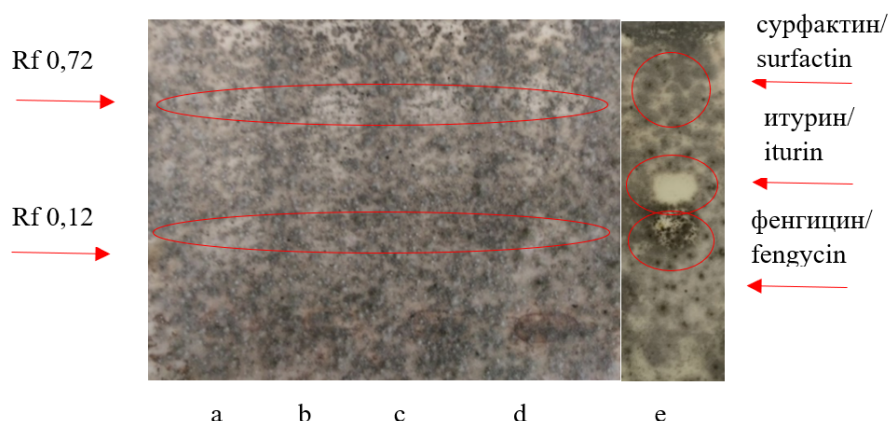
a – *B. velezensis* BZR 336g; b – *B. velezensis* BZR 517; c – *B. siamensis* BZR 86;
d – *B. amyloliquefaciens* BZR 277; e – стандарты метаболитов / metabolite standards

Рисунок 6. Биоавтограммы метаболитов бактерий рода *Bacillus* и стандарты метаболитов с тест-культурой гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6

Figure 6. Bioautograms of metabolites of bacteria of the genus *Bacillus* and standards of metabolites with a test culture of the fungus *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6

На биоавтограммах обнаруживались также довольно значительные по площади зоны полного подавления роста тест-гриба (фунгицидность) (Rf 0,93–0,95) (неидентифицированные антигрибные соединения, которые нуждаются в дополнительной идентификации). На биоавтограммах с тест-культурой гриба *Alternaria* sp. BZR F12 у всех штаммов в равной степени отмечались

зоны подавления роста гриба, которые соответствуют сурфактину (Rf 0,70–0,74) и его гомологам. Можно также отметить незначительное подавление роста гриба в зоне фенгигина (Rf 0,10–0,14), которое визуальное было больше у штаммов *B. velezensis* BZR 336g и *B. amyloliquefaciens* BZR 277 (рис. 7).



a – *B. velezensis* BZR 336g; b – *B. velezensis* BZR 517; c – *B. siamensis* BZR 86;
d – *B. amyloliquefaciens* BZR 277; e – стандарты метаболитов / metabolite standards

Рисунок 7. Биоавтограммы метаболитов бактерий рода *Bacillus* и стандарты метаболитов с тест-культурой гриба *Alternaria* sp. BZR F12

Figure 7. Bioautograms of metabolites of bacteria of the genus *Bacillus* and standards of metabolites with a test culture of the fungus *Alternaria* sp. BZR F12

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что штаммы продуцируют значительное количество метаболитов, в особенности сурфактина и его гомологов. Применение тест-культуры гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6 позволило выявить три группы липопептидов, в отличие от варианта с тест-культурой гриба *Alternaria* sp. BZR F12, где не происходило ингибирование гриба метаболитом иттуриновой природы. Данное обстоятельство, вероятно, можно объяснить различиями механизмов действия в отношении указанных грибов.

Изучение хроматографических профилей с применением методом ВЭЖХ-МС

В ходе химического профилирования липопептидов с использованием ВЭЖХ-МС анализа образцов экстрактов экзометаболитов бактериальных культур обнаружено, что во всех образцах штаммов бактерий рода *Bacillus* BZR 86, BZR 277, BZR 336g, BZR 517 присутствовали сурфактин, иттурин и фенгигин (рис. 8–11).

Стоит отметить, что в образце метаболитов *B. siamensis* BZR 86 концентрация иттурина и фенгигина была меньше, чем в остальных образцах. Кроме того, в этом образце наблюдались сигналы от форм иттурина

C14-C16. Формы C17 итурина не наблюдалось. В остальных образцах бактерий рода *Vacillus* штаммах BZR 277, BZR 336g, BZR 517 наблюдались все формы сурфактина, итурина и фенгицина.

Количественный анализ липопептидов проводился с использованием калибровок, полученным по стандартным соединениям (рис. 12). На калибровочные кривые нанесены по три точки для каждого образца с различными разбавлениями. Концентрации сурфактина в образцах бактерий рода *Vacillus* штаммов

BZR 86, BZR 277 и BZR 336g были высокими, поэтому не все измеренные значения попали в калибровочный диапазон: два значения для *B. velezensis* BZR 336g и по одному значению для *B. siamensis* BZR 86 и *B. amyloliquefaciens* BZR 277 оказались вне калибровочной кривой для сурфактина. Остальные значения усреднялись для каждого липопептида.

В таблице 1 представлена концентрация сурфактинов, фенгицинов и итуринов в образцах культур.

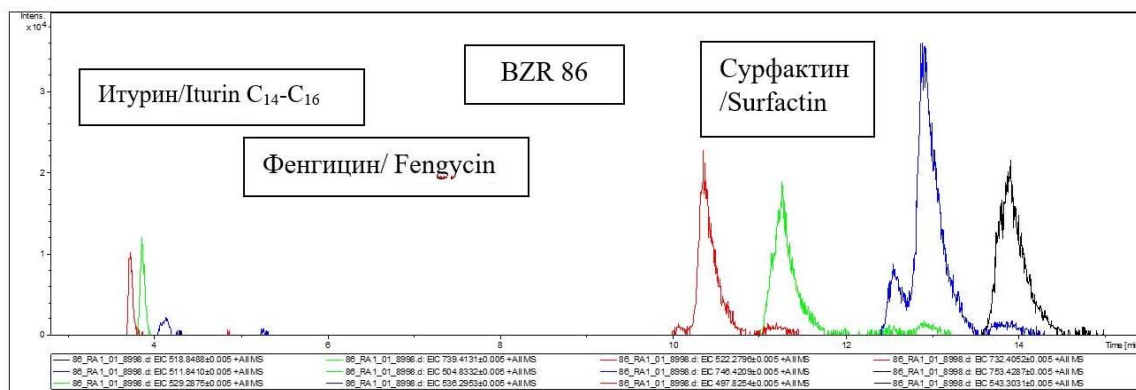


Рисунок 8. ВЭЖХ анализ метаболитов штамма *B. siamensis* BZR 86

Figure 8. HPLC analysis of metabolites of *B. siamensis* BZR 86 strain

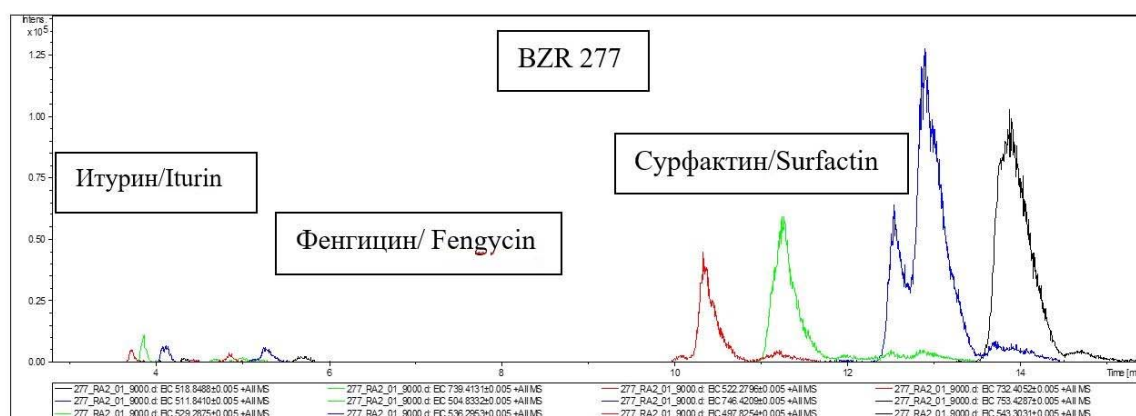


Рисунок 9. ВЭЖХ анализ метаболитов штамма *B. amyloliquefaciens* BZR 277

Figure 9. HPLC analysis of metabolites of *B. amyloliquefaciens* BZR 277

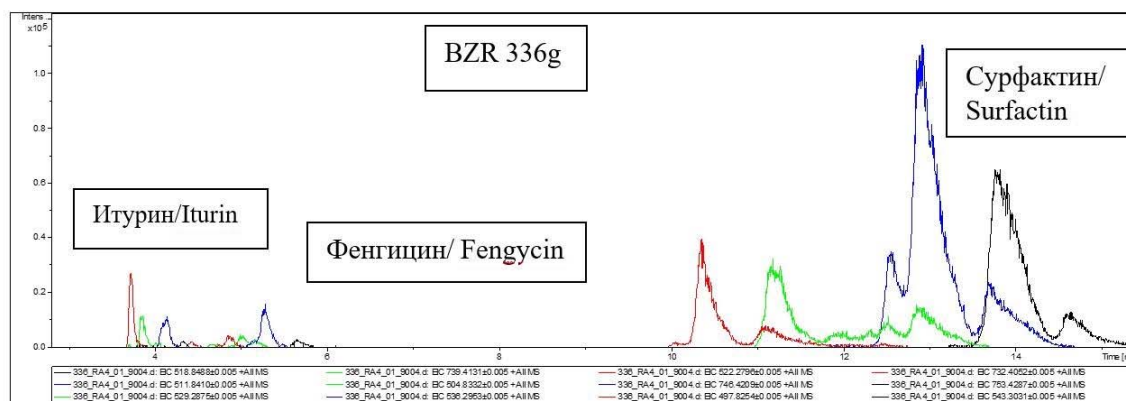
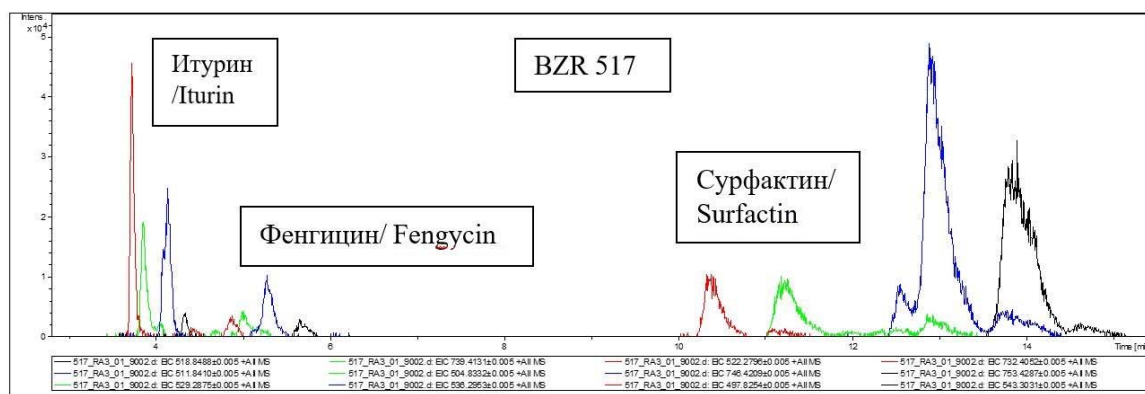
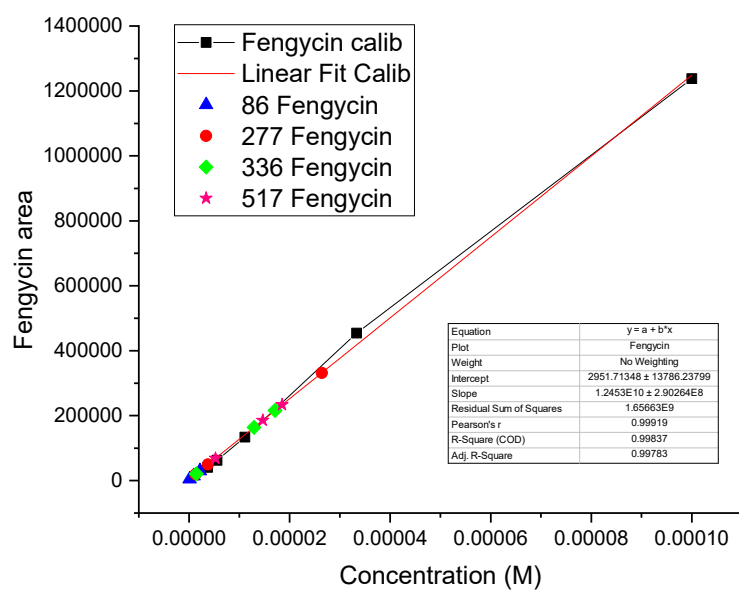
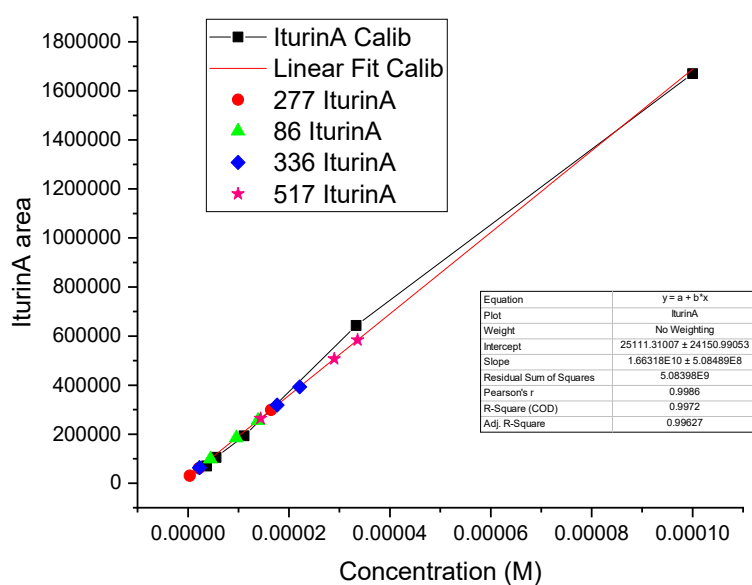


Рисунок 10. ВЭЖХ анализ метаболитов штамма *B. velezensis* BZR 336g

Figure 10. HPLC analysis of metabolites of *B. velezensis* BZR 336g

Рисунок 11. ВЭЖХ анализ метаболитов штамма *B. velezensis* BZR 517Figure 11. HPLC analysis of metabolites of *B. velezensis* BZR 517

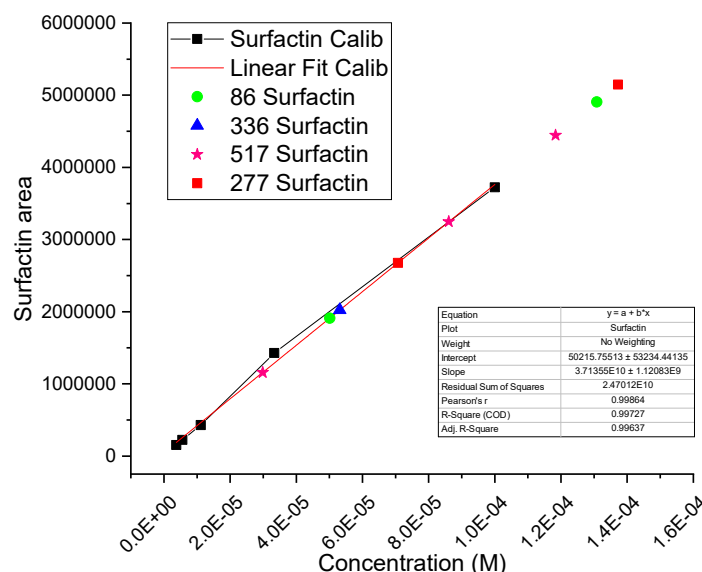


Рисунок 12. Количественный анализ метаболитов с применением калибровочных кривых
Figure 12. Quantitative analysis of metabolites using calibration curves

Таблица 1. Концентрация липопептидов, обладающих фунгицидным и фунгистатическим действием в отношении фитопатогенных грибов, в образцах метаболитов бактерий рода *Bacillus*

Table 1. Concentration of lipopeptides with fungicidal and fungistatic activity against phytopathogenic fungi in samples of metabolites of bacteria of the genus *Bacillus*

Штамм Strain	Концентрация сурфактинов, моль/л Concentration of surfactins, mol/l	Концентрация фенгицинов, моль/л Concentration of fengycins, mol/l	Концентрация итуринов, моль/л Concentration of iturins, mol/l
<i>B. siamensis</i> BZR 86	$(8,54 \pm 0,26) \times 10^{-6}$	$(7,23 \pm 0,84) \times 10^{-8}$	$(6,14 \pm 1,39) \times 10^{-7}$
<i>B. amyloliquefaciens</i> BZR 277	$(4,64 \pm 0,10) \times 10^{-5}$	$(1,18 \pm 0,11) \times 10^{-7}$	$(6,99 \pm 0,19) \times 10^{-7}$
<i>B. velezensis</i> BZR 336g	$(3,22 \pm 0,46) \times 10^{-5}$	$(1,43 \pm 0,06) \times 10^{-6}$	$(1,90 \pm 0,08) \times 10^{-6}$
<i>B. velezensis</i> BZR 517	$(9,79 \pm 0,20) \times 10^{-6}$	$(1,64 \pm 0,11) \times 10^{-6}$	$(3,60 \pm 1,05) \times 10^{-6}$

С использованием ВЭЖХ-МС анализа обнаружены все три липопептида, которые также проявлялись на биоавтограммах при выделении методом ТСХ. Количественный анализ с применением ВЭЖХ-МС позволяет констатировать, что штаммы *B. velezensis* BZR 336g и *B. amyloliquefaciens* BZR 277 продуцируют значительно больше сурфактина, чем *B. siamensis* BZR 86 и *B. velezensis* BZR 517. Содержание липопептидов итуриновой природы в ЖК штаммов *B. velezensis* BZR 517 и *B. velezensis* BZR 336g почти в 20 раз выше, чем в двух других. По способности продуцировать фенгицины штаммы *B. velezensis* BZR 517 и *B. velezensis* BZR 336g также опережают штаммы *B. siamensis* BZR 86 и *B. amyloliquefaciens* BZR 277.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этилацетатных экстрактах супернатантов ЖК исследуемых штаммов бактерий с помощью метода тонкослойной хроматографии обнаруживаются соединения липопептидной и фенольной природы. Метод биоавтографии с применением тест-культуры гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6 позволяет обнаружить в экстрактах метаболитов штаммов *B. siamensis* BZR 86, *B. amyloliquefaciens* BZR 277, *B. velezensis* BZR 517, *B. velezensis* BZR 336g сурфактин, итурин и фенгицин.

Штамм *B. amyloliquefaciens* BZR 277 продуцирует наибольшее количество итурина, по сравнению с

остальными штаммами, что обнаруживается на биоавтограмме с тест-культурой гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F6. У штаммов *B. siamensis* BZR 86, *B. amyloliquefaciens* BZR 277, *B. velezensis* BZR 517, *B. velezensis* BZR 336g на биоавтограмме с тест-культурой гриба *Alternaria* sp. BZR F12 отсутствует зона ингибирования метаболитом итуриновой природы, что может свидетельствовать о его низкой концентрации в образцах. При изучении хроматографических профилей с применением ВЭЖХ-МС во всех образцах детектируются сурфактин, итурин и фенгицин. Количественный анализ с применением ВЭЖХ-МС анализа позволяет констатировать, что штаммы *B. velezensis* BZR 336g и *B. amyloliquefaciens* BZR 277 продуцируют значительно больше сурфактина, чем *B. siamensis* BZR 86 и *B. velezensis* BZR 517. Содержание липопептидов итуриновой природы в жидкой культуре штаммов *B. velezensis* BZR 517 и *B. velezensis* BZR 336g почти в 20 раз выше, чем в двух других. По способности продуцировать фенгицины штаммы *B. velezensis* BZR 517 и *B. velezensis* BZR 336g также опережают штаммы *B. siamensis* BZR 86 и *B. amyloliquefaciens* BZR 277.

В целом, проведенные исследования с использованием двух аналитических методов позволяют обнаружить, что исследуемые штаммы продуцируют все три антигрибных липопептида: сурфактин, итурин и фенгицин. Это весьма важно, поскольку идентифицированные метаболиты способны

не только подавлять фитопатогенные грибы индивидуально, но и усиливать антигрибной эффект за счет синергизма. Способность бактерий продуцировать значительное количество сурфактина и его гомологов является положительным фактом, поскольку данный липопептид может индуцировать устойчивость растений к фитопатогенам, а также усиливать биологическую активность других антигрибных метаболитов. Это позволяет сделать вывод о возможности использования всех четырех штаммов в качестве продуцентов эффективных биофунгицидов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-76-00040, <https://rscf.ru/project/21-76-00040/>

Авторы выражают благодарность Международному томографическому центру Сибирского Отделения Российской Академии Наук за выполнение хроматографических профилей с применением метода ВЭЖХ-МС.

ACKNOWLEDGMENT

The study was supported by Russian Science Foundation grant No. 21-76-00040, <https://rscf.ru/project/21-76-00040/>. The authors express their gratitude to the International Tomographic Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences for performing chromatographic profiles using the HPLC-MS method.

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. <https://doi.org/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. N 1. С. 29–37. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.1.29rus>
3. Максимов И.И., Сингх Б.П., Черепанова Е.А., Бурханова Г.Ф., Хайруллин Р.М. Перспективы применения бактерий – продуцентов липопептидов для защиты растений (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. Т. 56. N 1. С. 19–34. <https://doi.org/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. T. 285. P. 44–55. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00925
5. Dimkić I., Stanković S., Nišavić M., Petković M., Ristivojević P., Fira D., Berić T. The profile and antimicrobial activity of *Bacillus* lipopeptide extracts of five potential biocontrol strains // *Frontiers in microbiology*. 2017. V. 8. P. 92–105. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00925
6. Асатурова А.М., Дубяга В.М. Штамм бактерий *Bacillus subtilis* для получения биопрепарата против фитопатогенных грибов. Пат. 2553518 РФ № RU2013151377/10А заявл. 20.11.2013; опубл. 20.06.2015.
7. УНУ «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения». URL: <https://ckp-rf.ru/catalog/usu/671367/> (дата обращения: 15.02.2023)
8. Нетрусов Ф.И. Практикум по микробиологии. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
9. Сидорова Т.М., Асатурова А.М., Хомяк А.И., Томашевич Н.С. Выделение и характеристика антигрибных метаболитов штаммов *Bacillus subtilis* BZR 336g и *Bacillus*

- subtilis* BZR 517 модифицированным методом биоавтографии // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. С. 178–185. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.1.178rus>
10. Hosh A., Cimpoiu C. Evaluation of various biological activities of natural compounds by TLC/HPTLC // *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*. 2020. V. 43. P. 305–318. <https://doi.org/10.1080/10826076.2020.1725548>
 11. Yanshole V.V., Yanshole L.V., Snytnikova O.A., Tsentalovich Y.P. Quantitative metabolomic analysis of changes in the lens and aqueous humor under development of age-related nuclear cataract // *Metabolomics*. 2019. V. 15. Article number: 29. <https://doi.org/10.1007/s11306-019-1495-4>
 12. Бережная А.В., Евдокимова О.В., Валентович Л.Н., Сверчкова Н.В., Титок М.А., Коломиец Э.И. Молекулярно-генетический и функциональный анализ генома бактерий *Bacillus velezensis* БИМ в-439д // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2019. Т. 55. N 4. С. 366–377. <https://doi.org/10.1134/S05551099190>
 13. Théatre A., Cano-Prieto C., Bartolini M., Laurin Y., Deleu M., Niehren J., Fida T., Gerbinet S., Alanjary M., Medema M.H., Léonard A., Lins L., Arabolaza A., Gramajo H., Gross H., Jacques P. The surfactin-like lipopeptides from *Bacillus* spp.: natural biodiversity and synthetic biology for a broader application range // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021. V. 2. N 9. Article number: 623701. DOI: 10.3389/fbioe.2021.623701
 14. Goswami M., Deka S. Biosurfactant production by a rhizosphere bacteria *Bacillus altitudinis* MS16 and its promising emulsification and antifungal activity // *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2019. V. 178. P. 285–296. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2019.03.003

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. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuy028>
2. Sidorova T.M., Asaturova A.M., Khomyak 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) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.1.29rus>
3. Maksimov I.I., Singh B.P., Cherepanova E.A., Burhanova G.F., Hajrullin R.M. 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) <https://doi.org/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. Dimkić I., Stanković S., Nišavić M., Petković M., Ristivojević P., Fira D., Berić T. The profile and antimicrobial activity of *Bacillus* lipopeptide extracts of five potential biocontrol strains. *Frontiers in microbiology*, 2017, vol. 8, pp. 92–105. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00925
6. Asaturova A.M., Dubyaga V.M. *Shtamm bakterii Bacillus subtilis dlya polucheniya biopreparata protiv fitopatogennykh gribov* [A strain of *Bacillus subtilis* bacteria for obtaining a biological preparation against phytopathogenic fungi]. Patent 2553518 RF № RU2013151377/10A, 2015. (In Russian)
7. UNU "Technological line for obtaining microbiological plant protection products of a new generation". Available at: <https://ckp-rf.ru/catalog/usu/671367/> (accessed 15.02.2023)
8. Netrusov F.I. *Praktikum po mikrobiologii* [Microbiology Workshop]. Moscow, Akademiya Publ., 2005, 608 p. (In Russian)

9. Sidorova T.M., Asaturova A.M., Khomyak A.I., Tomashevich N.S. Isolation and characterization of antifungal metabolites of *Bacillus subtilis* BZR 336g and *Bacillus subtilis* BZR 517 strains by modified bioautography method. *Agricultural biology*, 2019, vol. 54, pp. 178–185. (In Russian)
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.178rus>
10. Hosh A., Cimpoi C. Evaluation of various biological activities of natural compounds by TLC/HPTLC. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 2020, vol. 43, pp. 305–318.
<https://doi.org/10.1080/10826076.2020.1725548>
11. Yanshole V.V., Yanshole L.V., Snytnikova O.A., Tsentalovich Y.P. Quantitative metabolomic analysis of changes in the lens and aqueous humor under development of age-related nuclear cataract. *Metabolomics*, 2019, vol. 15, article number: 29.
<https://doi.org/10.1007/s11306-019-1495-4>
12. Berezhnaya A.V., Yevdokimova O.V., Valentovich L.N., Sverchkova N.V., Titok M.A., Kolomiyets E.I. Molecular genetic

- and functional analysis of the genome of *Bacillus velezensis* bacteria BIM in B-439D. *Applied biochemistry and microbiology*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 366–377.
<https://doi.org/10.1134/S0555109919013>
13. Théatre A., Cano-Prieto C., Bartolini M., Laurin Y., Deleu M., Niehren J., Fida T., Gerbinet S., Alanjary M., Medema M.H., Léonard A., Lins L., Arabolaza A., Gramajo H., Gross H., Jacques P. The surfactin-like lipopeptides from *Bacillus* spp.: natural biodiversity and synthetic biology for a broader application range. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2021, vol. 2, no. 9, article number: 623701. DOI: 10.3389/fbioe.2021.623701
14. Goswami M., Deka S. Biosurfactant production by a rhizosphere bacteria *Bacillus altitudinis* MS16 and its promising emulsification and antifungal activity. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2019, vol. 178, pp. 285–296.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.03.003>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья С. Томашевич разработала научный дизайн и концепцию, написала статью. Татьяна М. Сидорова разработала концепцию, проанализировала и интерпретировала материал, написала статью. Валерия В. Аллаhverдян собрала материал. Анжела М. Асатунова разработала научный дизайн, откорректировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Natalia S. Tomashevich undertook scientific design, concept development and writing of the article. Tatiana M. Sidorova undertook concept development, analysis and interpretation of the material, writing of the article. Valeria V. Allahverdyan collected material Anzhela M. Asaturova undertook scientific design and proofreading of the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

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>
 Валерия В. Аллаhverдян / Valeria V. Allahverdyan <http://orcid.org/0000-0002-8679-6139>
 Анжела М. Асатунова / Anzhela M. Asaturova <http://orcid.org/0000-0002-0060-1995>

Оригинальная статья / Original article
УДК 470.630:004.925.83
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-82-91

Оценка изменения NDVI сельхозугодий Ставропольского края за период активной вегетации в 2020 г. по снимкам среднего пространственного разрешения

Светлана В. Савинова¹, Виталий В. Братков^{2,3}, Ирина Д. Мурашова²,

Павел В. Ключин¹, Надира О. Гусейнова⁴

¹Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

²Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

³Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

⁴Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Павел В. Ключин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экономики недвижимости, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»; 105064 Россия, г. Москва, ул. Казакова, 15.
Тел. +79647989844
Email klyushinpv@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4221-036X>

Формат цитирования

Савинова С.В., Братков В.В., Мурашова И.Д., Ключин П.В., Гусейнова Н.О. Оценка изменения NDVI сельхозугодий Ставропольского края за период активной вегетации в 2020 г. по снимкам среднего пространственного разрешения // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 82-91. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-82-91

Получена 22 сентября 2022 г.
Прошла рецензирование 14 декабря 2022 г.
Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. Оценить изменения NDVI сельхозугодий на территории Ставропольского края под влиянием погодно-климатических условий.

Методы. На основе данных дистанционного зондирования Земли был рассчитан спектральный/вегетационный индекс NDVI. Использованы данные с космического аппарата «Метеор-М» с пространственным разрешением 60 м за период активной вегетации 2020 г. (с мая по сентябрь), которые позволили рассчитать величину NDVI в разные моменты времени периода активной вегетации основных типов сельскохозяйственных угодий Ставропольского края. Для объяснения пространственно-временной изменчивости NDVI проведен анализ условий тепло- и влагообеспечения посредством климатограмм Вальтера по базовым метеостанциям, расположенным в степных и полупустынных ландшафтах Ставропольского края.

Результаты. Период активной вегетации в 2020 г. в степных и полупустынных ландшафтах Ставропольского края начался с первой декады апреля, когда температура воздуха поднялась выше +10°C, и закончился в середине октября. В соответствии с изменением тепло- и влагообеспечения величина NDVI менялась: в целом максимальные значения отмечались весной и в начале лета; по мере нарастания засухливости повсеместно увеличивались площади, соответствующие низким значениям NDVI. В степной зоне, где находятся основные посевы озимой пшеницы, величина NDVI снижалась от 0,45–0,3 в начале периода активной вегетации до 0,15 в конце. Значения NDVI 0,15–0,30, соответствующие различным вариантам травянистой растительности, преобладали в конце периода активной вегетации.

Заключение. Пространственно-временное распределение величины NDVI по территории Ставропольского края отражает прежде всего изменение условий тепло- и влагообеспечения. От последних зависят сроки протекания фенологических фаз естественной и культурной растительности. 2020 год характеризуется достаточным увлажнением в начале активной вегетации, что нашло свое отражение в высокой плотности всходов, и, соответственно, значительной площади NDVI, соответствующим не только травянистой, но и кустарниковой растительности в пределах степных ландшафтов. Нарастание дефицита влаги и сбор урожая во второй половине и в конце лета нивелировало различия между степными и полупустынными ландшафтами, поскольку максимальные площади занимали территории со значениями NDVI 0,15–0,3.

Ключевые слова

Ставропольский край, сельскохозяйственные угодья, температура и осадки периода активной вегетации, климатограмма Вальтера, спектральные/вегетационные индексы, NDVI.

Assessment of changes in the normalized difference vegetation index (NDVI) of farmlands of Stavropol Territory, Russia, during the period of active vegetation in 2020 based on medium spatial resolution images

Svetlana V. Savinova¹, Vitaly V. Bratkov^{2,3}, Irina D. Murashova²,
Pavel V. Klyushin¹ and Nadira O. Guseynova⁴

¹State University of Land Management, Moscow, Russia

²Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

³M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

⁴Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Pavel V. Klyushin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Real Estate Economics, State University of Land Use Planning; 15 Kazakova St, Moscow, Russia 105064.

Tel. +79647989844

Email klyushinpv@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4221-036X>

How to cite this article

Savinova S.V., Bratkov V.V., Murashova I.D., Klyushin P.V., Guseynova N.O. Assessment of changes in the normalized difference vegetation index (NDVI) of farmlands of Stavropol Territory, Russia, during the period of active vegetation in 2020 based on medium spatial resolution images. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 82-91. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-82-91

Received 22 September 2022

Revised 14 December 2022

Accepted 6 February 2023

Abstract

Aim. Assess changes in the NDVI of agricultural land in Stavropol Territory under the influence of weather and climate conditions.

Methods. Based on earth remote sensing data, the spectral/vegetation index NDVI was calculated. We used data from the Meteor-M satellite with a spatial resolution of 60 m for the active vegetation period of 2020 (May to September), which made it possible to calculate the NDVI value at different times of the active vegetation period of the main types of agricultural land in the Stavropol Territory. To explain the spatial and temporal variability of NDVI, an analysis of the conditions of heat and moisture supply was carried out using Walter's climatograms at weather stations located in the steppe and semi-desert landscapes of Stavropol Territory.

Results. In 2020, the period of active vegetation in the steppe and semi-desert landscapes of Stavropol Territory began in the first ten days of April, when the air temperature rose above +10°C, and ended in mid-October. In accordance with the change in heat and moisture supply, the NDVI value changed: in general, maximum values were observed in spring and early summer and, as aridity increased, the areas corresponding to low NDVI values increased everywhere. In the steppe zone, where the main crops of winter wheat are located, the NDVI value decreased from 0.45–0.3 at the beginning of the active vegetation period to 0.15 at the end. NDVI values of 0.15–0.30, corresponding to different types of herbaceous vegetation, prevailed at the end of the active vegetation period.

Conclusion. The spatial and temporal distribution of the NDVI value over the territory of the Stavropol Territory reflects, first of all, changes in the conditions of heat and moisture supply. The timing of the course of the phenological phases of natural and cultivated vegetation depends on the latter. 2020 was characterized by sufficient moisture at the beginning of active vegetation, as reflected in the high density of seedlings, and, accordingly, a large area of NDVI, corresponding not only to herbaceous, but also to shrubby vegetation within the steppe landscapes. The increase in moisture deficit and harvesting in the second half and end of summer leveled the differences between the steppe and semi-desert landscapes, since the maximum areas were occupied by territories with NDVI values of 0.15–0.3.

Key Words

Stavropol Territory, farmland, temperature and precipitation during the active vegetation period, Walter's climatogram, spectral/vegetation indices, NDVI.

ВВЕДЕНИЕ

По данным Государственного доклада «О состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае в 2020 году» из общей площади 6616 тыс. га на земли сельскохозяйственного назначения приходится более 6101,7 тыс. га (92,2%). Сельскохозяйственные угодья занимают 5651,6 тыс. га, или 92,6% от площади земель сельскохозяйственного назначения. В структуре сельскохозяйственных угодий наибольший удельный вес занимает пашня (3929,0 тыс. га, 69,5%), а также естественные кормовые угодья (1681,8 тыс. га, 29,7%), с площадью пастбища в 1579,7 тыс. га (27,9% площади сельскохозяйственных угодий) [1].

Данная структура землепользования отражает природные особенности Ставропольского края: в западной и центральной частях преобладают степные ландшафты, а в восточной и северной – полупустыни [2]. Степная зона используется для выращивания зерновых культур, в связи с чем здесь преобладает пашня, тогда как полупустынные сельскохозяйственные земли используются под пастбища. Лишь на небольшой части предгорий и Ставропольской возвышенности имеются сохранившиеся массивы естественных лесов, которые занимают сравнительно небольшие площади. Преобладание сельскохозяйственных угодий на месте естественных степных и полупустынных ландшафтов делает территорию края интересным и удобным полигоном для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Выбор 2020 года связан с тем, что урожайность сельхозкультур была близка к максимальной за последние годы. Современное повышение урожайности связано с тем, что основная часть осадков пришла на первую половину периода активной вегетации [3].

В связи с сельскохозяйственной специализацией Ставропольского края актуальной проблемой является мониторинг данной территории с целью оценки влияния природных факторов, прежде всего метеорологических условий конкретных лет, на состояние сельскохозяйственных угодий с точки зрения их продуктивности [3; 4].

В этой связи целью данной работы является анализ изменения величины NDVI на территории Ставропольского края для выявления его поступательной динамики во время вегетационного периода 2020 года, в том числе для степных (пашня) и полупустынных (пастбища) ландшафтов с характерными для них типами сельскохозяйственных угодий.

В настоящее время для мониторинга растительного покрова природных и антропогенных ландшафтов используются данные дистанционного зондирования Земли и рассчитываемые на их основе спектральные/вегетационные индексы [5–8].

Спектральные индексы – это вычисленные путем применения арифметических операций (сложения, вычитания, деления и умножения) изображения, использующие соотношения спектральных яркостей в различных каналах съемки. Таким образом, комбинируя различные каналы и проводя над ними арифметические операции, можно получить принципиально новое изображение поверхности Земли, где в каждом пикселе будет записано значение рассчитываемого индекса. То есть, подобные изображения несут новую информацию об объектах и

явлениях, которые невозможно извлечь непосредственно из исходных снимков [9; 10].

В целях картографирования растительного покрова широкое применение получили спектральные индексы, которые называются вегетационными. Они получены эмпирическим путем и основаны на закономерностях отражения электромагнитного излучения в разных частях спектра растительностью и почвами [9; 10]. Для расчета вегетационных индексов часто используются два спектральных диапазона: красный (0,62–0,75 мкм) и ближний инфракрасный (0,75–1,3 мкм), так как именно в этих зонах происходит минимальное (в красной) и максимальное (в инфракрасной) отражение энергии растительным покровом.

Широкое применение вегетационных индексов связано с относительной простотой их получения, а также разнообразием научно-практических задач, решаемых с их помощью. Основным способом использования вегетационных индексов является составление и сравнение разновременных индексных изображений на одну и ту же территорию. Например, можно составить еженедельные индексные изображения на какую-либо сельскохозяйственную территорию за вегетационный период. Тогда вначале будет заметно возрастание значений индекса от весны к лету, а затем их уменьшение с приближением осени. В этом случае можно сравнивать продуктивность различных участков территории, следить за состоянием посевов, определять последствия различных природных и антропогенных явлений.

Среди большого их количества чаще всего для оценки состояния и динамики естественной и антропогенной растительности (посевов сельскохозяйственных культур), применяется нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index). Индекс количественно характеризует объем фотосинтетически активной биомассы и вычисляется он по формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где **NIR** – это коэффициент отражения в ближней ИК области спектра,

RED – коэффициент отражения в красной области спектра [9; 10].

Широкое распространение данного вегетационного индекса связано с тем, что большинство современных съемочных мультиспектральных систем включают данные каналы: Landsat (США), Sentinel-2 (Европейское космическое агентство), а также отечественные системы дистанционного зондирования Земли. Указанные и другие источники мультиспектральных снимков отличаются пространственным разрешением: так, снимки Landsat в указанных каналах имеют разрешение 30 м, тогда как Sentinel-2 – 10 м в пикселе. Соответственно, они отличаются пространственным охватом территории. Кроме этого, в зависимости от орбитальных характеристик, изменяется временное разрешение различных сенсоров. Поскольку используются каналы оптического диапазона, изучаемая территория должна быть свободна от облачного покрова, что, естественно, сокращает количество снимков, по которым можно вычислять NDVI.

Вычисление NDVI на основе исходных данных можно осуществлять в среде геоинформационных систем при помощи калькулятора растров (ArcGIS, QGIS и др.), хотя в последних версиях программ этого типа уже имеются специализированные инструменты для этих целей. Что касается специализированных программ для обработки данных дистанционного зондирования Земли, то в их инструментарии предусмотрен широкий набор индексов с автоматизированным процессом создания соответствующих растровых изображений.

Основным этапом обработки полученного растрового изображения NDVI является интерпретация. Поскольку оно представляет собой индекс, его значения изменяются от -1,0 до +1,0. Выделение объектов и отнесение их к различным классам опирается на связь между отдельными спектральными каналами и собственно величиной NDVI, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Значения индекса NDVI для различных объектов [10]

Table 1. NDVI index values for various objects [10]

Тип объекта Object type	Отражение в красной области спектра Reflection in red region of spectrum	Отражение в инфракрасной области спектра Reflection in infrared region of spectrum	Значение NDVI NDVI value
Густая растительность Dense vegetation	0.1	0.5	0.7
Разряженная растительность Sparse vegetation	0.1	0.3	0.5
Открытая почва / Open ground	0.25	0.3	0.025
Облака / Clouds	0.25	0.25	0
Снег и лед / Snow and ice	0.375	0.35	-0.05
Вода / Water	0.02	0.01	-0.25
Искусственные материалы (бетон, асфальт) Artificial materials (concrete, asphalt)	0.3	0.1	-0.5

С нашей точки зрения, трактовки «типов объектов» значительно размыты и не всегда корректны с точки зрения как природных, так и антропогенных их категорий. Проще всего на основе величины NDVI выделять объекты, имеющие значения от -1,0 до 0. К ним относятся поверхности, которые в течение большей части года, во всяком случае, во время периода активной вегетации мало меняют свои спектральные отражательные свойства. Поверхности, покрытые искусственными материалами (асфальт, бетон), в силу физических свойств могут менять свои отражательные способности в наиболее длинной, тепловой части спектра. Это же можно отнести и к воде в разных агрегатных состояниях, поскольку значения NDVI, близкие к 0, характерны как для воды, так и для снега и льда. Их также можно выделять на основе так называемых «водных индексов» (например, NDWI).

Что касается природных объектов, значения NDVI которых превышает 0, то для них отмечается наиболее значительная терминологическая путаница. Например, термин «открытая почва» в случае степей и полупустынь может отражать ее сезонные состояния: в период схода снежного покрова и отсутствии растительности «открытая почва» может трактоваться как почва, на поверхности которой имеется отмершая растительность прошлого года (мортмасса в виде ветоши и степного войлока) со специфической спектральной отражательной способностью. По мере начала процессов вегетации цвет, и, соответственно, спектральная отражательная способность такой поверхности будут изменяться. Применительно к пашне термин «открытая почва» будет справедлив в том

случае, когда, во-первых, собран урожай сельскохозяйственных культур, и в этом случае на поверхности почвы имеются остатки генеративных органов культурной растительности, как в случае с началом вегетации естественной растительности. Во-вторых, после подготовки почвы к севу осенью, когда поверхность будет представлять собой именно «открытую почву», то есть почву, лишенную растительного покрова. То есть, спектральная отражательная способность данного объекта, на которой базируются расчеты индексов будет существенно отличаться в разные временные отрезки года и будет отражать как естественные сезонные процессы, так и процессы, связанные с этапами сельскохозяйственного производства.

Что касается растительности, для определения характеристик которой и применяется NDVI, то его максимальные значения связывают с максимальными запасами фитомассы. На величину индекса оказывают влияние такие факторы, как видовой состав растительности и сомкнутость. Первый в течение года и сезона практически не меняется и определяет название растительной ассоциации. Сомкнутость растительного покрова, особенно горизонтальная, мозаичность в течение года может значительно изменяться в зависимости от проективного покрытия различных ярусов растительности. В этой связи величина NDVI одной и той же природной растительной ассоциации или группы культурных растений может значительно изменяться в связи с сезонной динамикой, которая обусловлена изменением условий тепло- и влагообеспечения.

Как уже отмечалось, вегетационные индексы отражают состояние естественной и культурной растительности, обусловленное погодными-климатическими условиями. Последние в рамках физической географии/ландшафтоведения влияют на состояния разной продолжительности природных территориальных комплексов и относятся к динамике ландшафта. Еще одной дисциплиной, изучающей динамику состояния ландшафта, является фенология, к одной из задач которой относится выявление фенологических фаз различных видов растений и время их наступления. Именно они (фенологические фазы) довольно хорошо могут быть отслежены посредством вегетационных индексов, в частности – NDVI [11; 12].

Применительно к территории Большого Кавказа [11] была предложена следующая ранжировка NDVI и соответствующим этим значениям объектам по снимкам на середину – вторую половину лета: до -0,33 – водные объекты, от -0,1 до 0,1 – выходы горных пород, пески, снег, лед; до 0,2 – почва без растительного покрова, 0,2–0,4 – разрозненные заросли кустарников, пастбища, травянистая растительность; 0,4–0,5 – скудная и разреженная древесная и кустарниковая растительность; более 0,67–0,8 – густая лесная растительность, а значения индекса выше 0,8 соответствует очень мощной и густой растительности. В целом интервалы значений NDVI довольно хорошо увязываются с жизненными формами растительности (древесная, кустарниковая и травянистая).

NDVI также показывает состояние растительности на данный момент времени. Применительно к посевам сельскохозяйственных культур данный индекс может показывать состояние растений после перезимовки:

- индекс менее чем 0,15 говорит о том, что, скорее всего растения погибли;
- индекс 0,15–0,2 тоже является низким и говорит о том, что, скорее всего растения начали зимовку на очень ранней фенологической стадии.
- 0,2–0,3 говорит о том, что с растениями все хорошо, и они плавно возобновляют вегетацию.
- 0,3–0,5 – отличный показатель [13].

Таким образом, основная цель работы – сопряженный анализ условий тепло- и влагообеспечения периода активной вегетации в 2020 году и пространственного распределения NDVI по Ставропольскому краю, где на подавляющей части территории получили распространение сельскохозяйственные угодья в виде пашни и пастбищ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для составления серии карт распределения величины NDVI по территории Ставропольского края использованы открытые данные с отечественного космического аппарата дистанционного зондирования Земли «Метеор-М». На нем установлена целевая аппаратура комплекс многозональной спутниковой съемки (KMCC МСУ 101 и 102) с пространственным разрешением 60 м. Съемка происходит в трех спектральных каналах (0,52–0,90 мкм), в том числе в красной и ближней инфракрасной зонах. Обработанные данные доступны в геоинформационном сервисе Единый комплекс Банк базовых продуктов (ЕК ББП). Он базируется на централизованном хранении стандартных базовых продуктов, получаемых в результате

обработки данных с отечественной группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с целью дальнейшего формирования тематических продуктов. Все данные, имеющиеся в Банке базовых продуктов, проходят первичную обработку, географическую привязку, радиометрическую и атмосферную коррекцию. В Банке представлены продукты разной степени обработки [6].

Для дальнейшей тематической обработки были выбраны уже готовые тематические базовые продукты – индекс NDVI. Исходные данные в этом геоинформационном сервисе представлены в виде сцен – определенным образом нарезанных частей принимаемого со спутника потока данных. Поиск данных осуществлялся за период активной вегетации (май–сентябрь 2020 г.). Этот период был разбит на отрезки по 10 дней, когда растительность природных и культурных ландшафтов находилась в максимально близких фенологических фазах, что позволило составить мозаики-сцены на всю изучаемую территорию. Периодичность съемки космического аппарата «Метеор-М» составляет 2–3 дня, то есть количество сцен за десятидневные периоды в целом невелико. Существенной проблемой стало наличие снимков с большой площадью территории, занятой облачностью. В итоге были отобраны сцены с минимальным процентом облачности по сравнению с другими датами, по которым составлены мозаики.

Классификация и картографирование результатов пространственного распределения NDVI осуществлялось в программах ArcGIS и Mapinfo, что позволило также определить площади, занимаемые разными значениями данного индекса.

Что касается интерпретации метеорологических данных 2020 года, то для этого применялся метод климатодиаграмм, предложенный Г. Вальтером [14]. Данный метод позволяет оценить биоклиматические условия. Климатодиаграмма представляет собой совмещенный график хода температур и осадков в соотношении 1:2, то есть 10°C соответствует 20 мм осадков. В случае гумидных условий кривая осадков располагается над кривой температур; если кривая температур опускается под кривую осадков, условия засушливые, и чем ниже кривая осадков опускается под кривую температур, тем засушливее условия. То есть, данный график отражает изменение условий, от которых зависит продуктивность естественной и культурной растительности на протяжении вегетационного периода.

Для выявления метеорологических условий 2020 года были использованы данные метеостанций «Рощино» (полупустыни), «Буденновск» (сухие степи), «Ставрополь» (лесостепи байрачные) и «Новоалександровск» (степи типичные), имеющиеся в открытом доступе [15].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Естественный ход развития растительности находится под влиянием метеорологических факторов. В течение года традиционно выделяют два периода: холодный (когда температура воздуха ниже 0°) и теплый. Наряду с периодами в умеренных широтах выделяются тривиальные сезоны года, границами которых являются также переходы через определенные температуры. В пределах сезонов выделяются подсезоны, которые также разграничиваются температурными грациями.

Так, например, весна подразделяется на раннюю (до +5°C), среднюю (от +5 до +10°C) и позднюю (от +10 до 15°C).

Наиболее активное развитие растительности начинается при повышении температуры воздуха выше +10°C, а отрезок времени, когда она выше этой отметки, принято называть периодом активной вегетации. Однако на развитие растительности в это время начинают оказывать влияние осадки, в зависимости от которых растительный покров либо увеличивает продуцирование фитомассы, либо сокращает. Так, при

увеличении осадков в первую половину вегетационного периода продуцирование фитомассы максимально и последующая засуха не оказывает существенного влияния на конечную продукцию. Возникновение засух в это время, наоборот, снижает урожайность естественной и культурной растительности.

Климатодиаграммы, отражающие изменение условий на протяжении 2020 года по базовым метеостанциям на территории Ставропольского края, иллюстрирует рисунок 1.

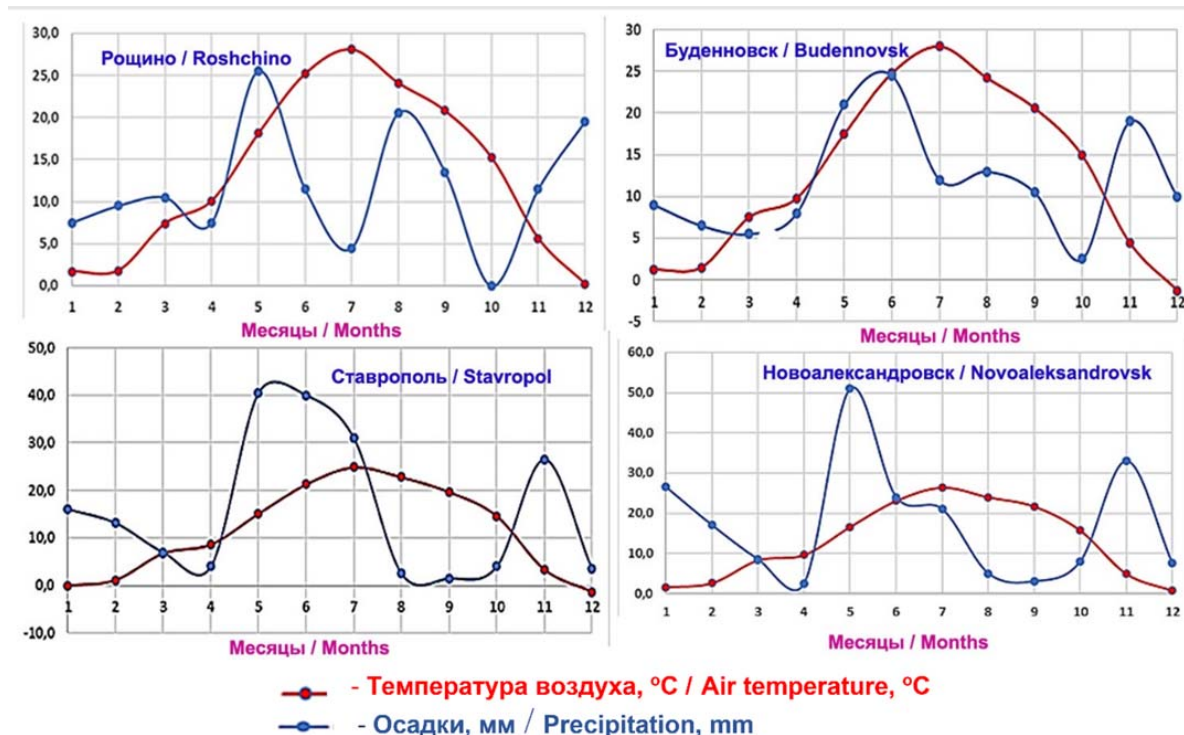


Рисунок 1. Оценка биоклиматических условий на основе климатодиаграмм Вальтера по данным метеостанций на территории Ставропольского края

Figure 1. Assessment of bioclimatic conditions based on Walter's climatogram according to weather stations in Stavropol Territory

На представленных графиках отчетливо видно, что период активной вегетации начался в 2020 г. практически на всех метеостанциях в начале апреля, когда температура воздуха поднялась выше +10°C. Окончание вегетационного периода отмечалось примерно в середине октября. Что касается условий увлажнения, то они существенно отличались. Так, в восточной, наиболее засушливой части, недостаток влаги стал ощущаться уже к середине мая – началу июня. В степной части Ставропольского края максимум осадков отмечался как раз в мае–июне, и лишь потом количество осадков сократилось, что привело к формированию засушливых условий, которые закончились синхронно с окончанием периода активной вегетации.

Поскольку отрицательные значения NDVI чаще всего соответствуют облачности и водным объектам, для их верификации и разграничения можно использовать статистические данные. Так, по данным Института озераведения Российской Академии Наук на территории Ставропольского края расположено более 3000 озёр и искусственных водоёмов общей площадью около 700 км² (озёрность 1,06%), в том числе около 720 озёр площадью более 0,01 км² и ряд озёр меньшего

размера [1]. Площадь наиболее крупных водных объектов на территории края (Чограйского и Отказненского водохранилищ и Сенгилеевского озера) составляет около 265 км². То есть эти величины можно считать (с учетом естественных сезонных процессов, а также разрешения снимков) реперными для оценки облачности.

Максимальные значения NDVI соответствуют наиболее густой и плотной растительности. Традиционно под ней понимается древесная. В этой связи для верификации максимальных значений можно использовать данные по лесистости и площади лесного фонда Ставропольского края. Так, по данным Министерства природных ресурсов края (2021), площадь земель лесного фонда составляет 129,9 км². Лесистость территории составляет 1,6%. Оценка площади, занятой древесной растительностью на основе среднемасштабных топографических карт (1:200000), дает величину 1711 км² [1].

Как отмечалось, положительные величины NDVI могут быть объединены в три группы, которые соответствуют трем основным жизненным формам растительности: травянистой (величина NDVI до 0,3), кустарниковой (величина NDVI от 0,3 до 0,6) и

древесной (величина NDVI более 0,6). Кроме того, в разные отрезки вегетационного периода плотность растительного покрова и его проективное покрытие меняется, что также приводит к изменению величины

NDVI даже в пределах одного типа растительности. Изменение величины NDVI на территории Ставропольского края за период активной вегетации 2020 года иллюстрируют рисунки 2 и 3 и таблица 2.

Таблица 2. Изменение площадей NDVI на территории Ставропольского края за период активной вегетации 2020 года
Table 2. Change of NDVI areas in Stavropol Territory during period of active vegetation in 2020

Даты / Dates	≥0	0–0,15	0,15–0,3	0,3–0,45	0,45–0,6	0,6–0,75	0,75–0,9
21.05–30.05	1326,7	20096,7	15684,5	14741,4	12062,6	2243,9	4,3
31.05–09.06	609,4	16696,7	13386,9	15196,9	15275,5	4992,5	2,0
10.06–19.06	350,8	13843,2	12693,9	13124,4	13384,8	10898,9	1863,9
30.06–09.07	2140,8	37381,3	11594,4	6931,4	5024,0	3053,1	35,0
10.07–19.07	3154,6	41497,4	9982,2	5655,4	3959,1	1869,1	42,3
29.08–07.09	207,7	36887,4	21291,0	5447,5	1850,5	476,0	0
08.09–17.09	272,9	39743,3	18493,4	4781,8	1963,9	869,5	35,2
18.09–27.09	665,3	44199,1	15485,5	3907,3	1459,8	443,0	0

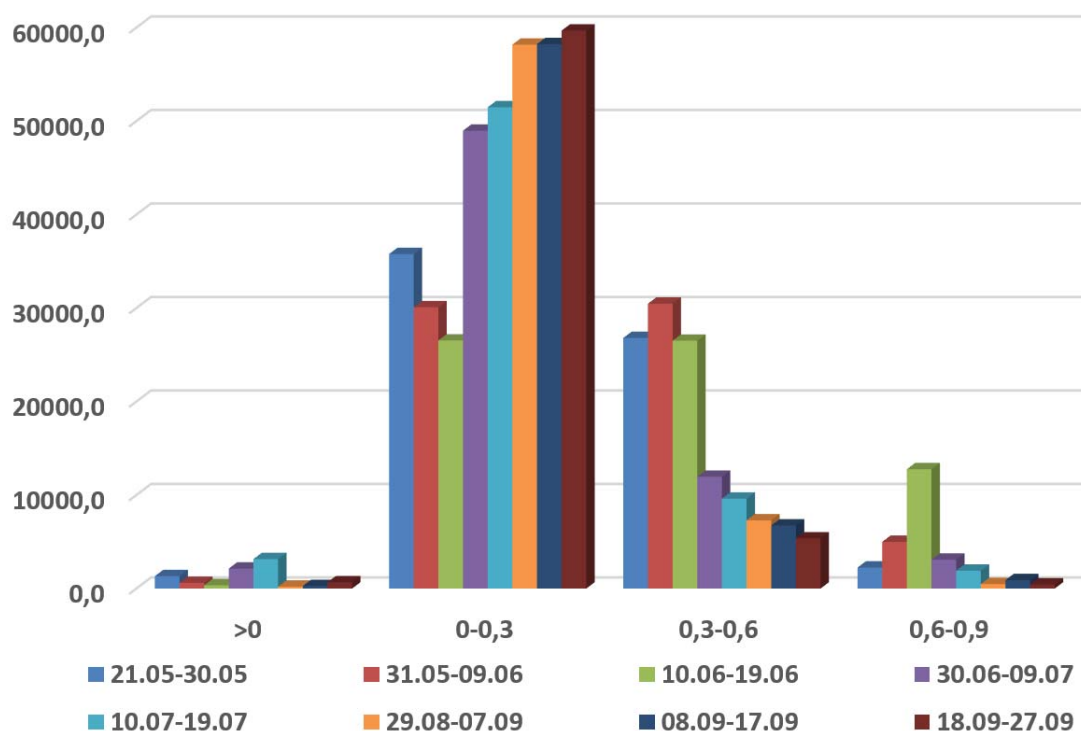


Рисунок 2. Изменения площадей разных групп значений NDVI на территории Ставропольского края
Figure 2. Changes in areas of different groups of NDVI values in Stavropol Territory

Как видно из представленных данных, в последнюю декаду мая 2020 года наибольшую площадь занимали территории, где величина NDVI составляла 0–0,3, то есть соответствовала травянистой растительности. Среди нее наибольшую площадь (20096,7 км²) занимали значения 0–0,15, которые были типичны для восточных и северных частей (полупустыни), а также для долин крупных рек. В большей части степной зоны величина NDVI соответствовала 0,15–0,3. Значения NDVI увеличивались при переходе к предгорьям, и, в меньшей степени, в западной части края. В этот период, как уже отмечалось выше, на всей территории края недостатка влаги не было. В целом в полупустынях, где растительный покров зачастую разреженный и несомкнутый, завершается его формирование. В степях, где растительный покров в целом сомкнутый, в это время отмечается активный прирост фитомассы как в естественных, так и в культурных ценозах, что хорошо

отражается данным спектральным индексом. Наиболее высокие его значения несколько превышают площадь древесной растительности.

Первая декада июня (31.05–09.06) характеризуется сравнительно небольшим изменением: за счет повышения температуры воздуха сократилась площадь значений NDVI со значениями 0–0,15 за счет увеличения площадей более высоких значений в западной и предгорной частях. В целом разные группы значений NDVI довольно близки по занимаемым площадям. Отмечается увеличение площадей, соответствующей древесной растительности более, чем в два раза по сравнению с концом мая. В целом продолжается процесс формирования естественной и культурной растительности, сопровождающийся увеличением площади листовых поверхностей, и, соответственно, проективного покрытия.

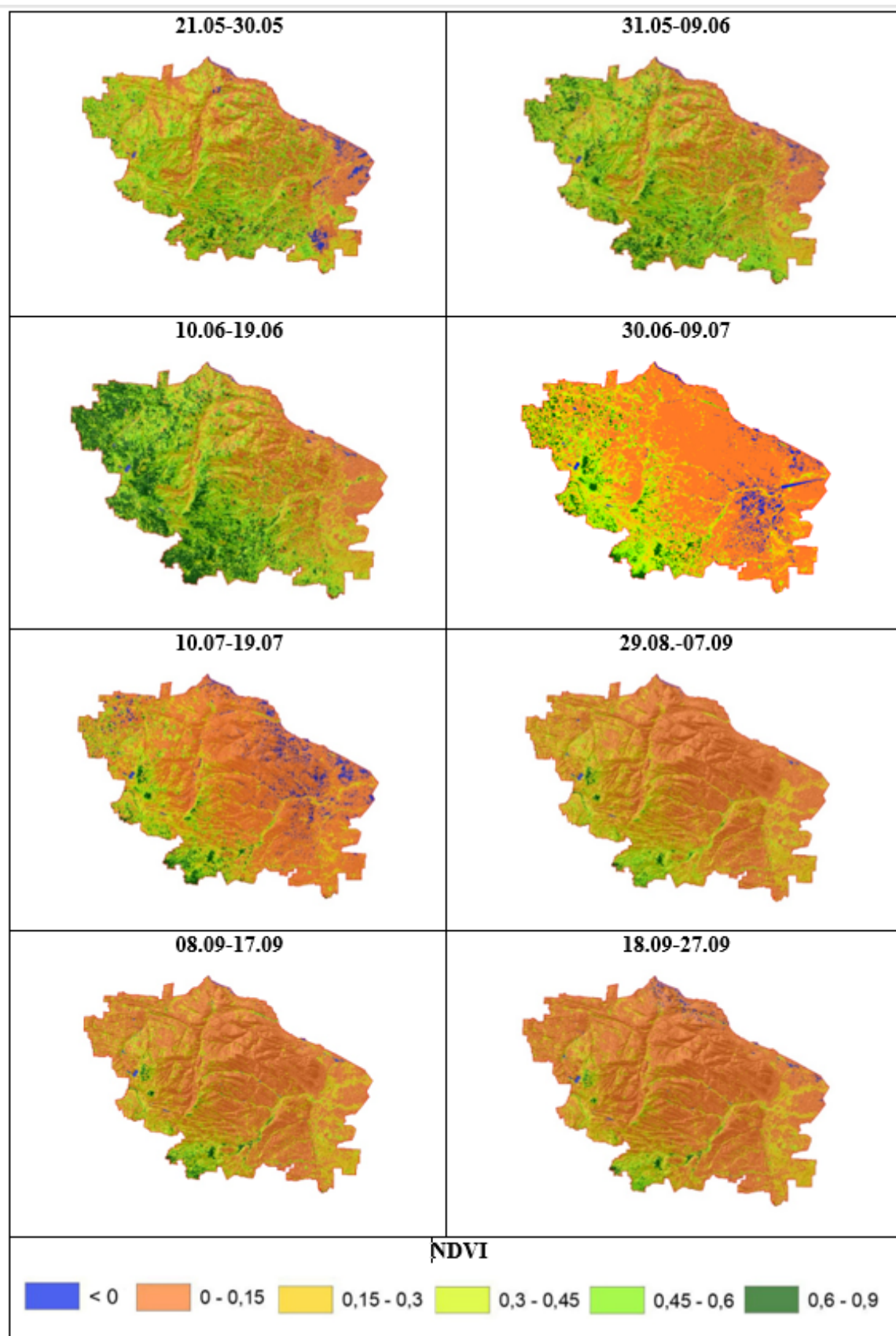


Рисунок 3. Динамика величины NDVI на территории Ставропольского края
Figure 3. Dynamics of NDVI magnitude in Stavropol Territory

Вторая декада июня (10.06–19.06) продолжает тенденции дальнейшего естественного развития растительного покрова, при этом в градациях от 0 до 0,6 площади отличаются крайне незначительно. В этот

период отмечается максимум в градации 0,75–0,9 (1863,9 км²), который практически соответствует площади лесов на территории края. В эти три периода времени отмечается тенденция к сокращению

площади отрицательных значений NDVI, что в целом согласуется с общей картиной выпадения осадков. В целом этот временной отрезок можно является концом относительно влажного периода на востоке и севере края и наиболее оптимальным с точки зрения тепло- и влагообеспечения в остальной его части. В это время растительность находится на пике своего сезонного развития.

Первая декада июля (30.06–09.07) характеризуется усилением засушливости в восточной, центральной и северной частях края. Кроме того, отмечаются локальные осадки в восточной части края (или участки, где на поверхности скапливается влага). Процессы вегетации продолжаются на юге и юго-западе края. Наибольшую площадь занимают участки с величиной NDVI 0–0,15 – 37381,3 км². В остальных грациях происходит сокращение площадей. Наиболее резко сократилась площадь, занимаемая максимальными значениями NDVI. Данная картина объясняется тем, что в это время начинается уборка озимой пшеницы, основной сельскохозяйственной культуры Ставропольского края. Это предположение подтверждается тем, что в следующую декаду (10.07–19.07) отмечается максимальная площадь в грациях NDVI от 0 до 0,15. Кроме того, значительная площадь занята облачностью в северо-восточной части края, где отмечаются минимальные положительные значения NDVI, что дает увеличение этой площади. Также интересно отметить, что площадь, соответствующая значениям NDVI с древесной растительностью (0,6–0,75) практически идентична таковой во второй декаде июня, но в другой грации (0,75–0,9): 1869,1 и 1863,9 км² соответственно.

Вторая половина лета характеризуется не столько существенным снижением температуры воздуха, сколько повсеместным сокращением количества осадков, что приводит к угнетению растительности. В этой связи с конца августа и по конец сентября продолжает оставаться максимальной площадь наиболее низких положительных значений NDVI (0–0,15). Остальные значения изменяются крайне слабо. Последняя декада сентября характеризуется максимальной за весь вегетационный период площадью NDVI с наиболее разреженным растительным покровом (44199,1 км²), который соответствует полупустыням, где естественный растительный наименее сомкнутый, и убраным сельскохозяйственным угодьям. Что касается наиболее высоких значений NDVI, то сумма площадей в грациях 0,45–0,6 и 0,6–0,75 составляет 1902,8 км², и в целом согласуется с площадью лесов на территории края.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ пространственно-временного распределения величины NDVI позволяет получать представление о естественных и антропогенных процессах, протекающих в растительном покрове. Сезонный характер развития различных типов растительности приводит к тому, что в разные фенологические фазы величина NDVI травянистой растительности изменяется довольно существенно, при этом в моменты максимального развития она может соответствовать грациям, характерным для кустарниковой растительности. Что касается древесной растительности, то ее значения изменяются не столь существенно в течение периода активной вегетации.

Вегетационный период в 2020 году длился с апреля по октябрь, однако в эти месяцы интенсивность процессов вегетации была минимальной. В этой связи, а также с учетом озвученных критериев, сцены отбиралась с начала мая по конец сентября. В итоге были выбраны восемь сцен, которые отличаются разным процентом облачности (от минимального 10–19.06, 29.08–07.09 и 08–17.09) до максимального (20–29.07).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках госзадания ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2021-0002 «Оценка изменчивости агроклиматических условий Северного Кавказа в связи с глобальными изменениями климата».

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state tasks of GGNTU Academician M.D. Millionshchikov FZNU-2021-0002 "Assessment of variability of agro-climatic conditions of the North Caucasus in connection with global climate changes".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае. URL: <https://mpr26.ru/deyatelnost/otchety-doklady/o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy-i-prirodopolzovaniy-v-stavropolskom-krae/> (дата обращения: 20.08.2022)
2. Шальнев В.А. Современные ландшафты Северного Кавказа. Эволюция и современность. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2004. 264 с.
3. Волков С.Н., Савинова С.В., Черкашина Е.В., Шаповалов Д.А., Братков В.В., Ключин П.В. Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья для целей прогнозирования урожайности озимой пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 1. С. 117–127. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-1-117-127>
4. Заурбеков Ш.Ш., Джандубаева Т.З. Тенденции климатических изменений в степных ландшафтах Западного Предкавказья // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2014. N 3. Т. 28. С. 76–84.
5. Адамович Т.А., Кантор Г.Я., Ашихмина Т.Я., Савиных В.П. Анализ сезонной и многолетней динамики вегетационного индекса NDVI на территории государственного природного заповедника «Нургуш» // Теоретическая и прикладная экология. 2018. N 1. С. 18–24. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-1-018-024>
6. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
7. Письман Т.И., Шевырнов А.П., Ларько А.А., Ботвич И.Ю., Емельянов Д.В., Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственных полей // Биофизика. 2019. N 4. С. 740–746. <https://doi.org/10.1134/S0006302919040136>
8. Савин И.Ю., Чендев Ю.Г. Причины многолетней динамичности индекса NDVI (MODIS), осреднённого для пахотных земель на уровне муниципалитетов Белгородской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. N 2. С. 137–143. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-2-137-143>
9. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. N 2. С. 98–102. URL: https://sovzond.ru/upload/iblock/f46/2011_02_017.pdf (дата обращения: 23.11.2023)
10. Дубинин М. NDVI – теория и практика. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 13.11.2022)

11. Братков В.В., Кравченко И.В., Туаев Г.А., Атаев З.В., Абдулжалимов А.А. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10. N 4. С. 97–111.
12. Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Shirokova V.A., Khutorova A., Savinov S. Problems and efficiency of land use in the North Caucasian federal district // GeoConference SGEM. 2018. V. 18. N 5.1. P. 667–674. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.086>
13. Aeromotus education URL: <https://aeromotus.ru/obzor-vozmozhnostey-indeksa-ndvi/> (дата обращения: 01.06.2022)
14. Вальтер Г. Растительность Земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Перевод с немецкого. М.: Прогресс, 1968. 551 с.
15. Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 19.03.2022)

REFERENCES

1. *O sostoyanii okruzhayushchei sredy i prirodopol'zovaniy v Stavropol'skom krae* [State report on the state and environmental protection of the Stavropol Territory]. Available at: <https://mpr26.ru/deyatelnost/otchet-doklady/o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy-i-prirodopolzovaniy-v-stavropol'skom-krae/> (accessed 20.08.2022)
2. Shal'nev V.A. *Sovremennye landshafty Severnogo Kavkaza. Evolyutsiya i sovremennost'* [Modern landscapes of the North Caucasus. Evolution and modernity]. Stavropol', SSU Publ., 2004, 264 p. (In Russian)
3. Volkov S.N., Savinova S.V., Cherkashina E.V., Shapovalov D.A., Bratkov V.V., Klyushin P.V. Assessment of current climate conditions changes in the territory of Ciscaucasia for the purposes of forecasting winter wheat yield. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 117–127. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-1-117-127>
4. Zaurbekov Sh.Sh., Dzhandubaeva T.Z. Trends of climatic changes in step landscapes of the Western Ciscaucasia. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstven-nogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [Dagestan State Pedagogical University journal. Natural and exact sciences]. 2014, vol. 28, no. 3, pp. 76–84 (In Russian)
5. Adamovich T.A., Kantor G.Ya., Ashikhmina T.Ya., Savinykh V.P. Analysis of seasonal and long-term dynamics of the NDVI growing index in the territory of the Nurgush State Nature Reserve.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Светлана В. Савинова выполнила все полевые и лабораторные исследования. Виталий В. Братков осуществил поиск исторических данных и литературный обзор, принимал участие в обработке данных. Ирина Д. Мурашова участвовала в обработке и изготовлении графического материала статьи. Павел В. Ключин анализировал и интерпретировал результаты исследований, подготовил рукопись. Надира О. Гусейнова осуществляла статистическую обработку материала. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

- Theoretical and applied ecologic*, 2018, no. 1, pp. 18–24. (In Russian) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-1-018-024>
6. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., et al. Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii [Satellite mapping of Russia's racial cover]. Moscow, IKI RAS Publ., 2016, 208 p. (In Russian)
7. Pisman T.I., Shevyrnogov A.P., Larko A.A., Botvich I.Yu., Emelyanov D.V., Shpedt A.A., Trubnikov Yu.N. Informativity of spectral vegetative indices for deciphering agricultural fields. *Biophysics*, 2019, no. 4, pp. 740–746. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S0006302919040136>
8. Savin I.Yu., Chendev Yu.G. The reasons for the long-term dynamism of the NDVI (MODIS) index, averaged for arable land at the level of municipalities in the Belgorod region. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 137–143. (In Russian) <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-2-137-143>
9. Cherepanov A.S. [Vegetation indices]. *Geomatika*, 2011, no. 2, pp. 98–102. Available at: https://sovzond.ru/upload/iblock/f46/2011_02_017.pdf (accessed 23.11.2023)
10. Dubinin M. [NDVI – theory and practice]. *Geographic Information systems and remote sensing*. Available at: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (accessed 13.11.2022)
11. Bratkov V.V., Kravchenko I.V., Tuayev G.A., Ataev Z.V., Abdulzhaimov A.A. When changing growing indices for mapping landscapes of the Greater Caucasus. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstven-nogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [Dagestan State Pedagogical University journal. Natural and exact sciences]. 2016, vol. 10, no. 4, pp. 97–111. (In Russian)
12. Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Shirokova V.A., Khutorova A., Savinov S. Problems and efficiency of land use in the North Caucasian federal district. *GeoConference SGEM*, 2018, vol. 18, no. 5.1, pp. 667–674. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.086>
13. Aeromotus education. Available at: <https://aeromotus.ru/obzor-vozmozhnostey-indeksa-ndvi/> (accessed 01.06.2022)
14. Walter G. Globe vegetation. *Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika* [Ecological and physiological characteristics]. Moscow, Progress Publ., 1968, 551 p. (In Russian)
15. *Pogoda i klimat* [Weather and climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru> (accessed 19.03.2022)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Svetlana V. Savinova completed all field and laboratory studies. Vitaly V. Bratkov carried out search for historical data and a literary review and participated in data processing. Irina D. Murashova participated in the processing and production of the graphic material of the article. Pavel V. Klyushin analysed and interpreted the research results and prepared the manuscript. Nadira O. Guseynova carried out statistical processing of the material. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Светлана В. Савинова / Svetlana V. Savinova <https://orcid.org/0000-0003-4433-2528>
 Виталий В. Братков / Vitaly V. Bratkov <https://orcid.org/0000-0001-5072-1859>
 Ирина Д. Мурашова / Irina D. Murashova <https://orcid.org/0000-0001-9512-2403>
 Павел В. Ключин / Pavel V. Klyushin <https://orcid.org/0000-0002-4221-036X>
 Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

Оригинальная статья / Original article
УДК 504:43; 550.4; 614:79
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-92-101

Оценка качества подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевых целях в Республике Дагестан

Тамила О. Абдулмуталимова^{1,2}, Омари М. Рамазанов¹, Алибек Б. Алхасов¹, Иса М. Газалиев²

¹Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал Объединённого института высоких температур Российской академии наук, Махачкала, Россия

²Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Тамила О. Абдулмуталимова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория энергетики, Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиал Объединённого института высоких температур Российской академии наук; 367030 Россия, г. Махачкала, просп. И. Шамиля, 39а.
Тел. +79034244344
Email tamila4@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4743-6154>

Формат цитирования

Абдулмуталимова Т.О., Рамазанов О.М., Алхасов А.Б., Газалиев И.М. Оценка качества подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевых целях в Республике Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 92-101.
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-92-101

Получена 26 октября 2022 г.
Прошла рецензирование 2 февраля 2023 г.
Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. Особенности геологического строения региона обуславливают разнообразие химического состава подземных вод, представленных родниками в горной части республики до артезианских вод в равнинной части. Содержание некоторых контаминантов в питьевых водах может сказываться на здоровье населения и иметь негативные последствия. Целью работы является проведение сравнительного анализа региональных особенностей подземных вод и обоснование соответствия их гигиеническим нормативам, предъявляемым к качеству питьевых вод.

Материалы и методы. Более 500 проб питьевой воды отобраны на территории республики и проанализированы в аналитических лабораториях Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиала Объединённого института высоких температур Российской академии наук и Института геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук. Оценки канцерогенных рисков для здоровья населения проведена согласно Руководству 2.1.10.1920-04.

Результаты. В некоторых горных населенных пунктах выявлены повышенные значения жесткости (до 14), а также практически повсеместно дефицит йодидов. В подземных водах равнинных населенных пунктов выявлено повышенное содержание фенолов, кадмия и мышьяка.

Заключение. Использование населением подземных вод для питьевых целей в горных районах возможно с предварительным проведением соответствующих мероприятий по смягчению воды и профилактических мероприятий среди населения, связанных с восполнением дефицита йода. Подземные воды равнинных районов не соответствуют гигиеническим требованиям по содержанию мышьяка, кадмия и фенолов, а канцерогенные риски для населения находятся на уровне, недопустимом для населения.

Ключевые слова

Подземные воды, питьевое водоснабжение, геогенные химические элементы, гигиенический норматив, канцерогенные риски здоровью населения, Республика Дагестан.

The assessment of quality of groundwater used for drinking by the population of the Republic of Dagestan, Russia

Tamila O. Abdulmutalimova^{1,2}, Omari M. Ramazanov¹, Alibek B. Alhasov¹ and Isa M. Gazaliev²

¹Institute of Geothermal Problems and Renewable Energy, Branch of Joint Institute of High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Institute of Geology, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Tamila O. Abdulmutalimova, PhD in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Geoenergetics, Institute of Geothermal Problems and Renewable Energy, Branch of Joint Institute of High Temperatures, Russian Academy of Sciences; 39a Prospect I. Shamilya, Makhachkala, Russia, 367030. Tel. +79034244344
Email tamila4@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4743-6154>

How to cite this article

Abdulmutalimova T.O., Ramazanov O.M., Alhasov A.B., Gazaliev I.M. The assessment of quality of groundwater used for drinking by the population of the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 92-101. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-92-101

Received 26 October 2022

Revised 2 February 2023

Accepted 6 February 2023

Abstract

Aim. Features of the geological structure of the region determine the diversity of the chemical composition of groundwater, represented by springs in the mountainous part of the Republic of Dagestan and artesian waters in the plains. The content of some contaminants in drinking water can affect public health and have negative consequences. The purpose of the work is to conduct a comparative analysis of the regional characteristics of groundwater and substantiate their compliance with hygienic standards for the quality of drinking water.

Materials and methods. More than 500 samples of drinking water were taken on the territory of the republic and analysed in the analytical laboratories of the Institute for Problems of Geothermy and Renewable Energy, a branch of the Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences and the Institute of Geology of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. Assessment of carcinogenic risks to public health was carried out in accordance with Guideline 2.1.10.1920-04.

Results. In some mountainous settlements increased values of hardness (up to 14) were revealed, as well as iodide deficiency almost everywhere. In the underground waters of lowland settlements, an increased content of phenols, cadmium and arsenic was revealed.

Conclusion. The use of groundwater by the population for drinking purposes in mountainous areas is possible with the preliminary implementation of appropriate water softening measures and preventive measures among the population related to the replenishment of iodine deficiency. The underground waters of the lowland areas do not meet the hygienic requirements for content of arsenic, cadmium and phenols and the carcinogenic risks for the population are at a level unacceptable for the population.

Key Words

Groundwater, drinking water supply, natural chemical elements, permissible level, human health, Republic of Dagestan.

ВВЕДЕНИЕ

Подземные воды, характеризуясь особыми условиями миграции и разнообразными условиями формирования химического состава, являются составной частью единой гидросферы Земли. В настоящее время пресные подземные воды играют значительную роль в хозяйственно-питьевом водоснабжении населения многих стран. При этом отмечается тенденция к увеличению использования подземных вод для водоснабжения. Это объясняется тем, что подземные воды, как источник водоснабжения, имеют ряд преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Подземные воды, как правило, обладают лучшим качеством, более надежно защищены от загрязнения и заражения, меньше подвержены сезонным и многолетним колебаниям и в большинстве случаев их использование не требует дорогостоящих мероприятий по водоочистке.

На формирование качественного состава подземных вод влияют геолого-структурные особенности района, его металлогения, литогеохимическая специализация горных пород, литолого-минералогические особенности, а также физико-химические условия миграции элементов и их комплексных соединений.

В мировом масштабе использование подземных вод покрывает примерно 50% потребности в питьевой воде и 43% потребности орошения, а экономический вклад подземных вод в сельское хозяйство оценивается в 230 млрд долл. США в год. С развитием мировой экономики спрос на пресную воду растет, а загрязненные пресные поверхностные источники не удовлетворяют всех потребностей мирового хозяйства. Как показали документы Всемирного саммита в Йоханнесбурге (2002), Третьего Всемирного водного форума (2003–2022 гг.), а также предложенная Европейским Союзом, так называемая, Водная инициатива, внимание мировой общественности все больше привлекают проблемы качества и рационального использования водных ресурсов. Растущая техногенная нагрузка на окружающую среду, стремительное уменьшение запасов питьевой воды на планете, ухудшение ее качества сказываются на здоровье людей, разнообразии животного и растительного мира. Известно, что основными загрязняющими подземные воды веществами являются фенолы, нефтепродукты, соединения меди, цинка, нитратный азот, мышьяк, ртуть, марганец и т.д. [1–4], которые образуются в результате деятельности различных предприятий и функционирования населенных пунктов [5; 6]. Рост городов и стремительное развитие промышленности уже в XX веке привели Россию к довольно сложной ситуации в отношении качества питьевых вод. Поэтому антропогенное воздействие является главной причиной снижения биосферных функций, изменения физического и химического состояния подземных вод [7].

Во многих европейских странах: Австрия, Бельгия, Германия, Венгрия, Дания, Румыния, Швейцария использование подземных вод превышает 70% от общего водопотребления. Россия обладает огромным водно-ресурсным потенциалом, масштабы и основные характеристики которого во многом уникальны. 20% мировых ресурсов пресной воды (без учета ледников и подземных вод) приходится на Россию [8; 9]. Подземные воды составляют значительную часть водных

ресурсов страны и обеспечивают около 20% всех потребностей страны в хозяйственно-питьевой воде. Прогнозные эксплуатационные ресурсы питьевых (пресных и солоноватых) подземных вод, оцененных по бассейнам рек, составляют 317,2 км³ в год. Из подземных гидрогеологических резервуаров ежедневно добывается по 40 млн м³ воды (14,6 млрд м³ в год) и этой водой обеспечиваются потребности 60% городского и 85% сельского населения. Наиболее удобны для этих целей воды артезианских бассейнов, из которых они подаются с напором при помощи скважин [10].

Дагестан, как один из самых водообеспеченных регионов страны, обладает достаточными прогнозными ресурсами пресных подземных вод хозяйственно-питьевого и производственно-технического назначения. Подземные воды играют существенную роль в водоснабжении сельских населенных пунктов республики (62%) и, частично, городов Дербент, Кизляр, Хасавюрт, Буйнакс, Южно-Сухокумск (12–50%). Доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения в 2021г. составила более 27% [11].

По состоянию на 01.01.2022г. по предварительным данным государственного баланса запасов разведаны и оценены 56 месторождений (участков) подземных вод с суммарными утвержденными запасами в количестве 324,13 тыс. м³/сут, в том числе около половины запасов (134 тыс. м³/сут) – для водоснабжения таких городов, как Кизляр, Дербент, Буйнакс и Хасавюрт. Согласно данным статистической отчетности (форма № 4-ЛС и 2-ТП «Водхоз»), на территории республики суммарная добыча подземных вод составила 234,14 тыс. м³/сут, в том числе на месторождениях 57,21 тыс. м³/сут (в эксплуатации находилось 40 месторождений (участков), на участках с неутвержденными запасами – 176,93 тыс. м³/сут. Степень освоения запасов составила 17,7% [12; 13].

В структуре подземных вод Дагестана следует выделить южную горную часть и северную равнинную, в которых сосредоточена основная их масса. Подземные воды горной части оцениваются модулем родникового стока. Подземные воды равнинных территорий представлены высоконапорными артезианскими водами, входящими в состав крупнейшего резервуара пресных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна [14].

Благополучная в целом по республике ситуация с количественной обеспеченностью водопотребности ресурсами пресных подземных вод омрачается фактами загрязнения подземной гидросферы некоторыми вредными компонентами, нерациональным водопользованием и большой вероятностью проникновения в водоносные пласты высокоминерализованных вод глубоких горизонтов с содержанием токсичных элементов [15]. Зачастую концентрации загрязнителей оказываются выше установленных гигиенических нормативов (ГН), предъявляемых к качеству питьевой воды.

Общая откартированная площадь загрязнения подземных вод в пределах Республики Дагестан составляет 3,8 тыс. км² [12].

В ходе проведенных исследований было выявлено повышенное содержание некоторых токсичных компонентов, дифференцированных по классу опасности:

I – чрезвычайно опасные – мышьяк;

II – высокоопасные – кадмий, бром, кремний, бор, барий;

III – опасные – марганец, железо, аммоний;

IV – умеренно опасные – фенолы, сульфаты, общая жесткость воды.

Согласно ВОЗ, 80% заболеваний вызвано потреблением некачественной питьевой воды. И, очевидно, что изучение качества питьевой воды, проведение мероприятий по его улучшению обуславливает санитарно-эпидемиологическое благополучие населения.

Целью настоящего исследования является оценка качества подземных вод Дагестана, используемых населением в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения в аспекте влияния на здоровье населения.

Задачами исследования явились:

- оценка качества подземных вод, используемых населением Дагестана для питьевых нужд;
- выявление наиболее опасных загрязнителей;
- оценка канцерогенных рисков здоровью населения при использовании подземных вод для питьевых нужд.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования заключаются в проведении полевых и лабораторных работ. В ходе полевых работ были отобраны образцы питьевой подземной воды в населённых пунктах Республики Дагестан, а также проанализированы литературные источники Института геологии [12; 15] и аналитического центра коллективного пользования ДФИЦ РАН [16; 17] по качеству подземных водоисточников, что позволило сопоставить данные и получить полную картину качественного состава питьевых подземных вод республики. Сравнение полученных результатов с нормативными требованиями, предъявляемых к качеству питьевой воды [18–20], позволило выявить несоответствие по некоторым компонентам.

В ходе данного исследования образцы воды, используемой населением для питьевых целей, отбирались непосредственно из скважин и впоследствии доставлялись в аналитическую лабораторию Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиала Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ИПГВЭ ОИВТ РАН) для проведения соответствующих анализов. На протяжении 5 лет (2015–2019 гг.) в разные сезоны года были отобраны более 500 проб питьевой воды с целью оценки динамики изменения концентраций некоторых загрязнителей и влияния сезонных изменений на качественный состав подземных вод.

При проведении оценки канцерогенных рисков для здоровья населения согласно Руководству 2.1.10.1920-04 [21] использовались данные, полученные в результате химического анализа и анкетирования населения (100 человек), в ходе которого выявлены региональные факторы водопотребления.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ образцов питьевой воды в горной части Дагестана и сопоставление с результатами анализов, полученных другими исследователями, выявил незначительные повышенные значения жесткости, сульфатов, а также дефицит содержания йодидов, калия, магния, кальция, фторидов. По всем остальным показателям подземные воды отвечают гигиеническим требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Следует отметить, что дефицит йода наблюдается

практически во всех проанализированных образцах, что подтверждает эндемичность региона по такому заболеванию, как диффузный, или узловый зоб. Проблему дефицита йода можно решить употреблением в пищу йод содержащих продуктов, в частности йодированной соли, а уменьшение жесткости возможно благодаря использованию смягчающих фильтров. Таким образом, использование подземных вод в горной части республики допустимо, однако в некоторых районах необходимо проведение мероприятий среди населения по восполнению дефицита йода, а также информирование населения о необходимости использования фильтров для смягчения воды перед её употреблением.

Анализ данных по качеству питьевой воды, образцы которой были отобраны в артезианских скважинах равнинного Дагестана, выявил повышенные концентрации мышьяка, кадмия и фенолов (рис. 1–3). Обнаруженные концентрации не вызывают острого токсического воздействия на организм человека, однако при длительном воздействии даже малых доз возможно возникновение патологических изменений. Так, например, при длительном пероральном поступлении кадмия возможно нарушение функции почек. Токсическое воздействие фенолов сказывается на желудочно-кишечном тракте, центральной нервной системе и способно вызывать нарушения в развитии детей. Наибольшую обеспокоенность вызывает мышьяк, обнаруженный практически во всех исследованных образцах питьевой воды, что свидетельствует о повсеместном загрязнении подземных вод. Мышьяк относится к 1 группе канцерогенов и при хроническом пероральном воздействии вызывает ряд системных нарушений в организме человека, вплоть до развития злокачественных новообразований [22]. Таким образом, население Северного Дагестана общей численностью более 700 тыс. человек вынуждено на протяжении длительного времени использовать эти воды для питьевых целей и подвергается риску развития ряда заболеваний.

Следует отметить, что все обнаруженные токсичные элементы имеют природное происхождение [23–25]. Точное объяснение причин их нахождения в подземных водах на сегодняшний день неизвестно, но, предположительно, фенолы, обнаруженные в Ногайском районе, могут быть связаны с месторождениями термальных вод и глубинными тектоническими разломами в этой области, которая характеризуется сейсмичностью. А возникновение кадмия и мышьяка, вероятно, связано с минералами, в состав которых они входят. Следует также отметить, что распространение фенола и кадмия имеет более локальный характер, в то время как мышьяк был обнаружен в 97% образцов.

Учитывая, что мышьяк относится к I группе опасности и является доказанным канцерогеном, было проведено исследование его содержания в питьевых подземных водах. С помощью геоинформационных систем была составлена карта пространственного распространения мышьяка с ранжированием по уровню его содержания (рис. 4). Среднее содержание мышьяка превышает допустимый норматив в 19 раз, максимальное содержание – в 50 раз. Пространственный анализ распространения мышьяка позволяет выявить высокую контрастность его гидрохимических аномалий [25].

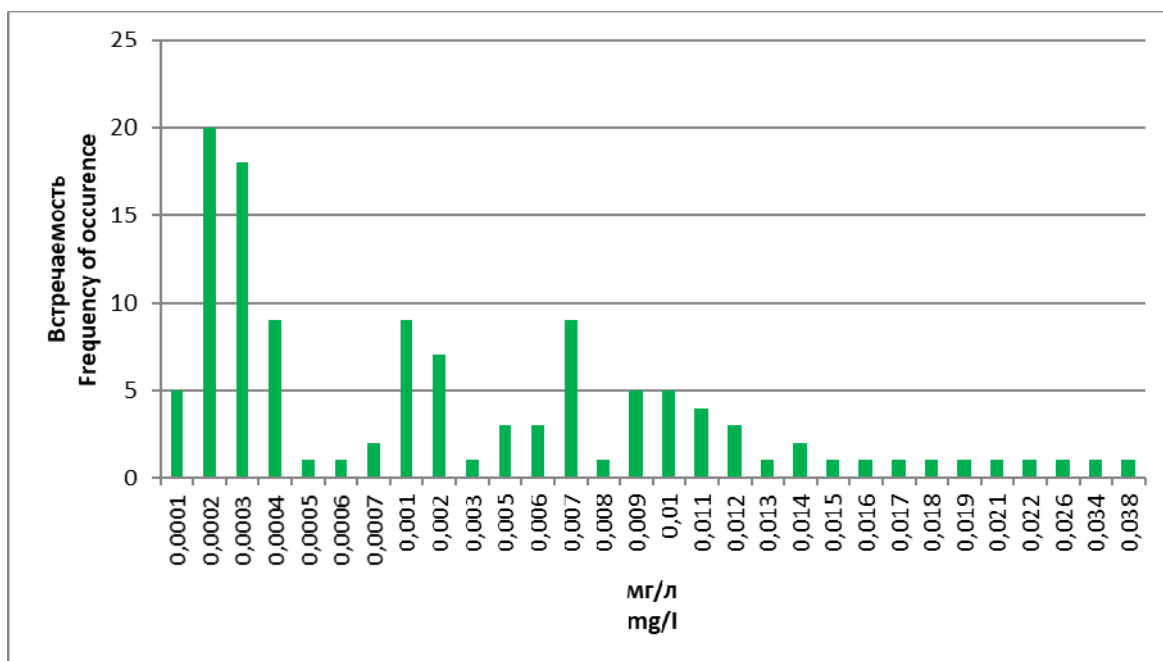


Рисунок 1. Содержание кадмия в образцах питьевой воды в населенных пунктах Северного Дагестана (ГН – 0,001 мг/л)

Figure 1. Cadmium concentration in drinking water samples from Northern Dagestan districts (hygienic standard – 0.001 mg/L)

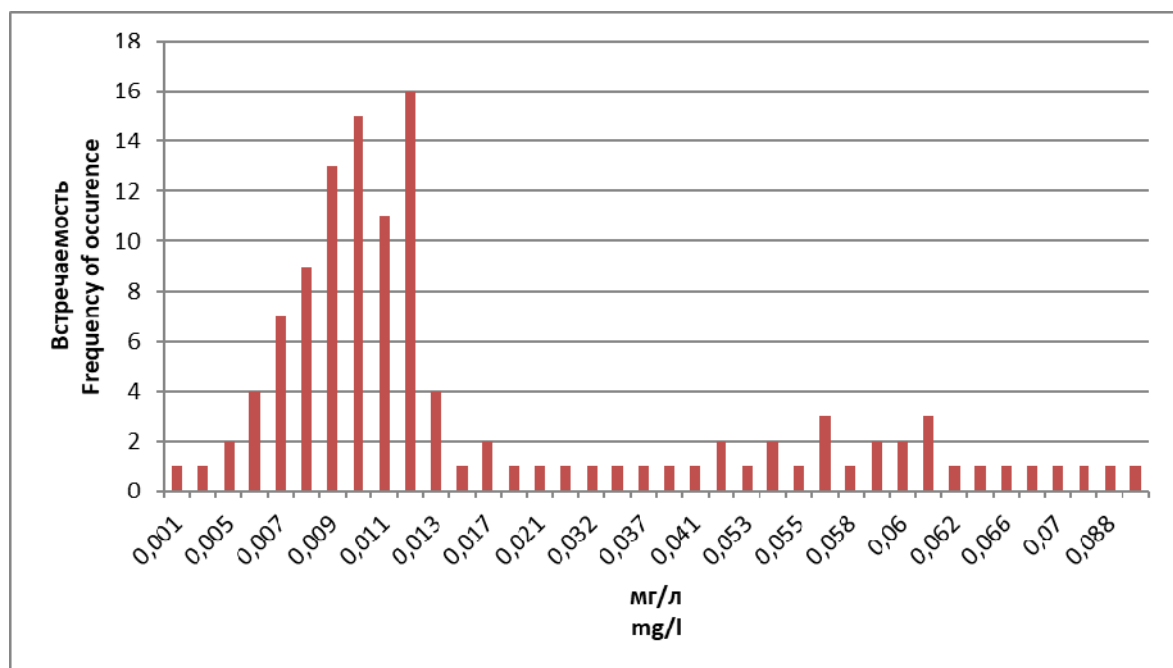


Рисунок 2. Содержание фенолов в образцах питьевой воды в населенных пунктах Северного Дагестана (ГН – 0,001 мг/л)

Figure 2. Phenol concentration in drinking water samples from Northern Dagestan districts (hygienic standard – 0.001 mg/L)

Экспонированная часть населения была также дифференцирована по уровню содержания мышьяка в питьевой воде. Большая часть населения потребляет питьевую воду с содержанием мышьяка с превышением ГН до 5 раз и около 3% населения используют для питья воду с содержанием мышьяка в 40–50 раз выше допустимого норматива (табл. 1).

Превышение гигиенического норматива в 20 и более раз выявлено в 12 населенных пунктах с общей численностью населения 15,8 тыс. человек.

Канцерогенная опасность мышьяка рассчитана на основе индивидуальных канцерогенных рисков с учётом его среднесуточного поступления. Результаты индивидуальных канцерогенных рисков приведены в таблице 2. Предварительно был проведен опрос среди экспонированного населения с целью выявления региональных факторов водопотребления, которые использовались в расчётах.

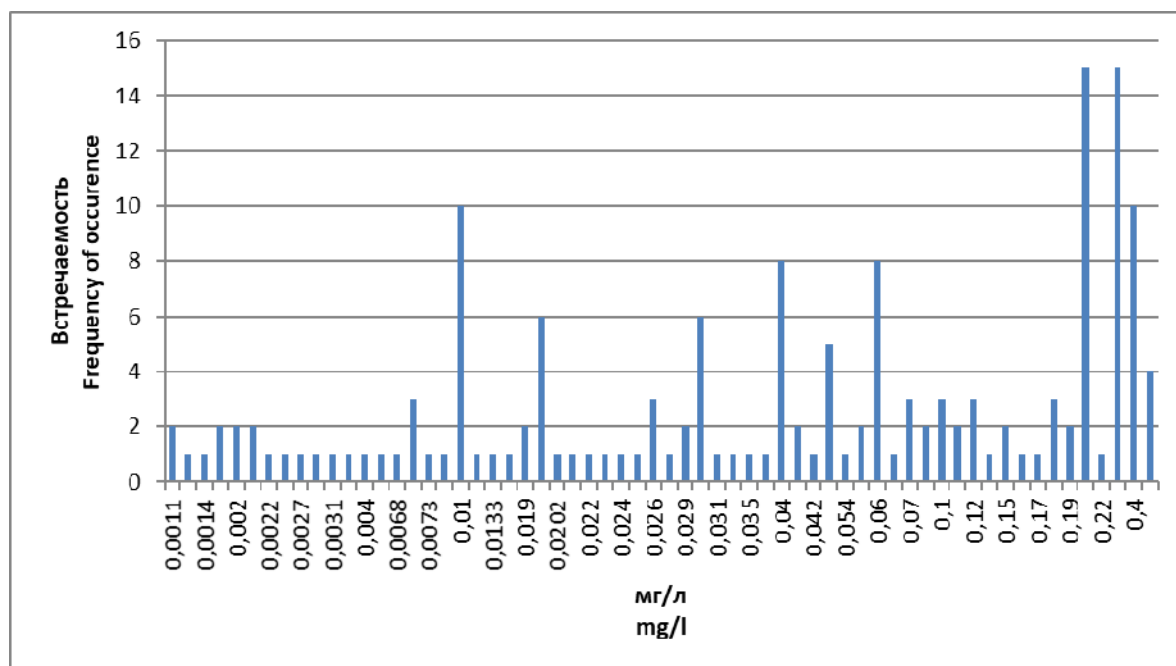


Рисунок 3. Содержание мышьяка в образцах питьевой воды в населенных пунктах Северного Дагестана (ГН – 0,01 мг/л)

Figure 3. Arsenic concentration in drinking water samples from Northern Dagestan districts (hygienic standard – 0.01 mg/L)

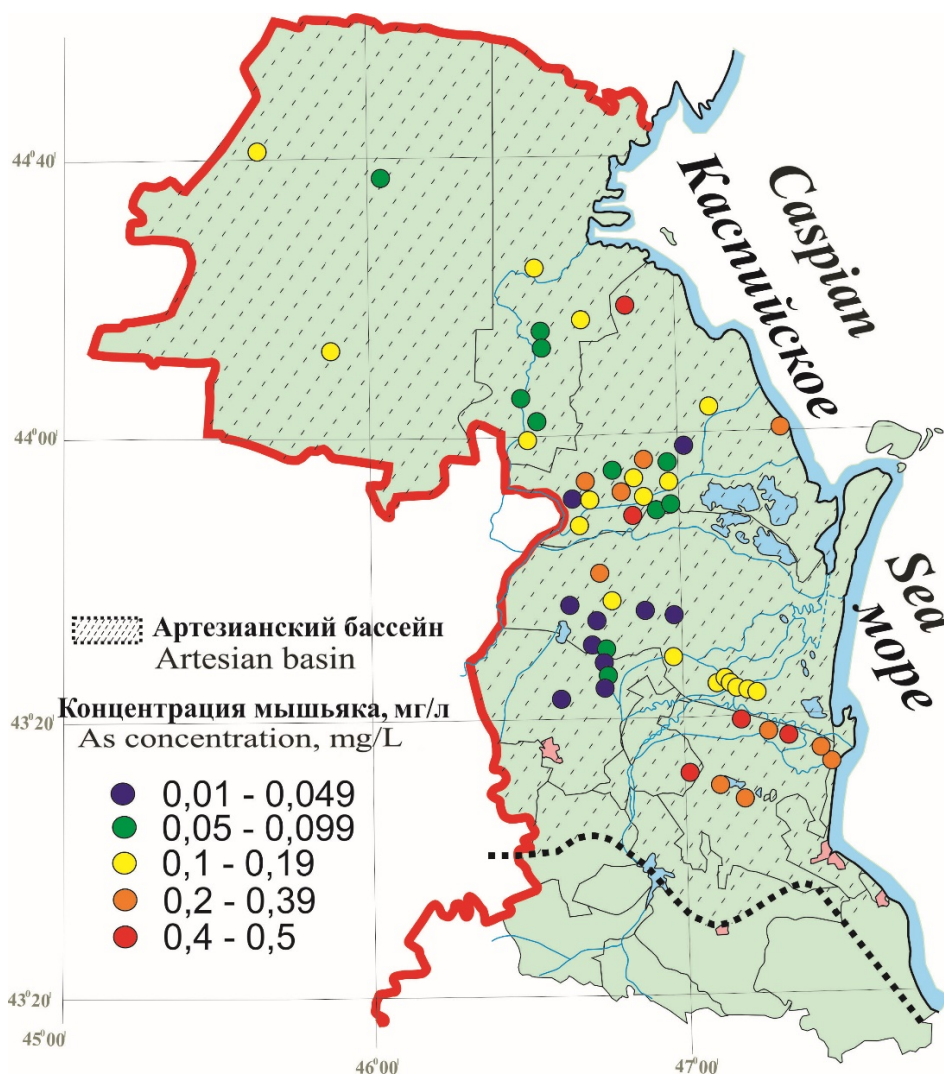


Рисунок 4. Пространственное распространение мышьяка на территории Северного Дагестана

Figure 4. Arsenic distribution in the Northern Dagestan area

Таблица 1. Содержание мышьяка в питьевой воде из подземных источников водоснабжения и численность экспонированного населения**Table 1.** Arsenic contamination in groundwater used for drinking and the exposed population

№	Содержание мышьяка в питьевой воде, мг/л (ГН 0,01мг/л) Arsenic contamination in drinking water, mg/L (Hygienic standard 0,01 mg/L)	Частота распределения концентраций мышьяка, % Frequency of arsenic occurrence in water samples, %	Численность экспонированного населения, тыс. чел. Exposed population, thousand people	Доля от общей численности населения исследованных районов Северного Дагестана (309,7 тыс. чел.), % Percentage of total exposed population (309.7 thousand people) in North Dagestan
1	0,01–0,04	15,8	167134	53,9
2	0,05–0,09	24,7	16985	5,5
3	0,1–0,19	36,8	108147	34,9
4	0,2–0,3	17,9	9023	2,9
5	0,4–0,5	4,8	8444	2,8
	0,01–0,5	100	309733	100

Таблица 2. Индивидуальные канцерогенные риски**Table 2.** Individual cancer risks

№	Концентрация As (C), мг/л As concentration (C), mg/L			Индивидуальные канцерогенные риски, ICR Individual cancer risks, ICR		
	C min	C max	C сред. C, medium	ICR min	ICR max	ICR, среднее значение ICR, medium
1	0,01	0,04	0,025	4,29E-04	1,71E-03	1,07E-03
2	0,05	0,09	0,07	2,14E-03	3,86E-03	3,00E-03
3	0,1	0,19	0,14	4,29E-03	8,14E-03	6,00E-03
4	0,2	0,3	0,25	8,57E-03	1,29E-02	1,07E-02
5	0,4	0,5	0,4	1,71E-02	2,14E-02	1,71E-02

Примечание: ICR min – индивидуальный дополнительный канцерогенный риск при указанной минимальной концентрации мышьяка в питьевой воде; ICR max – индивидуальный дополнительный канцерогенный риск при указанной максимальной концентрации мышьяка в питьевой воде; ICR сред. – индивидуальный дополнительный канцерогенный риск при среднем значении содержания мышьяка в питьевой воде
 Note: ICR min – individual cancer risk (As content – 0.01 mg/L); ICR max – individual cancer risk (As content – 0.5 mg/L); ICR medium – individual cancer risk (As content – 0.09 mg/L)

При содержании мышьяка в питьевой воде до 0,2 мг/л, что в 20 раз превышает допустимый гигиенический норматив, индивидуальный канцерогенный риск находится на уровне 10^{-3} , свыше 0,2 мг/л – на уровне 10^{-2} . Согласно классификации уровней рисков, величины индивидуальных рисков находятся на уровне, недопустимом для населения.

Кроме того, учитывая численность проживающего на исследуемой территории населения, были рассчитаны популяционные канцерогенные риски для выделенных субпопуляций в виде ожидаемого числа дополнительных случаев онкологических заболеваний в год. Полученные результаты расчёта популяционных канцерогенных рисков позволяют выявить субпопуляции с высоким и низким уровнями рисков. Для субпопуляции численностью 108 тысяч человек, проживающей на территории с содержанием мышьяка в питьевой воде в 10–19 раз выше допустимого уровня, характерен наибольший популяционный канцерогенный риск, который составляет от 7 до 13 дополнительных случаев рака в год в данной популяции. Низкие показатели популяционных канцерогенных рисков (примерно 1 случай рака в год) характерны для субпопуляции, численностью около 17 тыс. человек и потребляющей воду с содержанием мышьяка выше допустимого уровня в 5–9 раз.

Следует также отметить, что при сохраняющихся условиях экспозиции (содержание мышьяка в питьевой

воде 0,01–0,5 мг/л) популяционные канцерогенные риски для населения численностью 309,7 тыс. человек при наиболее низких и высоких концентрациях составят от 2 до 95 дополнительных случаев рака в год. Общий популяционный канцерогенный риск для населения исследуемых районов при средней концентрации мышьяка (0,19 мг/л) в питьевой воде составит 36 дополнительных случаев заболеваний в год. Фактически численность населения Северного Дагестана, потребляющего питьевую воду с высоким содержанием мышьяка, значительно выше, и при экстраполяции данных на всё население популяционные риски также будут на порядок выше.

Таким образом, расчет канцерогенных рисков показал, что исследованные питьевые воды в гидрогеохимической провинции на территории Северного Дагестана, при условии их постоянного длительного использования формируют высокие уровни канцерогенного риска [26; 27] для здоровья населения.

Проведенные исследования питьевых подземных вод позволили разработать ряд практических рекомендаций о проведении следующих мероприятий:

1) организационных и санитарно-технических:

- мониторинг качества питьевых вод;
- проведение углубленных эпидемиологических исследований в районах гидрогеохимической аномалии;

- инвентаризация существующих артезианских скважин и организация их зон санитарной охраны;
- обеспечение кранового режима эксплуатации самоизливающихся артезианских скважин;
- разработка технологий очистки питьевых вод от токсичных компонентов, оптимальных для региональных особенностей территории, эффективных, экономически выгодных и удобных в эксплуатации для больших групп населения;

2) медико-биологических:

- повышение квалификации медицинских работников по клинике и ранней диагностике заболеваний, вызванных избытком и дефицитом, поступающих с питьевой водой компонентов;
- оказание консультативной помощи населению;
- проведение профилактических медосмотров населения (в первую очередь, групп повышенного риска) с применением лабораторного обследования и метода биомониторинга для подтверждения заболеваний, вызванных воздействием токсичных компонентов;
- изучение и применение медицинских препаратов с использованием хелатирующей и/или антиоксидантной терапии, повышающих адаптационные возможности организма.

3) по работе с населением через информирование о возможных рисках для здоровья:

- распространение информации среди экспонируемого населения об источниках поступления токсичных компонентов и возможных последствиях его воздействия;
- организация мероприятий по пропаганде здорового образа жизни, усилению мотивации населения к сохранению собственного здоровья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным результатам, можно сделать следующие выводы:

- подземные воды горных районов Республики Дагестан в основном соответствуют гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству питьевой воды. В некоторых населенных пунктах выявлены повышенные значения жесткости (до 14). В 90% образцах питьевой воды выявлен дефицит йодидов. Использование населением подземных вод для питьевых целей в горных районах возможно с предварительным проведением соответствующих мероприятий по смягчению воды и профилактических мероприятий среди населения, связанных с восполнением дефицита йода.
- подземные воды равнинных районов не соответствуют гигиеническим требованиям по содержанию мышьяка, кадмия и фенолов. Канцерогенные риски для населения, вызванные длительным потреблением этих вод в питьевых целях, находятся на уровне, недопустимом для населения, следовательно, необходимо проведение целевых мероприятий по очистке от мышьяка и других загрязняющих компонентов, либо поиска альтернативных источников водоснабжения.

Полученные в ходе данного исследования результаты и разработанные рекомендации подтверждают актуальность проблемы изучения качества питьевых подземных вод на территории республики и свидетельствуют о перспективности более детальных

исследований оценки воздействия некоторых токсичных компонентов на здоровье населения [28; 29].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Schreiber M.E. Chapter 20 – Arsenic in groundwater in the United States: research highlights since 2000, current concerns and next steps // Global Groundwater. 2021. P. 275–299. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00020-7>
2. Arshad I., Umar R. Chapter 19 – Urban Groundwater Pollution: Causes, impacts and mitigation // Current Directions in Water Scarcity Research. 2022. V. 5. P. 379–397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85378-1.00019-2>
3. Mukherjee A., Scanlon Bridget R., Aureli A. Et al. Global Groundwater, Elsevier. 2021. P. v-xvii, p. 627, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00048-7>
4. Димакова Н.А., Шарапов Р.В. Проблема загрязнения подземных вод // Современные наукоемкие технологии. 2013. N 2. С. 79–82.
5. Григорюк Е.Н. Влияние сточных вод химической промышленности на водные ресурсы округа Муром Владимирской области // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. N 2. С. 20–22.
6. Ошкин М.И., Полозова И.А., Голубева Ю.С., Желтобрюхов В.Ф. Геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические исследования на участке расчистки русла реки Медведицы // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. N 2. С. 22–25.
7. Шарапов Р.В. Глобальные экологические катастрофы: миф или реальность? // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. N 1. С. 14–16.
8. Шойгу С.К. и др. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации. М.: Издательство «Феория», 2011 г. Карта воды России. URL: <http://watermap.zdorovieinfo.ru/karta-zagraznenii-pdk?zoom=4&page=1&CenterX=47.726749&CenterY=58.759918#20>. (дата обращения: 14.01. 2023)
9. Качество подземных вод России и их загрязнение. URL: <http://www.protown.ru/information/hide/2832.html> (дата обращения: 14.01. 2023)
10. Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 г.». М.: 2022. Вып.45. 415с. URL: <https://geomonitoring.ru/download/IB/2021.pdf> (дата обращения: 10.02. 2023)
11. Кондаков В.М., Газалиев И.М., Курбанова Л.М., Курбанисмаилова А.С., Гусейнова А.Ш. Прогнозно-эксплуатационные ресурсы подземных вод в Предгорном Дагестане // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. N 2(91). С. 94–101.
12. Эколого-геохимические особенности подземных вод Северо-Восточного Кавказа (Дагестан). Природные и антропогенные факторы загрязнения: отчет о НИР (итоговый) /ин-т геологии ДФИЦ РАН; рук. Газалиев И.М.; исполн.: Абдулмуталимова Т.О. [и др.]. Махачкала, 2022. 138 с.
13. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алишаев М.Г., Рамазанов А.Ш., Рамазанов М.М. Освоение геотермальной энергии. Под ред. Академика РАН В.Е. Фортова. М.: Физматлит, 2022. 318 с.
14. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А. Комплексное использование низкопотенциальных термальных вод юга России для тепло-, водоснабжения и решения экологических проблем // Теплоэнергетика. 2019. N 5. С. 82–88.
15. Газалиев И.М., Самедов Ш.Г. Качественные показатели подземных вод горного Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2021. N 3(86). С. 33–49. DOI: 10.33580/2541-9684-2021-86-3-33-49
16. Магдиев А.М., Абдуллаев М.Ш., Гафуров М.М., Амиров А.М., Кубатаев З.Ю. Химический анализ питьевых вод Дагестана (горные районы). Махачкала: АЛЕФ, 2019. 154 с.

17. Абдуллаев М.Ш., Магдиев А.М., Гафуров М.М., Кубатаев З.Ю., Ахмедов А.М. Физико-химический анализ питьевых вод в некоторых горных районах Дагестана // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*. 2018. Т. 12. N 1. С. 5–9.
18. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. Санитарные правила. СП 2.1.5.1059-01. М.: МЗ РФ. 2001. 14 с.
19. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.4.1274-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества (пер. N 3011). М.: Госкомсанэпиднадзор России. 2001. 62 с.
20. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (пер. N 62296). М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2021. 1025 с.
21. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный Центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2004. 143 с.
22. Toxicological profile for arsenic. U.S. department of health and human services public health service agency for toxic substances and disease registry. Atlanta, Georgia. 2007. 559 p.
23. Абдулмутаимова Т.О., Рамазанов О.М., Кунжуева К.Г. Результаты мониторинга качества питьевых подземных вод в Республике Дагестан // В сборнике: Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов. Материалы VI Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы» и XII школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени Э.Э. Шпиляйна. Махачкала, 2020. С. 489–493.
24. Абдулмутаимова Т.О., Курбанова Л.М., Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С. Особенности питьевого водоснабжения в аридной зоне Республики Дагестан // *Аридные экосистемы*. 2017. Т. 23. N 1 (70). С. 93–97.
25. Курбанова Л.М., Самедов Ш.Г., Газалиев И.М., Абдулмутаимова Т.О. Мышьяк в подземных водах Северо-Дагестанского артезианского бассейна // *Геохимия*. 2013. N 3. С. 262. DOI: 10.7868/S0016752513030047
26. Абдулмутаимова Т.О. Оценка канцерогенного риска здоровью населения при использовании подземных вод с высоким содержанием мышьяка в качестве источников питьевого водоснабжения на примере Республики Дагестан // *Токсикологический вестник*. 2019. N 6 (159). С. 39–44.
27. Абдулмутаимова Т.О., Ревич Б.А., Газалиев И.М. Мышьяк в питьевых артезианских водах Северного Дагестана и риски здоровью населения // *Разведка и охрана недр*. 2018. N 1. С. 37–40.
28. Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А., Сараева И.В., Алхасов А.Б., Рамазанов О.М., Ахмедов М.И. Решение экологических проблем при комплексном использовании геотермальных минерализованных вод Северного Дагестана // *Юг России: экология, развитие*. 2016. Т. 11. N 4. С. 129–138. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2016-4-129-138>
29. Алхасов А.Б., Бадавов Г.Б., Белан С.И., Нинаналов С.А. Использование возобновляемых источников энергии в Республике Дагестан // *Региональные проблемы преобразования экономики*. 2015. N 9 (59). С. 36–42.
30. Arshad I., Umar R. Urban Groundwater Pollution: Causes, impacts and mitigation. *Current Directions in Water Scarcity Research*, 2022, vol. 5, pp. 379–397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85378-1.00019-2>
31. Mukherjee A., Scanlon Bridget R., Aureli A. *Global Groundwater: source, scarcity, sustainability, security, and solutions*. 2020, P. v-xvii, 676 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00048-7>
32. Dimakova N.A., Sharapov R.V. The problems of groundwaters pollution. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern sciences technology]. 2013, no. 2, pp. 79–82. (In Russian)
33. Grigoryuk E.N. The impact of wastewater of chemical industry on water resources of Murom district of Vladimir region. *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Engineering and life safety]. 2012, no. 2, pp. 20–22. (In Russian)
34. Oshkin M.I., Polozova I.A., Golubeva Ju.S., Zheltobryuhov V.F. Geological, hydrogeological and geoengineering researches on the riverbed area Medvedicy. *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Engineering and life safety]. 2011, no. 2, pp. 22–25. (In Russian)
35. Sharapov R.V. Global ecological disasters: mif or reality? *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Engineering and life safety]. 2011, no. 1, pp. 14–16. (In Russian)
36. Shojgu S.K. et al. *Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychaynykh situatsii v Rossiiskoi Federatsii* [The map of nature and technogenic disasters and risks of emergencies in Russian Federation]. Available at: <http://watermap.zdorovieinfo.ru/karta-zagraznenii-pdk?zoom=4&page=1&CenterX=47.726749&CenterY=58.759918#20> (accessed 14.01.2023)
37. *Kachestvo podzemnykh vod Rossii i ikh zagryaznenie* [The quality of groundwater in Russia and its pollution]. Available at: <http://www.protown.ru/information/hide/2832.html> (accessed 14.01.2023)
38. *Informatsionnyi byulleten' «O sostoyanii nedr na territorii Rossiiskoi Federatsii v 2021 g.»* [Bulletin of information «About subsoil situation in Russian Federation in 2021»]. 2022, iss. 45, 415 p. Available at: <https://geomonitoring.ru/download/IB/2021.pdf> (accessed 10.02.2023)
39. Kondakov V.M., Gazaliev I.M., Kurbanova L.M., Kurbanismailova A.S., Guseynova A.Sh. Prognosis and using resources of groundwater in foothill area of Daghestan. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2022, vol. 28, no. 2(91), pp. 94–101. (In Russian)
40. Gazaliev I.M. *Ekologo-geokhimicheskie osobennosti podzemnykh vod Severo-Vostochnogo Kavkaza (Dagestan). Prirodnye i antropogennye faktory zagryazneniya: otchet o NIR (itogovyi)* [Ecological and geochemical particularities of groundwater in North-East Caucasus (Daghestan). Nature and technogenic factors of pollution: final report]. Makhachkala, 2022, 138 p. (In Russian)
41. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A., Alishaev M.G., Ramazanov A.Sh., Ramazanov M.M. *Razvitie geotermalnoy energii* [The geothermal energy development]. 2022, 318 p. (In Russian)
42. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A. Comprehensive using of low-potential thermal water in South of Russia for ecological problems solving. *Teploenergetika* [Heat engineering]. 2019, no. 5, pp. 82–88. (In Russian)
43. Gazaliev I.M., Samedov Sh.G. The quality indicators of groundwater of Mountain Daghestan. *Proceedings of the Institute of geology of Daghestan state scientific center of Russian Academy of Sciences*, 2021, no. 3(86), pp. 33–49. (In Russian) DOI: 10.33580/2541-9684-2021-86-3-33-49
44. Magdiev A.M., Abdullaev M.Sh., Gafurov M.M., Amirov A.M., Kubataev Z.Ju. *Khimicheskii analiz pit'evykh vod Dagestana (gornye raiony)* [Chemical analyze of drinking water in Daghestan (mountain districts)]. Makhachkala, ALEF Publ., 2019, 154 p. (In Russian)
45. Abdullaev M.Sh., Magdiev A.M., Gafurov M.M., Kubataev Z.Yu., Akhmedov A.M. Physical and chemical analyses of drinking

REFERENCES

1. Schreiber M.E. Arsenic in groundwater in the United States: research highlights since 2000, current concerns and next steps. *Global Groundwater*, 2021, pp. 275–299. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00020-7>

water in some mountain districts in Daghestan. Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki [News of Daghestan state pedagogical university. Nature and exact sciences]. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 5–9. (In Russian)

18. *Gigienicheskie trebovaniya k okhrane podzemnykh vod ot zagryazneniya. Sanitarnye pravila SP 2.1.5.1059-01* [Hygienic requirements for the protection of groundwater from pollution. Sanitary rules. SP 2.1.5.1059-01]. Moscow, Ministry of health of Russian Federation Publ., 2001, 14 p. (In Russian)

19. *Sanitarnye pravila i normy. SanPiN 2.1.4.1274-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva*. [SanPiN 2.1.4.1274-01. Sanitary rules and standards. Drinking water. Hygienic requirements to drinking water supply quality. Quality control]. Moscow, State Committee of Sanitary and Epidemiological Supervision Publ., 2001, 62 p. (In Russian)

20. *Sanitarnye pravila i normy SanPiN 1.2.3685-21 "Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya"*. [SanPiN 1.2.3685-21. Sanitary rules and standards. Hygienic standards and requirements to human safety from environmental factors]. Moscow, State Committee of Sanitary and Epidemiological Supervision Publ., 2021, 1025 p. (In Russian)

21. *Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu. P 2.1.10.1920-04* [Human health risk assessment from environmental chemicals. P 2.1.10.1920-04]. Moscow, Federal Center of State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of the Russian Federation Publ., 2004, 143 p. (In Russian)

22. Toxicological profile for arsenic. U.S. department of health and human services public health service agency for toxic substances and disease registry. Atlanta, Georgia, 2007, 559 p.

23. Abdulmutalimova T.O., Ramazanov O.M., Kunzhueva K.G. Rezul'taty monitoringa kachestva pit'evykh podzemnykh vod v

Respublike Dagestan [The results of drinking groundwaters quality monitoring]. *Materialy VI Mezhdunarodnoi konferentsii «Vozobnovlyаемая энергетика: проблемы и перспективы» i XII shkoly molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy osvoeniya vozobnovlyаемykh energoresursov» imeni E.E. Shpil'rainy. Makhachkala, 2020* [Materials of VI International conference «Renewable energy: problems and perspectives». Mahachkala, 2020]. Mahachkala, 2020, pp. 489–493. (In Russian)

24. Abdulmutalimova T.O., Kurbanova L.M., Gusejnova A.Sh., Kurbanismailova A.S. Features of drinking water supply in arid zone of Daghestan. Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2017, vol. 23, no. 1 (70), pp. 93–97. (In Russian)

25. Kurbanova L.M., Samedov Sh.G., Gazaliev I.M., Abdulmutalimova T.O. Arsenic I groundwater of North Daghestan artesian basin. *Geochemistry*, 2013, no. 3, pp. 262. (In Russian) DOI: 10.7868/S0016752513030047

26. Abdulmutalimova T.O. Cancer risks assessment of using for drinking groundwater with high arsenic content in Daghestan. Toksikologicheskii vestnik [Toxicological bulletin]. 2019, no. 6 (159), pp. 39–44. (In Russian)

27. Abdulmutalimova T.O., Revich B.A., Gazaliev I.M. Arsenic in artesian water used for drinking by population in North Daghestan and human health risks. Razvedka i okhrana nedr [Exploration and subsoil guard]. 2018, no. 1, pp. 37–40. (In Russian)

28. Ramazanov A.Sh., Kasparova M.A., Saraeva I.V., Alhasov A.B., Ramazanov O.M., Ahmedov M.I. Ecological problems solving with complex using of geothermal mineralized water of North Daghestan. *South of Russia: ecology, development*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 129–138. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2016-4-129-138>

29. Alhasov A.B., Badavov G.B., Belan S.I., Ninalalov S.A. Renewable energy sources using in Dagestan republic. Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki [Regional problems of economy improvement]. 2015, no. 9 (59), pp. 36–42. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Омари М. Рамазанов, Иса М. Газалиев разрабатывали план статьи, маршрут полевых исследований, проводили отбор образцов питьевой воды. Алибек Б. Алхасов проанализировал полученные данные и разработал рекомендации; Тамила О. Абдулмуталимова рассчитала канцерогенные риски, разработала анкету для опроса населения с последующим проведением анкетирования и написала рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Omari M. Ramazanov and Isa M. Gazaliev developed the plan, road map of the study and collected water samples. Alibek B. Alhasov analysed data and gave final recommendations. Tamila O. Abdulmutalimova calculated cancer risks, developed the population exposure questionnaire, conducted interviews and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Тамила О. Абдулмуталимова / Tamila O. Abdulmutalimova <https://orcid.org/0000-0003-4743-6154>

Омари М. Рамазанов / Omari M. Ramazanov <https://orcid.org/0009-0008-6228-7795>

Алибек Б. Алхасов / Alibek B. Alhasov <https://orcid.org/0000-0001-5493-689X>

Иса М. Газалиев / Isa M. Gazaliev <https://orcid.org/0009-0006-6590-634X>

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.4;504.054

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112

Комплексный подход в оценке экологического состояния городских парковых почв

Светлана Г. Скугорева¹, Людмила И. Домрачева^{1,2}, Анна И. Фокина³, Татьяна И. Кутявина³, Олим М. Абдухалилов⁴, Василий Н. Кулаков³, Тамара Я. Ашихмина^{1,3}

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

²Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

³Вятский государственный университет, Киров, Россия

⁴Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия

Контактное лицо

Светлана Г. Скугорева, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник, лаборатория биомониторинга, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН; 167982 Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28.

Тел. +79539412061

Email skugoreva@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Формат цитирования

Скугорева С.Г., Домрачева Л.И., Фокина А.И., Кутявина Т.И., Абдухалилов О.М., Кулаков В.Н., Ашихмина Т.Я. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских парковых почв // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 102-112. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112

Получена 20 октября 2021 г.

Прошла рецензирование 12 февраля 2022 г.

Принята 6 сентября 2022 г.

Резюме

Цель. Оценить экологическое состояние почв парковых территорий и сквера г. Кирова (Кировская область), находящихся вблизи зон интенсивного транспортного движения, с использованием комплексного подхода, базирующегося на данных физико-химического, микробиологического анализов и биотестирования.

Материал и методы. Образцы почв отбирали на участках в сквере 60-летия СССР, парке им. С.М. Кирова, парке им. 50-летия ВЛКСМ. Концентрацию неорганических ионов и содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах определяли методом ионной и высокоэффективной жидкостной хроматографии соответственно, валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) – атомно-абсорбционной спектроскопией. Количественный учет микроорганизмов проводили методом предельных разведений с последующим посевом на селективные питательные среды. Биотестирование осуществляли с использованием простейших *Paramecium caudatum* и бактериальной тест-системы «Эколюм».

Результаты. Изучены особенности ионного состава почв парков г. Кирова. В водной вытяжке исследуемых почв из анионов преобладали сульфат- и хлорид-ионы, из катионов – ионы кальция. Среди исследованных групп микроорганизмов на лидирующие позиции выходят бактерии-аммонификаторы, доля которых в микробном комплексе достигает 65,35–86,54%. Между содержанием элементов питания и численностью аммонификаторов существует тесная взаимосвязь. Валовые концентрации ТМ в образцах почв парков г. Кирова не превышали их ориентировочно допустимые концентрации, в то же время содержание Pb, Zn и Co было выше регионального фона до 3,1 раза. Наибольшим содержанием ПАУ, максимальными значениями суммарной канцерогенной активности и токсичностью по ответной реакции *P. caudatum* характеризовались почвенные образцы, отобранные на участках вблизи автодорог.

Заключение. Экологическое состояние городских парковых почв в целом можно охарактеризовать как удовлетворительное. Тем не менее, для парковых почв в непосредственной близости от автодорог выявлены повышенные значения концентрации ПАУ. Определение содержания ПАУ в почвах может быть рекомендовано для включения в программу мониторинга окружающей среды в городах, в связи с устойчивостью ПАУ в окружающей среде, их мутагенными и канцерогенными свойствами, отсутствием нормативов по содержанию большинства из них в природных средах.

Ключевые слова

г. Киров, парки, скверы, почвы, тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, численность микроорганизмов, биотестирование.

An integrated approach to assessing the ecological state of urban park soils, Kirov, Russia

Svetlana G. Skugoreva¹, Lyudmila I. Domracheva^{1,2}, Anna I. Fokina³, Tatiana I. Kutyavina³,
Olim M. Abdukhalilov⁴, Vasily N. Kulakov³ and Tamara Ya. Ashikhmina^{1,3}

¹Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

²Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

³Vyatka State University, Kirov, Russia

⁴N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Principal contact

Svetlana G. Skugoreva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Researcher, Biomonitoring Laboratory, Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 28 Kommunisticheskaya St, Syktyvkar, Russia 167982.

Tel. +79539412061

Email skugoreva@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

How to cite this article

Skugoreva S.G., Domracheva L.I., Fokina A.I., Kutyavina T.I., Abdukhalilov O.M., Kulakov V.N., Ashikhmina T.Ya. An integrated approach to assessing the ecological state of urban park soils, Kirov, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 102-112. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112

Received 20 October 2021

Revised 12 February 2022

Accepted 6 September 2022

Abstract

Aim. Assess the ecological state of soils in park areas and public gardens in the city of Kirov, Kirov region, Russia, which are located near areas of heavy traffic, using an integrated approach based on data from physicochemical, microbiological analyzes and biotesting.

Material and Methods. Soil samples were taken at various sites in the 60th Anniversary of the USSR Square, in the S.M. Kirov Park and in the 50th Anniversary of the Komsomol Park. The concentration of inorganic ions and the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soils were determined by ionic and high-performance liquid chromatography, respectively. The total content of heavy metals (HM) was determined by atomic absorption spectroscopy. Quantitative registration of microorganisms was carried out by the method of limiting dilutions with subsequent inoculation on selective nutrient media. Biotesting was carried out using the protozoa *Paramecium caudatum* and the Ecolum bacterial test system.

Results. The features of the ionic composition of soils in Kirov parks were studied. In the aqueous extract of the studied soils, sulphate and chloride ions predominated among anions, and calcium ions among cations. Among the groups of microorganisms studied, ammonifying bacteria take the leading positions, the share of which in the microbial complex reaches 65.35–86.54%. There is a close relationship between the content of nutrients and the number of ammonifiers. The gross concentration of HMs in soil samples from parks in Kirov did not exceed their approximate permissible concentration, while the content of Pb, Zn, and Co was up to 3.1 times higher than the regional background. The highest content of PAHs, maximum values of total carcinogenic activity and toxicity to *P. caudatum* were found in soil samples taken from areas near highways.

Conclusion. The ecological state of urban park soils in Kirov in general can be characterised as satisfactory. Nevertheless, for park soils in the immediate vicinity of highways, increased values of PAH concentration were revealed. Determination of the PAH content in soils can be recommended for inclusion in the environmental monitoring programme in cities because of the persistence of PAHs in the environment, their mutagenic and carcinogenic properties, and the lack of standards for the content of most PAHs in natural environments.

Key Words

Kirov, parks, squares, soils, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, the number of microorganisms, bioassay.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы процесс урбанизации все больше наращивает свои темпы. По прогнозам демографов к 2030 г. городские жители составят 60% от общего населения планеты, а к 2050 г. – 72% [1]. Занимая всего 2% суши, города потребляют три четверти мировых ресурсов и оказывают решающее воздействие на окружающую среду (ОС). Формирование устойчивой, экологически безопасной городской среды в значительной степени определяет качество жизни людей [2].

Почва – важная составляющая часть городских экосистем, обеспечивающая их очищение, нейтрализацию токсикантов, сохранность зеленых насаждений [3]. Почва – малоподвижная природная система, поэтому миграция поллютантов в ней происходит медленно, что приводит к их аккумуляции, особенно в верхних горизонтах [4]. К наиболее опасным для биоты поллютантам относятся соединения тяжелых металлов (ТМ) [5; 6] и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [7], обладающие высокой токсичностью, стойкостью и аккумуляцией в ОС.

Традиционно для оценки состояния почв используются физико-химические методы анализа, которые позволяют определять содержание различных веществ, сравнивать их с предельно (ПДК) и/или ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) и делать вывод о загрязнении. Однако такой подход не всегда эффективен: токсичных веществ много, а их совместное действие на живой организм не всегда можно предугадать.

Для качественной и эффективной оценки состояния почв необходимо использовать комплексный подход, сочетающий наряду с физико-химическими методами исследования биологические методы, такие как биоиндикацию и биотестирование. Интегральное влияние антропогенных факторов на экосистемы можно оценить только по реакции живых организмов и их сообществ. Чуткими индикаторами, резко реагирующими на различные изменения в среде, являются микроорганизмы (МО). Биотестирование обычно проводят с использованием тест-организмов различных систематических групп [8].

В городах наибольшему техногенному воздействию подвергаются почвы вблизи промышленных предприятий, крупных автодорог и автозаправок [6; 9; 10]. Парки и скверы, как правило, не подвергаются сильному загрязнению, однако вблизи автодорог они могут испытывать достаточно сильную техногенную нагрузку.

В последние годы неоднократно проводилось исследование химического и микробиологического состава почв различных парков, садов и скверов г. Кирова, в том числе как самых старых, существующих с начала позапрошлого столетия, так и совсем новых, возраст которых не превышает 15 лет [9; 11–14].

Цель данной работы – оценить экологическое состояние почв парковых территорий и сквера г. Кирова, находящихся вблизи зон интенсивного транспортного движения, с использованием комплексного подхода, базирующегося на данных физико-химического, микробиологического анализов и биотестирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы почв отбирали в октябре 2020 г. методом конверта из верхних горизонтов почв с глубины 0–5 см в парках и сквере г. Кирова. Участки П1 и П2 находились в сквере 60-летия СССР вблизи ул. Карла Маркса и ул. Горбачева соответственно. В парке им. С.М. Кирова расположены участки П3 (вблизи ул. Горького) и П4 (в глубине парка рядом с прудами). В парке им. 50-летия ВЛКСМ находились участки: П5 – рядом с ул. Калинина, П6 – вблизи ул. Некрасова, П7 – в глубине парка. Данные парки и сквер расположены в центральной части города и являются местом отдыха кировчан и гостей города.

Водородный показатель определяли потенциометрическим методом на рН-метре-иономере «Эксперт-001» для водной вытяжки из почв по ГОСТ 26423-85, для солевой вытяжки – по ГОСТ 26483-85. Концентрацию неорганических ионов в почвенной вытяжке (почва : дистиллированная вода = 1 : 5) определяли методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» по ФР.1.31.2008.01738 и ФР.1.31.2008.01724. Затем пересчитывали концентрацию ионов на их содержание в сухой почве с учетом влажности. Определение валового содержания ТМ в почвенных образцах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Спектр-5-4» по ФР.1.31.2018.31189. Погрешность измерений содержания ионов и элементов составила 10–20%.

Содержание ПАУ в урбаногемах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе «Люмахром» по МУК 4.1.1274-03.

Расчет канцерогенной активности суммы ПАУ $A_{\sum \text{ПАУ}}^k$ проводили по формуле [15]:

$$A_{\sum \text{ПАУ}}^k = \sum_{i=1}^m K_{\text{ПАУ}_i} \cdot C_{\text{ПАУ}_i},$$

где $K_{\text{ПАУ}_i}$ – коэффициент канцерогенной активности i-ого ПАУ относительно бенз[а]пирена; $C_{\text{ПАУ}_i}$ – концентрация i-ого ПАУ в почве, выраженная в абсолютных единицах (мкг/кг); m – число ПАУ.

Для учета численности трех групп МО бактерий-аммонификаторов, азотфиксаторов и микромицетов использовали плотные питательные среды соответственно: ГРМ-агар, Эшби и Чапека. Глубинный посев проводили из разведений 1 : 1000 в трехкратной повторности.

Оценку токсичности образцов почв проводили методом биотестирования с использованием двух тест-организмов различных таксономических групп: простейших *Paramecium caudatum* (ФР.1.39.2015.19243 ПНД Ф Т 16.2:2.2-98) и бактериальной тест-системы «Эколюм», которая представляет собой лиофилизированные культуры люминесцентных бактерий *Escherichia coli* (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 Т 16.1:2:3:3.8-04).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание неорганических ионов. Все водные вытяжки имели слабощелочную и щелочную, солевые вытяжки – нейтральную и слабощелочную реакцию среды (рис. 1). Значения рН для солевой вытяжки исследованных почв (6,8–7,1) значительно выше сред-

него значения для почв г. Кирова (рН 5,4) [16]. Для городских почв смещение рН почвенной вытяжки в щелочную сторону может быть связано с поступлением пыли, содержащей взвешенные вещества, карбонаты кальция и магния, с применением антигололедных реагентов и т. п.

Для большинства образцов почв можно представить следующий ряд по снижению содержания

анионов: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{NO}_3^-$ (рис. 2). Исключение составил образец П6, отобранный под древесной растительностью в парке им. 50-летия ВЛКСМ со стороны ул. Некрасова: максимальные значения концентраций характерны для нитрат- и фосфат-ионов. При этом концентрация нитратов в данном образце превышает ПДК (130 мг/кг) (СанПиН 1.2.3685-21).

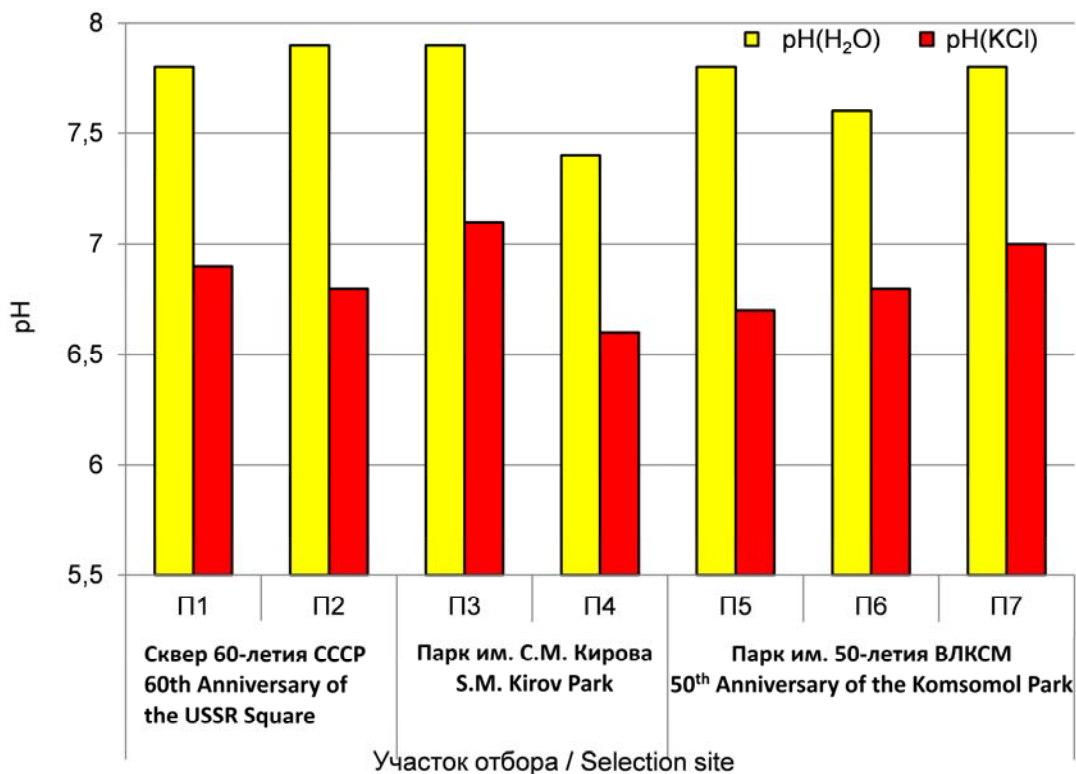


Рисунок 1. рН почвенной вытяжки

Figure 1. pH of soil extract

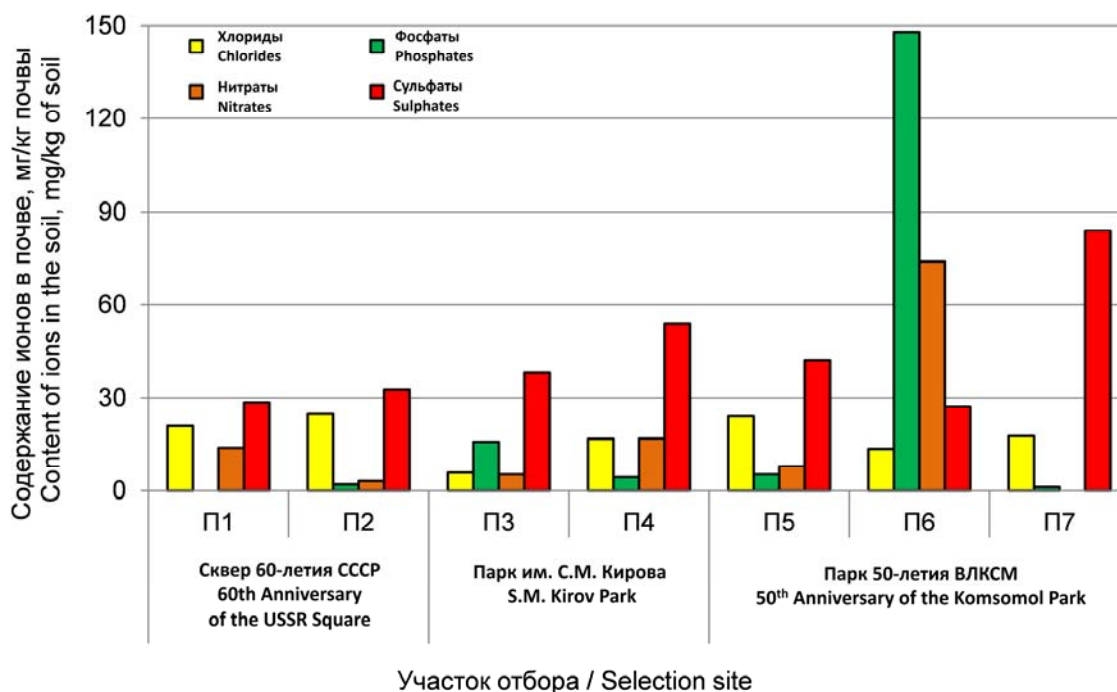


Рисунок 2. Содержание неорганических анионов в почве (водорастворимые формы), мг/кг почвы

Figure 2. Content of inorganic anions (water-soluble forms) in soil, mg/kg of soil

В большинстве образцов ионы аммония в водной вытяжке не были обнаружены (рис. 3). Для образцов П1, П2 и П3 содержание NH_4^+ составило 7,4–12,1 мг/кг почвы. Концентрация ионов кальция в образцах варьировала от 110 до 233 мг/кг, что несколько выше по сравнению со средними значениями для почв г. Кирова (108 мг/кг) [16]. При этом между значениями содержания Ca^{2+} и pH водной вытяжки существует достаточно высокая прямая корреляционная взаимосвязь ($r = 0,76$). Вероятно, что подщелачивание

почвенной вытяжки связано с повышенными концентрациями ионов кальция.

По результатам исследования для большинства исследуемых проб почв можно составить ряд по снижению содержания катионов: $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+$. Исключение в распределении ионов составили образцы П5, П6 из в парка им. 50-летия ВЛКСМ и образец П4 из парка им. Кирова. Данные образцы характеризуются повышенным содержанием Na^+ .

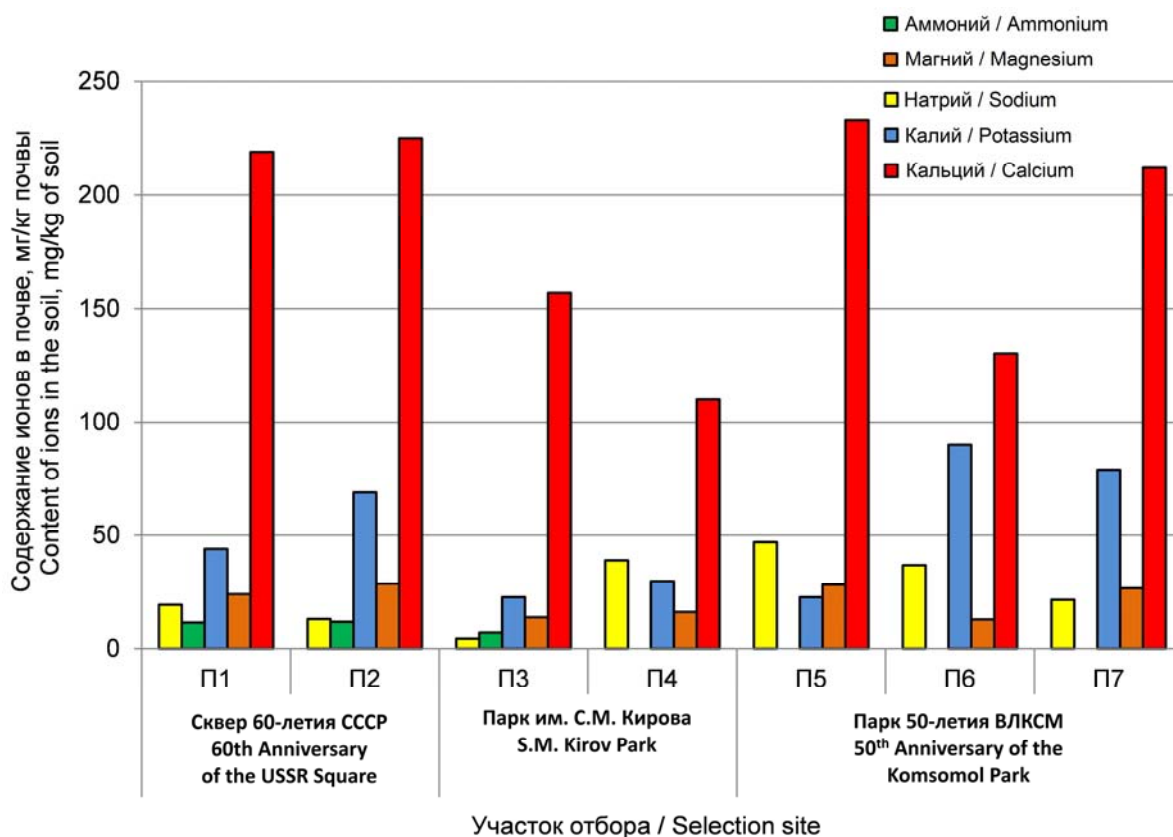


Рисунок 3. Содержание неорганических катионов (водорастворимые формы) в почве, мг/кг почвы
Figure 3. Content of inorganic cations (water-soluble forms) in the soil, mg/kg of soil

Образец П6, отобранный под древесными насаждениями парка им. 50-летия ВЛКСМ со стороны ул. Некрасова, характеризовался высоким уровнем содержания всех элементов питания (табл. 1). Высоким содержанием калия отличается образец П7, отобранный в этом же парке под травянистой расти-

тельностью, а также образцы П1 и П2 из сквера 60-летия СССР. Остальные образцы имеют низкую и очень низкую обеспеченность элементами питания [17]. В целом полученные значения по обеспечению калием и фосфором исследованных почв для растений очень близки к средним значениям для почв г. Кирова [16].

Таблица 1. Содержание элементов питания в почве, мг/кг почвы
Table 1. Content of nutrients in the soil, mg/kg of soil

Место отбора образца Sampling location	Участок отбора Selection site	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	K ₂ O _{подв.} K ₂ O _{mob.}	P ₂ O ₅ _{подв.} P ₂ O ₅ _{mob.}
Сквер 60-летия СССР 60th Anniversary of the USSR Square	П1	9,2	но	107***	41,2
	П2	9,4	0,46	166**	9,3
Парк им. С.М. Кирова S.M. Kirov Park	П3	5,8	3,5	54	15,5
	П4	но	0,96	73	50***
Парк им. 50-летия ВЛКСМ 50th Anniversary of the Komsomol Park	П5	но	1,18	55	23,3
	П6	но	34*	217*	221*
	П7	но	0,27	190*	но

Примечание: но – ниже предела обнаружения метода. Обеспеченность почвы элементом питания для растений [16]: * – высокая, ** – повышенная, *** – средняя [16]
 Note: но – below the detection limit of the method; * – high, ** – increased, *** – average supply of the soil with a nutrient for plants [16]

Содержание тяжелых металлов. Валовое содержание свинца в почвенных образцах варьировало от 5,5 до 25 мг/кг (рис. 4). Высокие значения, превышающие фон для почв Кировской области до 2,1 раза, были отмечены для почв парка им. 50-летия ВЛКСМ. Повышенное относительно регионального фона (12 мг/кг) [18] значение установлено также для образца П1, отобранного в сквере 60-летия СССР вблизи ул. Карла Маркса. Данный сквер представляет собой отреставрированный овраг в центре города, в который в весенний период с талыми водами и дождевыми осадками с городской территории, проезжих улиц поступают потоки загрязненных ливневых вод, содержащих в своем составе многие ТМ, в том числе и свинец, который зачастую содержится в выбросах автотранспорта и в составе уличных смывов накапливается в почвах вблизи автомагистралей. Не смотря на запрет использования этилированных бензинов, в бензине марок АИ-92, АИ-95 и дизельном топливе до сих пор обнаруживается свинец в концентрациях, превышающих ГОСТ 2084-77 в 4,6–15,4 раза [19].

Содержание кадмия в почве на разных участках варьировало от 0,20 до 0,41 мг/кг, что не превышало ОДК (2,0 мг/кг). Концентрация никеля составила 14–33 мг/кг почвы (рис. 4), что ниже значений ОДК (80 мг/кг) и регионального фона (33 мг/кг) [18]. Содержание цинка в образцах почв практически во всех случаях было выше регионального фона (55 мг/кг) в 1,7 раза. Источником загрязнения цинком городских почв могут быть выбросы автотранспорта, использующего цинкостойкие присадки; цинкостойкие краски, используемые в строительстве; гальванические производства, предприятия металлургической и топливной промышленности.

Концентрация кобальта во всех образцах почв была в 2,2–3,1 раза выше по сравнению с фоном (5,4 мг/кг) [18]. В почву соединения кобальта могут поступать при разложении растительных и животных организмов, а также со сточными водами металлургических, металлообрабатывающих и химических заводов [20].

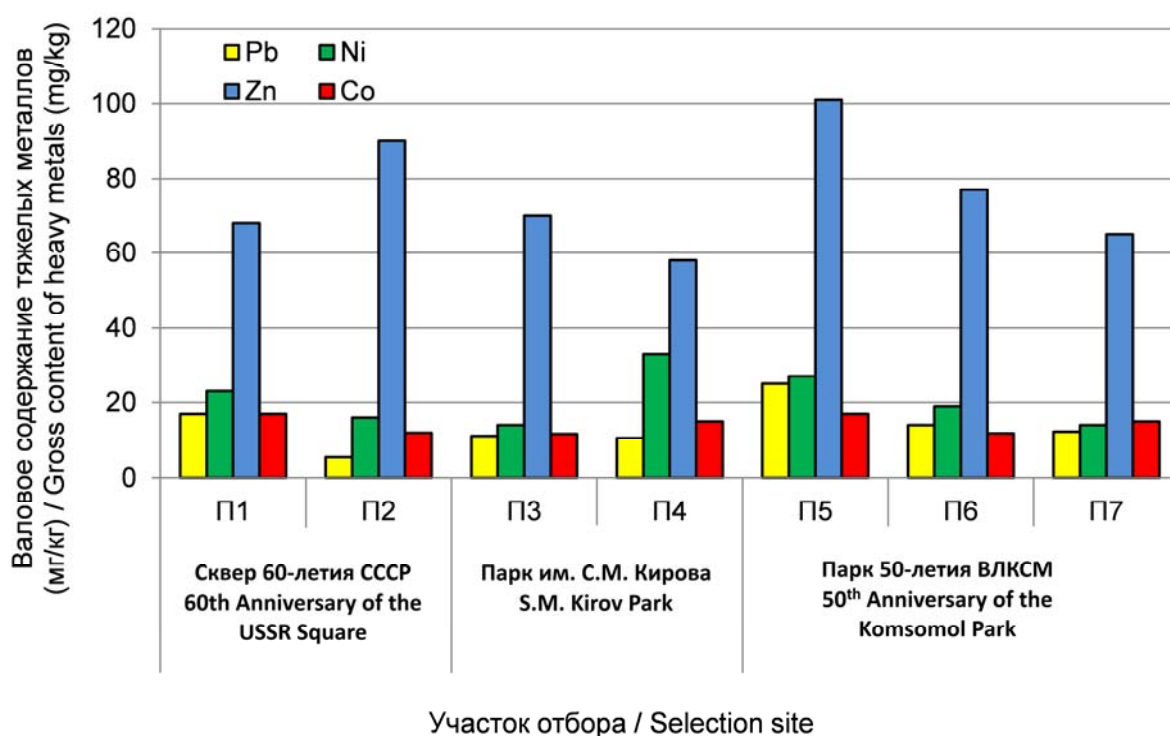


Рисунок 4. Валовое содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах парков г. Кирова
Figure 4. Gross content of heavy metals (mg/kg) in soils of parks in Kirov

Содержание ПАУ. Одним из антропогенных источников ПАУ является неполное сгорание топлива, в том числе автомобильного [19]. Бенз[а]пирен (БП) – токсикант 1 класса опасности, его ПДК в почве составляет 20 мкг/кг (СанПиН 1.2.3685-21). Бенз[а]пирен был обнаружен почти во всех пробах почв, за исключением П7 (рис. 5). Максимальным содержанием БП характеризовался образец почвы с участка П1 (6,3 мкг/кг), минимальным – образец П4 (1,7 мкг/кг). Во всех почвенных образцах содержание БП не превышало ПДК.

В почвенных образцах, отобранных на участках вблизи автотранспортных дорог (П1, П2, П3, П6), были идентифицированы все семь представителей ПАУ. Канцерогенная активность суммы ПАУ в почве на данных участках максимальна и колеблется от 9,7 до

10,6 мкг/кг, особенно высоки значения для сквера 60-летия СССР. Ранее было установлено, что в пробах родниковой воды, отобранных в данном сквере содержание бенз[а]пирена превышало ПДК в 2,9 раза, а канцерогенная активность (39,2 нг/дм³) была в 15–36 раз выше по сравнению с другими родниками в черте города [21]. Относительно благополучным по содержанию ПАУ является участок П5, в почве которого канцерогенная активность суммы ПАУ является минимальной (0,35 мкг/кг), а также участки П4 и П7 (1,7 мкг/кг).

По сравнению с участками вблизи ТЭЦ-5 г. Кирова [22] в почвах исследованных парков и в сквере г. Кирова содержание ПАУ было не высоко.

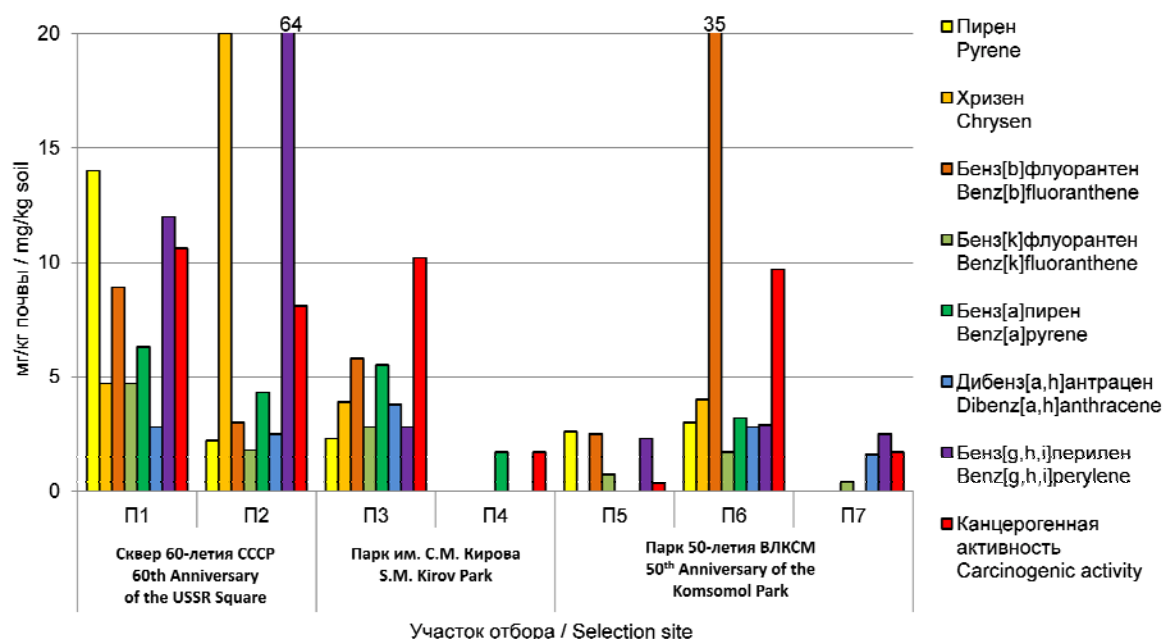


Рисунок 5. Содержание ПАУ и канцерогенная активность суммы ПАУ в почвах парков г. Кирова

Рисунок 5. Content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and carcinogenic activity of major PAH in the soils of parks in Kirov

Микробиологический анализ почв. Минимальная численность МО характерна для почв парка им. Кирова (рис. 6). Наибольшее обилие МО отмечалось в почвах парка им. 50-летия ВЛКСМ, при этом на участках,

расположенных в различных частях парка, численность МО варьировала в широких пределах: от 463 тыс. до 1713 тыс. КОЕ/г почвы.

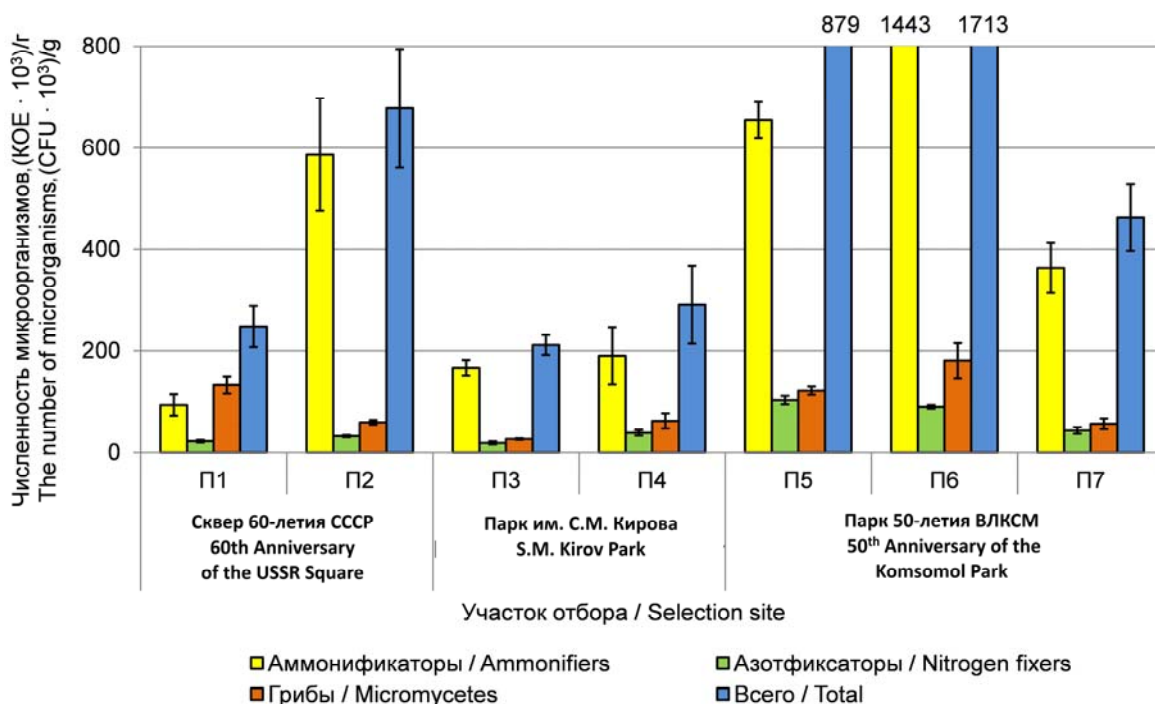


Рисунок 6. Численность различных групп микроорганизмов в почвах парков г. Кирова

Figure 6. Number of different groups of microorganisms in the soils of parks in Kirov

Сквер им. 60-летия СССР обустроен на месте оврага и находится намного ниже городских улиц, между которыми он расположен. Кроме того, в сквере постоянно с весны до осени работают несколько фонтанов, что приводит к наиболее высокой увлажненности почв и особенностям их микробиологического состава. Почва на различных участках данного сквера характеризуется большой разницей в

численности МО-деструкторов органических веществ: аммонификаторов и микромицетов (рис. 6).

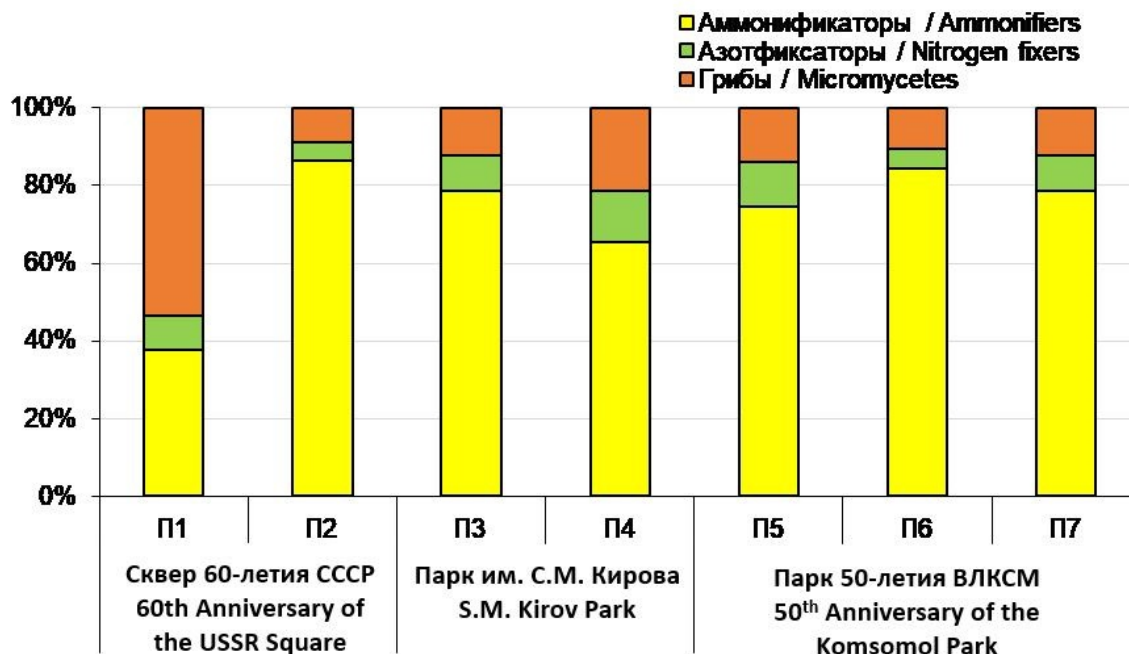
Между численностью МО и содержанием элементов питания в почве выявлена тесная взаимосвязь. Она особенно высока между численностью аммонификаторов и содержанием нитратного азота ($r = 0,88$), калия ($r = 0,81$), фосфора ($r = 0,62$). Участок с высоким содержанием NPK (П6)

характеризуется и наиболее высокими значениями численности МО.

Абсолютное доминирование (65,35–86,54%) в микробном комплексе почвы практически во всех образцах принадлежит бактериям-аммонификаторам (рис. 7). И только на участке П1 в структуре микробных популяций доминируют микромицеты (53,56%), что может быть связано с повышенным содержанием ПАУ в

почве на данном участке, расположенном в непосредственной близости от оживленной автодороги.

Таким образом, различная антропогенная нагрузка, тип наземной растительности, химический состав и влажность почвы исследованных парков приводит к различию в уровне развития в них ведущих групп почвенных МО.



Место и участок отбора образца / Sampling location and area

Рисунок 7. Структура микробных популяций в почвах парков г. Кирова (%)

Figure 7. Structure of microbial populations in the soils of parks in Kirov (%)

Биотестирование почвенных образцов. Для всех анализируемых образцов при тестировании с использованием *Escherichia coli* получены отрицательные значения индекса токсичности T (табл. 3), что свидетельствует о стимуляции биолюминесценции. Согласно методике измерений ПНД Ф Т 14.1:2.3:4.11-04 Т 16.1:2.3:3.8-04, T в таком случае приравнивается к нулю и делается вывод об отсутствии токсичности

образца. Простейшие *P. caudatum* при тестировании почв парковых территорий г. Кирова оказались более чувствительными тест-объектами по сравнению с *E. coli*. По поведенческой реакции *P. caudatum* все образцы почв, за исключением отобранных с участков 4П и 5П, обладали умеренной степенью токсичности (табл. 3) [23].

Таблица 3. Значения индекса токсичности водных вытяжек из почв парковых территорий г. Кирова, определенные по реакции *Escherichia coli* и *Paramecium caudatum*

Table 3. The values of the toxicity index of water extracts from the soils of the park areas of the city of Kirov, determined by the reaction of *Escherichia coli* and *Paramecium caudatum*

Место отбора образца Sampling location	Участок отбора Selection site	Индекс токсичности, T (условных единиц) Toxicity index, T (conventional units)		Степень токсичности Degree of toxicity
		<i>Escherichia coli</i>	<i>Paramecium caudatum</i>	
Сквер 60-летия СССР 60th Anniversary of the USSR Square	1П	0 (-74,79)	0,68±0,41	умеренная moderate
	2П	0 (-123,14)	0,46±0,27	
Парк им. С.М. Кирова S.M. Kirov Park	3П	0 (-102,79)	0,69±0,42	допустимая admissible
	4П	0 (-241,32)	0,38±0,23	
Парк им. 50-летия ВЛКСМ 50th Anniversary of the Komsomol Park	5П	0 (-48,79)	0,20±0,12	умеренная moderate
	6П	0 (-32,07)	0,67±0,40	
	7П	0 (-26,03)	0,45±0,27	

Для образцов почв с участков 1П, 3П и 6П значения T , определенные по реакции *P. caudatum*, являются

пограничными между II и III группами токсичности. Согласно методике измерений ФР.1.39.2015.19243

ПНД Ф Т 16.2:2.2-98, к III группе токсичности относят образцы с $T > 0,70$ усл. ед., для них характерна высокая степень токсичности.

Выявлена высокая прямая корреляционная взаимосвязь между токсичностью образцов почв по реакции *P. caudatum* и содержанием бенз[а]пирена ($r = 0,80$), дибенз[а, h]антрацена ($r = 0,90$), канцерогенной активностью суммы ПАУ ($r = 0,90$). Чем выше канцерогенная активность почвенных образцов, тем более они токсичны для простейших *P. caudatum*. Исключение составил образец почвы с участка П2, канцерогенная активность которого достаточно высока, а значение индекса токсичности сопоставимо с образцом почвы участка П7, содержание ПАУ в котором минимально. Вероятно, в почвенных образцах присутствуют и другие поллютанты, сочетание которых может по-разному влиять на используемый тест-объект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Валовое содержание ТМ в образцах почв парков г. Кирова не превышало ОДК, в то же время установлены превышения регионального фона для большинства образцов по содержанию свинца (до 2,1 раза), цинка (до 1,7 раза) и кобальта (до 3,1 раза).

Для большинства образцов почв парков г. Кирова ряд по снижению содержания катионов имеет следующий вид: кальций > калий > натрий > магний > аммоний, для анионов: сульфаты > хлориды > фосфаты > нитраты. Образец, отобранный под древесной растительностью парка им. 50-летия ВЛКСМ, имеет несколько иной порядок распределения ионов за счет высокого содержания фосфатов и нитратов (выше ПДК). Особенности ионного состава почвенной вытяжки могут быть обусловлены специфичностью растительности, произрастающей на данном участке (лиственные и хвойные деревья), наличием подстилки, а также характером антропогенной нагрузки.

Наибольшим содержанием ПАУ и максимальными значениями суммарной канцерогенной активности характеризуются почвенные образцы, отобранные на участках вблизи автодорог. Особенно высокие концентрации ПАУ в почве выявлены в сквере 60-летия СССР, который находится вблизи дорог с интенсивным автомобильным движением и в понижении ландшафта, где могут с ливневыми стоками с дорог поступать пыль и выбросы автотранспорта.

Максимальная численность МО выявлена на участке под древесной растительностью в парке им. 50-летия ВЛКСМ, почва которого характеризуется высоким содержанием элементов питания. Минимальная численность МО наблюдается в почвенных образцах сквера им. 60-летия СССР. В большинстве исследованных почвенных образцов абсолютное доминирование в структуре микробных популяций принадлежит бактериям аммонификаторам. Между содержанием элементов питания и численностью аммонификаторов в почве установлена прямая корреляционная взаимосвязь.

Наиболее токсичными по ответной реакции *P. caudatum* оказались образцы почв, отобранные в парках г. Кирова вблизи автодорог. Выявлена высокая прямая корреляционная взаимосвязь между токсичностью образцов почв по реакции *P. caudatum* и содержанием в почвах бенз[а]пирена, дибенз[а, h]антрацена, канцерогенной активностью суммы ПАУ. Образцы почв,

отобранные в глубине парков, проявляли меньшую токсичность по отношению к простейшим *P. caudatum*.

Таким образом, используемый в работе комплексный подход позволяет охарактеризовать экологическое состояние городских парковых почв в целом как удовлетворительное. Тем не менее, для парковых почв в непосредственной близости от автодорог характерно повышенное содержание ПАУ, что, вероятно, приводит к острому токсическому действию на тест-объект *P. caudatum*. В связи с устойчивостью ПАУ в ОС, их мутагенными и канцерогенными свойствами, отсутствием нормативов по содержанию в природных средах (за исключением бенз[а]пирена), определение содержания ПАУ в почвах может быть рекомендовано для включения в программу мониторинга окружающей среды городских территорий.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 122040100032-5.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Biology of the Federal Research Centre, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences on the topic "Structure and State of the Components of Technogenic Ecosystems in the Southern Taiga Subzone", state registration number in EGISU No. 122040100032-5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Исаков Д. Вызовы-2050: ускоренная урбанизация, сплошная цифровизация, миграция, альтернативная энергия // Мегатренды. 2021
URL: <https://megatrends.ru/blog/challenges-2050-accelerated-urbanization-completely/> (дата обращения: 20.09.2021)
- Корендяева Е.В. Экологические аспекты управления городом. Москва: МГУУ Правительства Москвы, 2017. 140 с.
- Мудрый И.В. Влияние химического загрязнения почвы на здоровье населения // Гигиена и санитария. 2008. N 4. С. 32–37.
- Абросимова О.В., Трояновская Е.С., Меркулова М.Ю., Тихомирова Е.И. Оценка экологического состояния почвенного покрова г. Саратова // Поволжский экологический журнал. 2012. N 4. С. 376–384.
- Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я., Фокина А.И., Лялина Е.И. Химические основы токсического действия тяжелых металлов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2016. N 1. С. 4–13. DOI: 10.25750/1995-4301-2016-1-014-019
- Солтанмурадова З.И., Гусейнова Н.О., Раджабова Р.Т. Эколого-геохимическая оценка урбаноземов г. Каспия // Юг России: экология, развитие. 2012. N 4. С. 116–121.
- Шахтамиров И.Я., Исаева С.Х., Асхабова Х.Н., Шуаипов К.А.-В. Мониторинг стойких органических загрязнителей в почве Чеченской республики // Юг России: экология, развитие. 2012. N 4. С. 121–124.
- Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Под ред. О.П. Мелиховой, Е.И. Егоровой. Москва: Академия, 2007. 288 с.
- Зыкова Ю.Н., Скугорева С.Г., Товстик Е.В., Ашихмина Т.Я. Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа // Теоретическая и прикладная экология. 2017. N 3. С. 38–46. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-038-046

10. Скугорева С.Г., Кутявина Т.И., Огородникова С.Ю., Кондакова Л.В., Симакова В.С., Блинова А.Л., Зыкова Ю.Н., Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв // Теоретическая и прикладная экология. 2019. N 3. С. 57–65. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065
11. Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГУ, 2012. 282 с.
12. Ефремова В.А., Дабах Е.В., Кондакова Л.В. Химико-биологическая оценка состояния городских почв // Сибирский экологический журнал. 2013. N 5. С. 741–750.
13. Зыкова Ю.Н., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Сравнительная характеристика поверхностных разрастаний микроорганизмов промышленной и парковой зон г. Кирова // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития», Киров, 1–2 декабря, 2009. Книга 2. С. 20–23.
14. Скугорева С.Г., Домрачева Л.И., Бушковская М.А., Трефилова Л.В. Оценка состояния почв г. Кирова методами химического анализа и биодиагностики // Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», Киров, 4–6 декабря, 2017. Книга 1. С. 119–124.
15. Nisbet I.C., La Goy P.K. Toxic equivalency factors views of Environmental Contamination and Toxicology. (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) // Regulatory Toxicology and Pharmacology. 1992. V. 16. Iss. 3. P. 290–300. DOI: 10.1016/0273-2300(92)90009-x
16. Отчет о научно-производственной деятельности ФГБУ ГЦАС «Кировский» за 2017 год. Киров: ФГБУ ГЦАС «Кировский», 2018. 149 с.
17. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. Москва: Агроконсалт, 2002. 282 с.
18. Дабах Е.В., Кислицына А.П., Домнина Е.А. Сравнительное изучение содержания микроэлементов в системе почва – растения луговых биоценозов // Теоретическая и прикладная экология. 2021. N 1. С. 139–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-139-146
19. Абдухалилов О.М., Скугорева С.Г., Фокина А.И., Кулаков В.Н. Оценка содержания свинца и полициклических ароматических углеводородов в образцах автомобильного топлива // Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», Киров, 16–18 ноября, 2020. С. 73–77.
20. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 86 с.
21. Абдухалилов О.М., Тизян Е.М., Скугорева С.Г. Оценка качества родниковой воды г. Кирова по химическому составу // Сборник материалов IV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Химические проблемы современности 2020», Донецк, 19–21 мая 2020. С. 32–35.
22. Абдухалилов О.М., Скугорева С.Г. Содержание полициклических ароматических углеводородов в почве вблизи ТЭЦ-5 города Кирова // Материалы докладов XXVI Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы), посвященной 75-летию А.И. Таскаева «Актуальные проблемы биологии и экологии», Сыктывкар, 18–22 марта, 2019. С. 73–76.
- migration, alternative energy]. Available at: <https://megatrends.su/blog/challenges-2050-accelerated-urbanization-completely/> (accessed 20.09.2021)
2. Korendyaseva E.V. *Ekologicheskiye aspekty upravleniya gorodom* [Environmental aspects of city management]. Moscow, 2017, 140 p. (In Russian)
3. Mudryy I.V. Influence of chemical contamination of soil on the health of the population. *Gigiyena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 2008, no. 4, pp. 32–37. (In Russian)
4. Abrosimova O.V., Troyanovskaya E.S., Merkulova M.Yu., Tikhomirova E.I. Assessment of the ecological state of the soil cover of the city of Saratov. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal* [Volga Ecological Journal]. 2012, no. 4, pp. 376–384. (In Russian)
5. Skugoreva S.G., Ashikhmina T.Ya., Fokina A.I., Lyalina E.I. Chemical foundations of the toxic action of heavy metals (review). *Theoretical and Applied Ecology*, 2016, no. 1, pp. 4–13. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2016-1-014-019
6. Soltanmuradova Z.I., Guseinova N.O., Radzhabova R.T. Ecologo-geochemical assessment of urban soils in the city of Kaspisk. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development]. 2012, no. 4, pp. 116–121. (In Russian)
7. Shaktamirov I.Ya., Isaeva S.Kh., Ashkhabova Kh.N., Shuaipov K.A.-V. Monitoring of persistent organic pollutants in the soil of the Chechen Republic. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development]. 2012, no. 4, pp. 121–124. (In Russian)
8. O.P. Melikhova, E.I. Egorova eds. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovaniye* [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]. Moscow, Akademiya Publ., 2007, 288 p. (In Russian)
9. Zykova Yu.N., Skugoreva S.G., Tovstik E.V., Ashikhmina T.Ya. Approaches to assessing the state of urban soils by biotesting methods using organisms of various systematic affiliation and chemical analysis data. *Theoretical and Applied Ecology*, 2017, no. 3, pp. 38–46. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-038-046
10. Skugoreva S.G., Kutyavina T.I., Ogorodnikova S.Yu., Kondakova L.V., Simakova V.S., Blinova A.L., Zykova Yu.N., Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya. An integrated approach to assessing the ecological state of urban soils. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 3, pp. 57–65. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065
11. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva eds. *Osobennosti urboekosistem podzony yuzhnoy taygi Yevropeyskogo Severo-Vostoka* [Features of urban ecosystems of the southern taiga subzone of the European North-East]. Kirov, VSU Publ., 2012, 282 p. (In Russian)
12. Efreanova V.A., Dabakh E.V., Kondakova L.V. Chemical and biological assessment of the state of urban soils. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Ecology]. 2013, no. 5, pp. 741–750. (In Russian)
13. Zykova Yu.N., Kondakova L.V., Domracheva L.I. Sravnitel'naya kharakteristika poverkhnostnykh razrastaniy mikroorganizmov promyshlennoy i parkovoy zon g. Kirova [Comparative characteristics of surface growths of microorganisms in industrial and park zones of the city of Kirov]. *Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy regional'noy ekologii v usloviyakh ustoychivogo razvitiya"*, Kirov, 1–2 dekabrya, 2009 [Materials of the VII All-Russian scientific-practical conference "Problems of Regional Ecology in Conditions of Sustainable Development", Kirov, 1–2 December, 2009]. Kirov, pt. 2, 2009, pp. 20–23. (In Russian)
14. Skugoreva S.G., Domracheva L.I., Bushkovskaya M.A., Trefilova L.V. Otsenka sostoyaniya pochv g. Kirova metodami khimicheskogo analiza i biodiagnostiki [Assessment of the state of soils in the city of Kirov by methods of chemical analysis and biodiagnostics]. *Materialy XV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezhduнародnym ucha-stiyem «Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-*

REFERENCES

1. Isakov D. *Vyzovy-2050: uskorennaya urbanizatsiya, sploshnaya tsifrovizatsiya, migratsiya, al'ternativnaya energiya* [Challenges-2050: accelerated urbanization, continuous digitalization,

tekhnogennykh sistem», Kirov, 4–6 dekabrya, 2017. [Materials of the XV All-Russian scientific-practical conference with international participation “Biodiagnostics of the State of Natural and Natural-technogenic Systems”, Kirov, 4–6 December, 2017.]. Kirov, pt. 1, 2017, pp. 119–124. (In Russian)

15. Nisbet I.C., La Goy P.K. Toxic equivalency factors views of Environmental Contamination and Toxicology. (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 1992, vol. 16, iss. 3, pp. 290–300. DOI: 10.1016/0273-2300(92)90009-x

16. *Otchet o nauchno-proizvodstvennoy deyatel'nosti FGBU GTSAS «Kirovskiy» za 2017 god* [Report on the research and production activities of the Federal State Budgetary Institution GCAC “Kirovskiy” for 2017]. Kirov: FGBU GTSAS «Kirovskiy», 2018, 149 p. (In Russian)

17. Ganzhara N.F., Borisov B.A., Baibekov R.F. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on soil science]. Moscow, Ahrokonsalt Publ., 2002, 282 p. (In Russian)

18. Dabakh E.V., Kisilitsyna A.P., Domnina E.A. Comparative study of the content of trace elements in the system soil – plants of meadow biocenoses. *Theoretical and Applied Ecology*, 2021, no. 1, pp. 139–146. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-139-146

19. Abdukhalilov O.M., Skugoreva S.G., Fokina A.I., Kulakov V.N. Otsenka soderzhaniya svintsa i politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v obraztsakh avtomobil'nogo topliva [Evaluation of the content of lead and polycyclic aromatic hydrocarbons in automotive fuel samples]. *Materialy XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezhdunarodnym uchastiyem “Biodiagnostika sostoyaniya prirodnikh i prirodno-tekhnogennykh sistem”*, Kirov, 16–18

noyabrya, 2020 [Materials of the XVIII All-Russian scientific-practical conference with international participation “Biodiagnostics of the State of Natural and Natural-technogenic Systems”, Kirov, 16–18 November, 2020]. Kirov, 2020, pp. 73–77. (In Russian)

20. Vodyanitskiy Yu.N. *Tyazhelyye metally i metalloidy v pochvakh* [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow, Soil Institute V.V. Dokuchaeva RAAS Publ., 2008, 86 p. (In Russian)

21. Abdukhalilov O.M., Tizyan E.M., Skugoreva S.G. Otsenka kachestva rodnikovoy vody g. Kirova po khimicheskomu sostavu [Assessment of the quality of spring water in Kirov by chemical composition]. *Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh “Khimicheskiye problemy sovremennosti 2020”*, Donetsk, 19–21 maya, 2020 [Collection of materials of the IV International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists “Chemical Problems of Modernity 2020”], Donetsk, 19–21 May, 2020]. Donetsk, 2020, pp. 32–35. (In Russian)

22. Abdukhalilov O.M., Skugoreva S.G. Soderzhaniye politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v pochve vblizi TETS-5 goroda Kirova [The content of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil near the TPP-5 of the city of Kirov]. *Materialy dokladov XXVI Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii (s elementami nauchnoy shkoly), posvyashchennoy 75-letiyu A.I. Taskayeva*, Syktyvkar, 18–22 marta, 2019 [Materials of reports of the XXVI All-Russian youth scientific conference (with elements of a scientific school) dedicated to the 75th anniversary of A.I. Taskaeva “Actual Problems of Biology and Ecology”, Syktyvkar, 18–22 March, 2019]. Syktyvkar, 2019, pp. 73–76. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Светлана Г. Скугорева проводила анализ содержания неорганических ионов в почвенной вытяжке, осуществляла руководство экспериментальной работой, обобщение результатов. Людмила И. Домрачева выполняла работы по микробиологическому анализу почвенных образцов. Анна И. Фокина проводила отбор образцов почв, осуществляла их пробоподготовку к анализу. Татьяна И. Кутявина определяла токсичность почв с помощью методов биотестирования. Олим М. Абдухалилов участвовал в отборе образцов почв, определял содержание ПАУ в почвах. Василий Н. Кулаков проводил анализ валового содержания тяжелых металлов в почвах. Тамара Я. Ашихмина разработала концепцию и осуществляла общее руководство исследованием. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Svetlana G. Skugoreva analysed the content of inorganic ions in the soil extracts, supervised the experimental work and generalised the results. Lyudmila I. Domracheva performed work on the microbiological analysis of soil samples. Anna I. Fokina took soil samples and prepared them for analysis. Tatiana I. Kutyavina determined soil toxicity using biotesting methods. Olim M. Abdukhalilov took part in the selection of soil samples and determined the content of PAHs in soils. Vasily N. Kulakov analyzed the gross content of heavy metals in soils. Tamara Ya. Ashikhmina developed the concept and provided general guidance for the study. All authors contributed equally to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Светлана Г. Скугорева / Svetlana G. Skugoreva <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>
 Людмила И. Домрачева / Lyudmila I. Domracheva <https://orcid.org/0000-0002-7104-3337>
 Анна И. Фокина / Anna I. Fokina <https://orcid.org/0000-0001-8265-8882>
 Татьяна И. Кутявина / Tatiana I. Kutyavina <https://orcid.org/0000-0001-7957-0636>
 Олим М. Абдухалилов / Olim M. Abdukhalilov <https://orcid.org/0000-0001-9684-5267>
 Василий Н. Кулаков / Vasily N. Kulakov <https://orcid.org/0000-0001-5842-2829>
 Тамара Я. Ашихмина / Tamara Ya. Ashikhmina <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>

Обзорная статья / Review article

УДК 595.2; 574.3; 595.7; 632.75; 632.92

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-113-126

Севооборот как способ увеличения биоразнообразия в агроэкосистемах, регулирования численности вредных фитофагов

Марина В. Пушня, Ирина В. Балахнина, Оксана Ю. Кремнева,

Алёна Ю. Нестерова (Собина), Екатерина Г. Снесарева

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

Контактное лицо

Ирина В. Балахнина, научный сотрудник, лаборатория фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; г. Краснодар, п/о 39, Россия 350039. Тел. +79181661807

Email balakhnina@yandex.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>

Формат цитирования

Пушня М.В., Балахнина И.В., Кремнева О.Ю., Нестерова (Собина) А.Ю., Снесарева Е.Г. Севооборот как способ увеличения биоразнообразия в агроэкосистемах, регулирования численности вредных фитофагов // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 113-126. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-113-126

Получена 10 октября 2022 г.

Прошла рецензирование 16 января 2023 г.

Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. Использование преимуществ севооборотов, их типов и влияния на динамику численности и вредоносности доминантных вредителей на различных сельскохозяйственных культурах, сохранение биоразнообразия, стабилизацию агроэкосистем. В данной работе рассматривается одна из важнейших проблем современного земледелия – сокращение химических обработок без потери качества и урожайности получаемой продукции благодаря одному из важнейших приёмов севообороту и некоторым агротехническим – совместным посевам разных сортов или культур, введение покровных и т.д.

Обсуждение. Нами проводился анализ севооборотов, их видов и влияния на динамику численности и вредоносности вредителей-доминантов различных сельскохозяйственных культур, сохранение биоразнообразия, стабилизацию агроэкосистем, что особенно важно для органического земледелия. Основанные на фактических данных методы манипулирования средой обитания могут значительно улучшить борьбу с вредителями. Подтверждено влияние севооборота на степень зараженности вредителями возделываемых культур и выявлен ряд малоизученных вопросов. Данная статья может представлять наибольший интерес для владельцев фермерских хозяйств, а также крупных товаропроизводителей.

Заключение. Анализ литературных данных показал, что научно обоснованный севооборот с включением посевов сортосмесей, краевых ловчих или медоносных культур, учитывающий общих вредителей для чередующихся предшественников и основных посевов, и направленных приёмов на улучшение здоровья почвы и растений, позволит стабилизировать экологическое состояние агроэкосистем, повысить безопасность окружающей природной среды и уровень рентабельности агропроизводства. Изучение влияния различных приёмов с повышением биоразнообразия в агроценозах имеет большой потенциал и перспективу для дальнейшего изучения.

Ключевые слова

Агроэкосистема, севооборот, покровные культуры, фитофаг, монокультура, предшественник.

Crop rotation as a way to increase the biodiversity of agroecosystems and regulate the number of phytophages

Marina V. Pushnaya, Irina V. Balakhnina, Oksana Yu. Kremneva,
Alena Yu. Nesterova (Sobina) and Ekaterina G. Snesareva

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Irina V. Balakhnina, Researcher, Laboratory of Phytosanitary Monitoring of Agroecosystems, Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection; p/o 39 Krasnodar, Russia, 350039. Tel. +79181661807

Email balakhnina@yandex.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>

How to cite this article

Pushnaya M.V., Balakhnina I.V., Kremneva O.Yu., Nesterova (Sobina) A.Yu., Snesareva E.G. Crop rotation as a way to increase the biodiversity of agroecosystems and regulate the number of phytophages. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 113-126. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-113-126

Received 10 October 2022

Revised 16 January 2023

Accepted 6 February 2023

Abstract

Aim. To use the advantages of crop rotation, its types and its impact on the dynamics of the number and harmfulness of dominant pests on various crops, the conservation of biodiversity and the stabilisation of agroecosystems. In this paper, one of the most important problems of modern agriculture is considered – the reduction of chemical treatments without loss of quality and yield of the products obtained due to one of the most important methods of crop rotation and certain agrotechnical methods, such as the joint sowing of different varieties or crops, making shelters, etc.

Discussion. Crop rotation, its types and influence on the dynamics of the number and harmfulness of the dominant pests of various crops, biodiversity conservation and stabilisation of agroecosystems, especially important for organic farming, are analyzed. Evidence-based habitat management practices can greatly improve pest management. The influence of crop rotation on the degree of pest infestation of cultivated crops has been confirmed and a number of little-studied issues have been identified. This article may be of the greatest interest to owners of farms, as well as large commodity producers.

Conclusion. An analysis of the literature data showed that a scientifically based crop rotation with the inclusion of crops of a variety of mixtures. regional trapping or honey crops, taking into account common pests for alternating predecessors and main crops, and aimed at improving the soil and plants, stabilises the ecological state of agroecosystems and improves the safety of the natural environment and the level of profitability of agricultural production. The study of the influence of various methods on increasing biodiversity in agroecosystems has great potential and prospects for further study.

Key Words

Agroecosystem, cover crops, variety mixture, phytophage, monoculture, predecessor.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное растениеводство во всём мире оказывает негативное влияние на биоразнообразие агроценозов из-за ограниченного количества выращиваемых сортов сельскохозяйственных культур и комплексного нарушения структуры почвы [1]. Огромные площади монокультур сельскохозяйственных растений способствуют распространению и увеличению вредности болезней и насекомых-вредителей. Многие исследования подчеркивают влияние биоразнообразия растений на патогены, динамику численности популяций насекомых и полезных организмов в сельскохозяйственных экосистемах [2–4]. Эксперименты доказывают эффективность таких методов манипулирования средой обитания, как приёмы совмещения культур, выращивания сидератов, севооборотов, которые могут значительно улучшить борьбу с болезнями и вредителями [5].

Именно поэтому возникла необходимость создания концепции о поступательном и устойчивом развитии мирового сельского хозяйства, что и было заявлено на Конференции ООН по окружающей среде в 1992 году, и она основывалась в первую очередь на биосферной парадигме природопользования, которая берет за основу сохранение экологических функций почв и ландшафтов, т.е. изменения моделей аграрного производства и направления перехода на экосистемный подход [6].

Единственным способом решения этого вопроса является формирование сбалансированных агроэкосистем через внедрение инновационных агротехнологий, основанных на экологических принципах. Признано, что выбор правильной стратегии контроля вредных организмов в агроценозе позволяет до 80% снизить потери урожая, а защиту растений рассматривают как определяющий фактор в реализации продуктивного потенциала культур. Современные агроэкосистемы нестабильны с низкой способностью противостоять вредному действию вредных организмов, и для них характерна высокая вероятность ухудшения фитосанитарного состояния. С позиции экологической безопасности агроэкосистем и качества агропродукции современные агротехнологии должны основываться на интегрированных методах защиты растений, в частности с учетом изменений климата. Сочетание научно обоснованных агромер, направленных на улучшение здоровья почвы и растений, в частности методов агроэкологического обращения с вредителями, позволит уменьшить негативное влияние на экологическое состояние агроэкосистем, повысить безопасность окружающей природной среды и уровень рентабельности агропроизводства благодаря более эффективному использованию материальных и природных ресурсов, обеспечить качество и безопасность агропродукции и т.д. Устойчивое производство продукции растениеводства требует целостного подхода и внедрения технологий и мероприятий интегрированной защиты растений, разработанных по экологическим принципам, которые направлены на рациональное использование природных ресурсов, улучшение состояния почвы, уменьшение использования химических веществ, увеличение биоразнообразия и природных сред обитания, уменьшение выбросов парниковых газов и т.д., что в комплексе обеспечивает здоровье растений и

почвы. Внедрение интегрированной защиты растений и минимизация использования синтетических пестицидов позволяет улучшить здоровье растений и почвы [7].

В аграрном производстве ряда стран, в том числе и в России, экологизацию определяют, как «органическое земледелие» (экологическое, биологическое и т.д.). В Российской Федерации под применение органик-технологии сертифицированы порядка 250 тыс. га, или 0,2% пашни. По темпам их расширения РФ занимает третье место в мире. При этом большая часть (около 70%) таких посевов в мире приходится на зерновые и зеленые корма [8]. Хотя по Российской Федерации официальных статистических данных пока нет, считают, что на зерновые приходится до 38% от общей площади под органик-культурами. Например, в Краснодарском крае их выращивают в двух хозяйствах [8].

Дальнейшее развитие современного сельского хозяйства возможно за счет технологической модернизации с помощью системы биологизации. Важнейшим фактором этого процесса является севооборот, определяющий разнообразие видов и сортов культурных растений (биоразнообразие). Подбор растений и их последовательное чередование являются важнейшими факторами для поступления азота и его использования, для плодородия почвы, для развития патогенов, вредителей и сорняков, для урожайности и качества получаемой продукции. Невозможно представить полноценно функционирующее сельскохозяйственное производство без правильно организованного севооборота. Биологическое разнообразие в агроэкосистемах определяется набором основных и промежуточных культур в севообороте. Севооборот позволяет построить систему защиты растений, непосредственно изменяя условия жизни вредных организмов и кормовую базу для них, и косвенно, создавая условия для развития энтомофагов. При большом разнообразии сельскохозяйственных культур увеличивается количество насекомоядных хищников, которые участвуют в регуляции численности вредителей, что в свою очередь ведёт к снижению болезней растений. Севооборот способствует борьбе с вредителями, прерывая жизненные циклы вредителей и/или лишая вредителей среды обитания, тем самым задерживая рост потенциальной популяции вредителей, а это приводит к снижению использования пестицидов [9].

С точки зрения экологической направленности полевой севооборот представляет модель стабилизации экосистемы степного ландшафта, включающего элементы земледелия. За последние два десятилетия появилось, большое количество исследований, показывающих, что ряд приемов земледелия, такие как орошение, внесение удобрений, использование устойчивых культур, управление средой обитания, методы органического ведения сельского хозяйства и определенное чередование сельскохозяйственных культур оказывают заметное положительное воздействие и, таким образом, влияют на борьбу с вредителями [10].

Целью настоящего исследования являлось изучение и обобщение данных об использовании преимуществ севооборотов и их типов для ограничения численности доминантных вредителей на различных

сельскохозяйственных культурах как в Российской Федерации, так и в других странах.

ОБСУЖДЕНИЕ

В современном растениеводстве огромные площади заняты монокультурами, что является причиной быстрого размножения вредителей, т.к. каждое растение почти генетически идентично своим соседям, что позволяет фитофагам легко перемещаться и наносить экономический ущерб. Существуют гипотезы, что увеличение разнообразия растений на сельскохозяйственных полях снизит численность вредителей и сохранит качество и урожайность возделываемых культур. Обширные исследования подтвердили эти гипотезы, продемонстрировав, что увеличение разнообразия видов растений может улучшить борьбу с насекомыми-вредителями. Однако эти методы не получили широкого распространения из-за материально-технических и финансовых ограничений [11].

Фундаментальные и прикладные исследования все чаще демонстрируют ценность внутривидового генетического разнообразия для улучшения стабильности и функционирования экосистем. Один из наиболее простых способов – увеличение генотипического разнообразия растений путем посевов смесей сортов. Для этого используются привлекающие для вредителя культуры, на которых он собирается, нанося существенно меньший ущерб основным. Использование разнообразных смесей растений, адаптированных к конкретным предпочтениям используется и для регуляции численности почвенных фитофагов, что обеспечивает перспективную стратегию борьбы с подземными вредителями при сохранении урожайности [12].

Использование генотипического разнообразия для природных и сельскохозяйственных экосистем, показало его широкое преимущество, ведущее к улучшению приспособленности растений и увеличению их продуктивности. Поддержка потенциала внутривидовой изменчивости способствует улучшению регуляции численности насекомых-вредителей [13; 14].

Внутривидовое разнообразие может улучшить приспособленность растений за счет восходящего и нисходящего воздействия на популяции вредителей и разделения ниш. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения методов внедрения и демонстрации ценности с точки зрения сокращения использования пестицидов и повышения урожайности. Производители могут использовать внутривидовое разнообразие культур с минимальными финансовыми вложениями или изменениями в методах производства. Поскольку преимущества биоразнообразия для стабильности урожая получают все большее признание, внутривидовое разнообразие может стать заметной и устойчивой тактикой управления популяциями вредных фитофагов [15].

Многочисленные исследования показывают, что упрощение ландшафта снижает численность и разнообразие естественных врагов в агроэкосистемах, но вопросы влияния на регуляцию численности вредителей естественными врагами плохо изучены. Кроме того, оценивается эффективность влияния на популяции фитофагов обычно для ограниченного числа таксонов и не учитывается взаимодействие между видами-хищниками [16]. Сохранение и восстановление

естественной среды обитания для энтомофагов в агроэкосистемах являются одной из важнейших задач. Одним из способов решения являются краевые посевы привлекающих растений или смешанные с основной культурой, которые способствуют регуляции численности насекомых-вредителей, что часто повышает устойчивость выращиваемой культуры к фитофагам, этого можно добиться с помощью стратегии «тяги-толкай» [17; 18].

Стратегии «тяги-толкай» включает управление поведением насекомых-вредителей и их естественных врагов посредством интеграции стимулов, которые делают культурные посевы непривлекательными или непригодными для вредителей (отталкивание), заманивая их к привлекательному источнику (притягивая), откуда вредители впоследствии удаляются. Толкающие и тянущие компоненты обычно нетоксичны. Поэтому стратегии обычно сочетаются с методами сокращения популяции, предпочтительно с биологическим контролем. Стратегия является полезным инструментом для комплексных программ борьбы с вредителями, сокращающих использование пестицидов [17]. Стратегия «тяги-толкай» основана на использовании различных веществ, выделяемых листьями, корнями растений-компаньонов привлекающих или отпугивающих насекомых-вредителей [19]. Таким образом, снижается ущерб от вредителей, а также повышается урожайность и качество почвы (например, с дополнительным преимуществом подавления прорастания конкурирующих сорняков) [20].

Однако не все вредители одинаково реагируют на большее видовое разнообразие растительности в агроэкосистемах. Многоядные вредители, такие как совка одноточечная (*Mythimna unipuncta* Haworth, 1809), совка ипсион (*Agrotis ipsilon* Hufnagel, 1766) и стеблевой мотылек обыкновенный (*Papaipema nebris* Guenée, 1852), на полях с использованием культуры ржи как сидератной, могут нанести вред основным зерновым посевам, особенно ржаным [21].

Принципы устойчивого сельского хозяйства заключаются в разработке сельскохозяйственного ландшафта путем создания и поддержания разнообразия всех природных ресурсов совместимым образом. Совмещение культур – это практика одновременного выращивания двух или более культур на определенном поле. Многие исследования подчеркивают влияние совмещения культур и его вклад в стратегии борьбы с насекомыми, основанные на динамике популяций видов насекомых. Пространственное сочетание смешанного и междурядного посевов, севооборотов оказывают существенное влияние на сокращение популяций насекомых-вредителей, увеличение численности полезных насекомых и подавление сорняков. Кроме того, некультурные растения, такие как сорняки, покровные культуры и насаждения среды обитания, можно комбинировать в пространстве и времени, чтобы влиять на численность вредителей и полезных членистоногих на основной культуре. Однако совмещение культур имеет некоторые недостатки, такие как выбор соответствующих видов культур и соответствующей плотности посева, включая дополнительную работу по подготовке и посадке смеси семян, во время методов управления культурами, включая сбор урожая, которые могут косвенно

изменить принципы стратегии борьбы с вредителями [22].

Неоднородность конфигурации сельскохозяйственных культур – меньше по площади поля с большей опушкой – способствуют сохранению биоразнообразия сельскохозяйственных угодий. Включение структурно разнообразных культур в монокультурные азиатские агроэкосистемы может уменьшить неблагоприятное воздействие этих интенсивных систем на полезных насекомых и увеличить важнейшие экосистемные услуги [23].

Получены данные, по нескольким системам земледелия в Европе и Северной Америке, по уровню и пространственной стабильности естественных приёмов борьбы с вредителями в полях, связанных с упрощением окружающего ландшафта. В этих исследованиях в качестве модельного вида использовалась тля и учитывалась её динамика численности по вариантам. Упрощение ландшафта измерялось долей обрабатываемой земли в пределах радиуса в 1 км вокруг каждого участка. Было обнаружено постоянное негативное влияние упрощения ландшафта на уровень естественной борьбы с вредителями, несмотря на влияние энтомофагов. Средний уровень регуляции численности вредителей был на 46% ниже в однородных ландшафтах с преобладанием возделываемых земель по сравнению с более сложными ландшафтами. Упрощение ландшафта не повлияло на количество положительных или отрицательных взаимодействий между наземными и растительными хищниками или на стабильность борьбы с вредителями в пределах поля. Данный анализ подтвердил, что интенсификация сельского хозяйства за счет упрощения ландшафта оказывает негативное влияние на уровень естественной борьбы с вредителями, что имеет важные последствия для управления, поддержания и улучшения экосистем в сельскохозяйственных ландшафтах [16].

Использование совмещения культур, усложнение ландшафта агроэкосистемы вызывают нарушение способности фитофагов найти подходящее растение-хозяин, используя визуальные или химические стимулы [24]. Например, изучение обонятельной реакции крылатой персиковой тли (*Myzus persicae* Sulzer, 1776), используя живые растения и синтетические смеси, имитирующие подвергающийся и не подвергающийся воздействию вредителей картофель. Измененный профиль летучих веществ картофеля отпугивал тлю в лабораторных экспериментах. Затем выращивание картофеля вместе с луком в поле показало снижение численности крылатой тли, ищущей растение-хозяина. Летучие вещества несут не только информацию о том, подвергаются ли атаке соседние растения, но и информацию о самих растениях-эмитентах. Физиологические изменения в реагирующих растениях оказывают значительное воздействие на окружающую среду, так как они влияют на поведение тлей [25].

Пшеница является основной культурой, которая страдает от огромных потерь урожая, вызванных злаковой тлей. Обилие злаковых тлей и вред, наносимый ими растениям, могут определять многие факторы: среди них генетический фон растения, а также условия окружающей среды, такие как пространственное положение на участке, состав и расстояние от соседней растительности. Хотя воздействие этих

факторов изучается в течение многих лет, комбинированное влияние факторов на популяции тли до конца не изучено [26].

В лабораторных условиях проводилась оценка совместного посева пшеницы и бобовых на поведение большой злаковой тли (*Sitobion avenae* Fabricius, 1775), с точки зрения растения-хозяина и роста популяции. Сравнивались две системы роста культур – мягкая озимая пшеница, совместно с озимым горохом, или с белым клевером – и чистая культура мягкой озимой пшеницы. Тле требовалось больше времени, чтобы найти пшеницу, а затем она раньше уходила с пшеницы, в посевах с клевером. Наиболее оптимальным вариантом оказалось совмещение пшеницы с клевером, которое значительно снижало плотность тли на пшенице, т.к. мешало поведению *S. avenae* и росту популяции. Способность бескрылых злаковых тлей *S. avenae* находить и колонизировать растения-хозяева пшеницы была снижена в промежуточных посевах пшеницы и клевера, но не в промежуточных посевах пшеницы и гороха [27].

Испытывались различные схемы совместных посевов пшеницы и гороха в сравнении с монокультурой пшеницы на подавлении злаковых тлей. Совместное выращивание пшеницы и гороха в 8–2-рядной схеме пшеницы и гороха, соответственно, сохраняло и увеличивало количество естественных врагов больше, чем монокультура пшеницы. Наибольшая плотность тлей была на полях монокультуры пшеницы. Исследование показало, что совместное выращивание пшеницы и гороха может эффективно контролировать английскую зерновую тлю за счет увеличения численности естественных врагов, особенно при 8–2-рядной схеме посевов пшеницы и гороха соответственно [28].

В полевых экспериментах изучалось влияние на численность тлей и урожайность пшеницы в совместных посевах пшеницы и клевера белого. Результаты показали, что сочетание внутри- и межвидового разнообразия достоверно не отличалось в каждом варианте в сокращении популяций тлей. Взятые отдельно, промежуточные культуры, как правило, имели более низкую зараженность тлей, в то время как в смесях сортов она была средней. Климатические факторы существенно влияли на развитие пшеницы и клевера, а также на появление пиков численности тли. Урожайность пшеницы и содержание азота в зерне снижались при промежуточном посеве на 10% и 7% соответственно, но не в смеси сортов [29].

Растения способны защищаться от нападения фитофагов, включая в ответ на связанные со стрессом летучие органические соединения (ЛОС), выделяемые соседними растениями. Было показано, что летучие органические соединения, выделяемые Мелинис мелкоцветковым (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), отпугивают пятнистого мотылька (*Chilo partellus* C. Swinhoe, 1885) от кукурузы и усиливают паразитизм (*Cotesia sesamiae* Cameron, 1906) [30].

В совместном посеве моркови и чеснока отмечено, что значительно уменьшилось заселение моркови морковной мухой (*Chamaepsila rosae* Fabricius, 1794) и табачного трипса (*Thrips tabaci* Lindeman, 1889) на чесноке по сравнению с монокультурными посевами. Увеличение густоты растений в смешанном посеве также снизило численность тли (*Cavariella*

aegopodii Scopoli, 1763). Эфирные вещества чеснока мешали обнаружению растения-хозяина [31].

В Китае так же изучалось влияние эфирных веществ чеснока на численность большой злаковой тли (*Sitobion avenae* Fabricius, 1775), опыты проводились совмещением культур с чесноком, как растением, выделяющим репелленты, так и обработками смесью чесночного масла и диаллилдисульфидом. Анализ полученных данных показал, что *S. avenae* при обработке смесью чесночного масла, обработке диаллилдисульфидом и смешанным посевом пшеницы и чеснока по сравнению с контрольными участками для двух сортов заселялись тлями меньше, чем устойчивый к ним сорт (Zhengzhou 831) в контроле [32].

В полевом исследовании изучали динамику численности популяции тлей на чистых насаждениях пшеницы и гороха и в опыте двух совместных посевов пшеницы и гороха (смешанное и полосное выращивание). Горох был более восприимчив к фитофагам, чем пшеница. Плотность поселений тли в чистых посевах в основные периоды распространения была значительно выше, чем в смешанных. Исследование показало, что увеличение разнообразия растений в сельскохозяйственных культурах за счет объединения культивируемых видов может уменьшить заражение тлей, т.к. поиск растения-хозяина становится затруднённым [33].

На пшенице также проводились эксперименты с совместными посевами других культур, для изучения их потенциала в биологической регуляции численности фитофагов. Результаты анализа полученных данных показали, что в большинстве вариантов численность вредителей была значительно снижена в системах смешанных культур по сравнению с чистыми насаждениями. Но численность естественных врагов, и уровень хищничества и паразитизма существенно не увеличились. Значительное влияние на результаты оказывали климатические условия, в которых проводились исследования, тип совмещения культур и сорта [34].

Сравнивалась численность тлей на пшенице после посевов по чёрному пару, ячменю и пшенице. По наблюдениям Лахидова А.И., на посеве озимой пшеницы по пшенице увеличивается численность злаковых тлей по сравнению с посевом пшеницы по пару на 33%, по ячменю – на 10% [35].

Путём мониторинга численности злаковых тлей изучались совокупное влияние генотипа и окружающей среды на фенологию пшеницы (этапы развития), химическое разнообразие (метаболиты) и восприимчивость к насекомым. Результаты показали, что дикая полба была наиболее устойчива к тле, а мягкая пшеница Rotem была наиболее восприимчива к тле. Тля была более многочисленна на растениях, которые рано созревали. Анализ пространственного положения показал, что тлей было больше на фокальных растениях, расположенных ближе к краевым ресурсам монокультурной пшеницы, а не к природным ресурсам, что предполагает эффект концентрации ресурсов. Анализ метаболического разнообразия показал, что уровни трех специализированных метаболитов из класса флавоноидов различались между генотипами пшеницы, а также были показаны некоторые незначительные изменения в центральных метаболитах. В целом эти результаты демонстрируют комбинированное влияние генетического фона и простран-

ственного положения на фенологию пшеницы и численность тли на растениях. Это раскрывает потенциальную роль маргинальной растительности в формировании популяции насекомых желаемых культур [26].

Meromyza americana Fitch, 1856 является фитофагом практически не причиняющего значительного ущерба культурам пшеницы, ржи и другим злаковым растениям. В 2017 году производители в Небраске сообщили о мертвых мутовках и чрезмерном кущении на кукурузных полях в начале сезона, на посевах кукурузы, выращенной после покровных культур пшеницы или ржи. Было проведено исследование для оценки факторов риска для этого насекомого в системах перехода покровных культур на кукурузу. Поврежденные растения были обнаружены только там, где присутствовала покровная культура. Полученные данные, свидетельствуют о том, что перепашка покровной культуры после посадки кукурузы позволило личинкам *M. americana* перейти от покровной культуры к кукурузе, чтобы завершить свое развитие. Кукурузные поля, зараженные *M. americana*, имели частоту повреждения растений кукурузы от 0 до 60% с потерями урожая, оцениваемыми в 30 бушелей/акр [36].

Капустная тля *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) также в качестве модельного вида использовалась для определения эффективности смешанных посевов в Калифорнии на рапсе в смеси с конскими бобами, горохом, чесноком или пшеницей. Учёты велись по динамике численности капустной тли, энтомофагов и урожайности рапса в 2018 и 2019 годах. В оба года самая низкая популяция тли была зафиксирована в смеси рапса с горохом и именно в этом варианте оказалось значительное увеличение разнообразия хищников и паразитов. Потеря массы сухих семян была выше в монокультуре рапса и посевах с пшеницей, чем в других вариантах смешанных посевов. Таким образом, с помощью смешанных посевов рапса с конскими бобами, полевым горохом или чесноком возможно уменьшить численность капустной тли и повысить урожайность рапса [37].

Проводилось исследование, как предшественники кукурузы влияют на устойчивость к кукурузной лиственной совке (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)). Сравнивались прожорливость и поведение её личинок на кукурузе, выращенной после четырех предшественников: бобовая микоризная культура – горох, небобовая микоризная культура – тритикале, небобовая немикоризная культура – редька и отсутствие покровных культур (пар). Колонизация *S. frugiperda* кукурузы была наибольшей при выращивании после микоризных культур по сравнению с немикоризными или без покровных культур.

Предшественники повлияли на выделение летучих веществ кукурузы и личинок совки, ориентированных на запахи, испускаемые кукурузой, выращенной после редьки, чаще, чем тритикале, в анализах ольфактометра. Кроме того, личинки ели лучше и потребляли больше листовой ткани при питании кукурузой, выращенной после редьки, и меньше всего – растениями, выращенными после тритикале. При повреждении кукурузной лиственной совкой кукуруза, выращенная после тритикале, экспрессировала более высокие уровни липоксигеназы-3 (lox3), в то время как растения, выращенные после

редьки, повышали экспрессию гена ингибитора протеиназы кукурузы (*mpi*) [38].

Оценивалась совместная встречаемость кукурузной лиственной совки (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, 1797) в Кении (инвазивный вид с 2016 г.) с местными стеблевыми мотыльками, относительная зараженность и ущерб в трех агроэкологических зонах, а также влияние различных агрономических методов на их заражение и ущерб в системах возделывания кукурузы. Всего было обследовано 180 ферм по выращиванию кукурузы в трех различных агроэкологических зонах. Заражение и ущерб, наносимый вредителями, были самыми высокими в низинах по сравнению со среднегорными и высокогорными землями. Популяция *S. frugiperda* (яйца и личинки) преобладала над популяцией местных стеблевых мотыльков на кукурузных полях. Кукуруза, выращенная в смешанных системах земледелия, с богатым земледелием и прополкой, часто имела низкий уровень заражения и повреждения по сравнению с кукурузой, выращиваемой в монокультуре, с орошением и без прополки, соответственно. Молодые вегетативные растения кукурузы были более заражены и повреждены по сравнению со взрослыми растениями. Было обнаружено, что разные сорта кукурузы имеют разные уровни заражения и повреждения, при этом Pioneer показал наибольшую устойчивость [39].

Влияние совмещения вигны с кукурузой на популяции клопов вредителей стручков фасоли: *Clavigralla tomentosicollis* (Stål, 1855), *Riptortus dentipes* (Fabricius, 1787), *Anoplocnemis curvipes* (Fabricius, 1781), *Mirperus jaculus* (Thunberg, 1783), *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758) – исследовали путем различного времени посева вигны/кукурузы в системах совмещения культур. В опыте были варианты: одновременный посев кукурузы и вигны (0) и последующее чередование посева вигны через 2, 4, 6 и 8 недель после посева кукурузы. Соотношение вигны и кукурузы также варьировало. Численность клопов была значительно меньше на вигне в вариантах 4 и 6, но урожайность в этих вариантах также снижалась по сравнению со всеми другими вариантами [40].

Использование посева озимой ржи, в качестве покровной культуры при выращивании сои может привести к снижению численности фитофагов в органической системе производства сои с её посевом в культуру ржи осеннего посева (т.е. соевых бобов, посеянных весной в покровную культуру ржи, посеянную предыдущей осенью). Эксперименты на небольших делянках были проведены в двух местах на юго-западе Миннесоты, чтобы сравнить популяции насекомых на сое, посеянной под паром, и на сое, посеянной после ржи, которая была обработана путем скашивания с использованием трех различных методов. Плотность картофельной цикадки (*Empoasca fabae* Harris, 1841) была значительно ниже на сое во всех вариантах посева с рожью по сравнению с соей без ржи в обоих местах. Плотность соевой тли (*Aphis glycines* Matsumura, 1917), была значительно ниже при всех обработках, включающих рожь, чем при посеве только сои на одном участке, но подавляющий эффект ржи зависел от специфики посадки ржи на другом участке. Плотность бобового листоеда (*Cerotoma trifurcata* Forster, 1771) была значительно ниже на участках с рожью, чем на участках с соей на одном из двух участков [41].

Исследования по изучению биологических особенностей и характера вредоносности картофельной минирующей моли (*Phthorimaea operculella* Zell.) в центральной зоне Краснодарского края проводились с 2009 по 2017 г. в посевах картофеля общей площадью более 30 га. Наибольший вред (до 80 % поражения клубней) *Ph. operculella* Zell. в хранилищах, тогда как в полевых условиях повреждения растений не превышали 10%. Правильный севооборот, ранний сбор урожая (до начала лета вредителя третьего поколения при низкой зараженности урожая), а также профилактическая обработка клубней биопрепаратами (лепидодид, СК; битоксибациллин, СП) перед хранением обеспечили сохранность 91% клубней [42].

Сравнивались поля с предшественником рожью и без нее в товарных хозяйствах. Ежедневно отбирали образцы с полей для количественной оценки взрослых и личинок вредителей и повреждений растений кукурузы от питания с середины апреля до тех пор, пока кукуруза не достигла стадии V8 в 2014 и 2015 годах. Измерения на полях проводились вдоль трансект, которые простирались перпендикулярно от краев поля внутрь кукурузных полей. Взрослые особи совки одноточечной (*Mythimna unipuncta* Haworth, 1809) и взрослые особи совки ипсион (*Agrotis ipsilon* Hufnagel, 1766) были отловлены на всех кукурузных полях, но большинство личинок чешуекрылых, отловленных на кукурузных полях, были *M. unipuncta* и обыкновенным стеблевым мотыльком (*Papaipema nebris* Guenée, 1852). На полях с ржаной покровной культурой достоверно выше обилие совки одноточечной и выше доля поврежденной кукурузы. Как численность совки, так и повреждения при кормлении были значительно выше на кукурузных полях с рожью. Численность стеблевого мотылька не отличалась между кукурузными полями с ржаным покровом и без него. Фермеры, сажающие кукурузу после покровной культуры ржи, должны знать о возможности увеличения численности и вредоносности *M. unipuncta* [21].

Влияние растительного разнообразия на численность картофельной цикадки (*Empoasca fabae* Harris, 1841) изучали в четырех агроэкосистемах. Одной из четырех систем возделывания была монокультура сои; остальные три представляли собой промежуточные системы совмещения культур, которые различались по количеству пшеницы (растение, не являющееся хозяином), посаженных между рядами сои. В каждом из них использовалась одинаковая плотность посадки. Системы земледелия сформировали градиент растительного разнообразия по плотности растений-хозяев и растений-нехозяев. В начале сезона на экспериментальных участках одновременно присутствовали соя и пшеница; после сбора урожая пшеницы все четыре системы земледелия представляли собой монокультуры сои. Перед уборкой пшеницы картофельные цикадки были существенно и значительно более многочисленны в монокультуре, чем в любой из систем совмещения культур. Плотность цикад была чрезвычайно низкой во всех системах совмещения культур. После сбора урожая пшеницы различия между системами монокультуры и совмещения культур постепенно уменьшались, и при меньшем количестве дат сбора наблюдались значительные различия. Самки и самцы имели схожую популяционную динамику и различия между систе-

мами земледелия. Существенных различий в численности между системами совмещения культур обнаружено не было [43].

Одним из наиболее успешных методов ограничения популяции зеленого овощного клопа *Nezara viridula* (L., 1758) в Российской Федерации является классический биометод, включающий подходы к созданию условий для поддержания численности и естественного размножения аборигенных энтомофагов, путем подсева различных нектароносных растений и энтомофильных культур совместно с применением биопрепаратов на основе энтомопатогенных грибов, актиномицетов и нематод. Эти приёмы сдерживают развитие вредителя на хозяйственно неощутимом уровне, снижая его популяцию в среднем на 80,0–85,5% [44].

Проводились исследования по использованию скороспелых сортов при разработке биологических методов защиты сои от чешуекрылых вредителей. Наиболее опасными из около 20 видов по степени повреждения являются *Etiella zinkinella* Tr. и *Helicoverpa armigera* Hb. Показано, что удаленность посевов не менее 500 м от основной резервации вредителей – малины и использование скороспелых сортов обеспечивали минимальные потери в урожае фасоли (не более 0,9–1,9%) [45].

Ресурсосберегающее земледелие было представлено производителям как устойчивый способ повысить продуктивность почвы и смягчить последствия ожидаемых колебаний как климата, так и цен на топливо и удобрения. Исследования в основном сосредоточены на преимуществах покровных культур для качества почвы без учета краткосрочных затрат на внедрение для производителей, сравнивающих их текущие производственные системы с системами сохранения, которые они могут принять. Чтобы восполнить этот пробел в знаниях, свойства почвы, урожайность товарных культур и годовые производственные затраты были оценены в трехлетнем исследовании кукурузы и сои, в ходе которого сравнивалась система предшественников с традиционной системой производства в Миссисипи с 2016 по 2018 год. Традиционная система включала частые обработки почвы и борьбу с озимыми сорняками остаточного почвенным гербицидом (рыхление + оголение). Пять разных уровней систем предшественников, включая систему с нулевой обработкой и посевом покровных культур (нулевая обработка + покровные культуры). Экономические выгоды от замены дорогих традиционных приёмов нулевой обработки и посева покровных культур были намного больше, чем скромные улучшения свойств почвы традиционными методами, наблюдаемые в период с 2016 по 2018 год. Несмотря на то, что урожайность была разной, стоимость производства товарных культур в системе предшественников (нулевая обработка + покровные культуры) была на 43% меньше, чем стоимость традиционной системы (29,67 долл.), подчеркивая краткосрочный экономический стимул для производителей к переходу на щадящее земледелие. Эти результаты показывают, что ресурсосберегающее сельское хозяйство может снизить общие производственные затраты, одновременно снизив риск ускоренной эрозии почвы во время ожидаемых экстремальных погодных явлений, связанных с изменением климата, что может сделать как сельскохозяйственные

операции, так и агроэкосистемы более устойчивыми [46].

В связи со скрытым образом жизни почвенных вредителей регуляция численности их затруднена, особенно в органическом земледелии и с экологической защитой, при этом они наносят значительный экономический ущерб сельскому хозяйству. Как показали исследования, при выращивании кукурузы высевая в междурядья пшеницу, либо смесь из шести растений (травы, бобовые и разнотравье) для защиты от проволочника *Agriotes* – в чистых посевах кукурузы личинки регистрировались в течение всего сезона. Подсевы пшеницы сильно привлекали вредителей в августе, когда культура была наиболее уязвима, тогда как в сентябре, незадолго до уборки, этот эффект проявлялся только в растительной смеси. По сравнению с чистыми посевами кукурузы повреждение растений проволочниками было снижено на 38% и на 55% при совместном посеве с пшеницей и растительной смесью, что повысило урожайность на 30% и 38% соответственно [12].

Покровные культуры с высокой биомассой обеспечивают стабилизацию экосистем. Как смеси, так и разнообразные севообороты могут улучшить положительное воздействие покровных культур. Несмотря на популярность многовидовых смесей покровных культур, опубликовано мало данных об их влиянии на последующую урожайность, особенно при чередовании нескольких культур. Изучалось влияние осеннего посева покровных культур – как смесей, так и их составных монокультур – на последующую урожайность в системе органического земледелия на культурах кукуруза – соя – озимая пшеница в центральной Пенсильвании. Все многовидовые смеси давали высокую биомассу, и ни одна из них не повлияла на урожайность кукурузы по сравнению с паром. Результаты показали, что как многовидовые покровные культуры, так и разнообразные севообороты могут увеличить возможности получения преимуществ покровных культур с высокой биомассой, таких как борьба с эрозией, подавление сорняков, удержание азота и накопление углерода в почве, без ущерба для урожая [47].

В качестве биозащитного приема для борьбы с одним из основных вредителей пшеницы в России: в Краснодарском крае – злаковым листоедом – изучено и рекомендовано использование таких ловчих культур, как яровая пшеница и яровой ячмень, на которых концентрируется вредитель, без заселения озимой пшеницы [48].

В нескольких исследованиях сообщается об отрицательном или нейтральном влиянии смесей покровных культур на урожайность основной. Многовидовые смеси не повлияли на урожайность кукурузы, сои или пшеницы [40; 49–52].

Как показали проведенные многолетние исследования, на численность и развитие фитофагов влияют и различные системы удобрений в посевах озимой пшеницы. Сбалансированное питание оказывают прямое влияние на развитие культуры, и косвенно влияет на вредителей за счет укрепления иммунных барьеров растений. Результаты обследований показали снижение численности злаковых тлей на 12,3–25,3%, пшеничного трипса на 7,4–24,7%, хлебных пилильщиков на 4,3–13,6% [53].

Увеличение численности тлей после обработок происходит за счет неполной гибели их популяций, появления крылатых поселенцев, а также за счет гибели естественных врагов вредителей от препаратов. Влияние севооборота на злаковую тлю варьирует от слабого (3,2%) до сильного (24,5%). В опыте средняя численность злаковых тлей на паровой пшенице была в 1,3 раза выше, чем на четвертом посеве пшеницы после пара. В зерновых, зернопаровых и зернотравяных севооборотах в агроценозах самих предшествующих культур, таких как озимая рожь, ячмень, ячмень с донником, рапс, численность тлей составляла 2,4–5,2, 1,9–12,9, 1,6–5,2, 4,1–7,4 раза ниже соответственно по сравнению с паровой пшеницей. Предшественник под паром создает благоприятные условия для роста и развития растений пшеницы, повышая их питательность, что способствует привлечению к посевам злаковых тлей. На овсе численность злаковых тлей сравнима с их численностью на паровой пшенице или значительно превышает ее [54].

Проводились исследования урожайности смешанных сортовых посевов пшеницы в предгорьях Кавказа, которая составила 4,5 т/га, а рост 9%. В посевах тройной смеси устойчивых сортов Веда и Дельта (25%) с ценным сортом Батько (50%), получена средняя урожайность 52 ц/га по содержанию белка 12%, содержание клейковины 28% и крепость муки 320 а.е. В качестве защитно-экранирующей культуры от злакового листоеда по периметру поля использовался устойчивый скороспелый сорт Кума, который предотвратил заселение, менее устойчивых сортов. Генетическое разнообразие сорта создает условия для регулирования и стабилизации фитосанитарного состояния посевов и повышения их продуктивности. При таком агротехническом приеме становится возможным регулирование и стабилизация фитосанитарной обстановки на полях, повышение урожайности и качества зерна [55].

Севооборот оказался наиболее эффективным в качестве заменителя пестицидов для регулирования численности нематод. С некоторыми вредителями, которые вторгаются на поля из близлежащих районов, можно бороться, изменяя схемы или методы выращивания соседних культур, или на одном поле или в саду можно выращивать несколько культур. Хотя этот подход широко не практикуется многими калифорнийскими производителями, описаны два примера систем, в которых было показано, что совмещение культур ограничивает численность вредителей без использования пестицидов: совмещение хлопка с люцерной и сопутствующий посев овса при посеве люцерны. Эти примеры показывают, что использование диверсификации культур для борьбы с вредителями возможно, но производители должны быть сильно мотивированы для внесения необходимых изменений в схемы выращивания культур. Большинство систем, которые получили широкое распространение, – это те, для которых было доступно несколько других экономически целесообразных методов [56].

Помимо экосистемных преимуществ диверсификации за счет совмещения посевов пшеницы и гороха, анализируются барьеры и рычаги для его внедрения и распространения. Структурирование производственно-сбытовой цепочки вокруг продуктов этой инновационной системы земледелия сталкивается

с набором проблем технического характера, например, отбор сортов, фитосанитарный контроль, последовательность управления посевами, управление сбором, проблемами рынка сбыта и заключения договоров, субсидированием на экосистемные услуги, предоставляемые за счет совмещения культур, что способствует медленному внедрению и распространению в Европе. Тем не менее, цепочка добавленной стоимости, возникающая в результате системы совмещения культур между пшеницей и горохом, имеет рычаги, которые можно использовать на всех уровнях, особенно с точки зрения ее конкурентных преимуществ, преимуществ экосистемы, и превосходное качество продукции [57].

Покровные культуры играют все более важную роль на фермах Северной Америки. Помимо замедления эрозии, улучшения структуры почвы и обеспечения плодородия, они помогают фермерам бороться с вредителями. При ограниченной обработке почвы и тщательном внимании к выбору сортов, размещению и срокам покровные культуры могут уменьшить заселение насекомыми, нематодами, сорняками и распространения болезней. Системы покровных культур для борьбы с вредителями помогают свести к минимуму использование пестицидов и, как следствие, сократить расходы, уменьшить воздействие химических веществ, защитить окружающую среду и получать экологически чистую продукцию [58].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных данных показал, что научно обоснованный севооборот с включением посевов сортосмесей, краевых ловчих или медоносных культур, учитывающий общих вредителей для чередующихся предшественников и основных посевов, правильное использование удобрений и направленных приёмов на улучшение здоровья почвы и растений, позволит стабилизировать экологическое состояние агроэкосистем, повысить безопасность окружающей природной среды и уровень рентабельности агропроизводства. Однако многие вопросы остаются малоизученными, например, в некоторых случаях эффективность от тех или иных приёмов была довольно низкой, что требует пристального внимания и дальнейших исследований. По нашему опыту перевод садового хозяйства от интенсивно использующего различные инсектициды на экологическую защиту с эффективным использованием природных ресурсов – естественных врагов занимает в среднем несколько лет – от 3-х до 6-ти и зависит от окружающих культур. Возможные отрицательные результаты зависели от общей агротехники, принятой в хозяйстве: общего применения пестицидов, имеющихся севооборотов и т.д. Изучение влияния различных приёмов с повышением биоразнообразия в агроценозах имеет большой потенциал и перспективу для дальнейшего изучения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено в соответствии с Государственным заданием Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научно-исследовательской работы по теме № ФГРН-2022-0002.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research work on topic No. FGRN-2022-0002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Yang R., Yang L., Ge B., Qi Y., Chen T., Deng A., et al. Rotation regimes lead to significant differences in soil macrofaunal biodiversity and trophic structure with the changed soil properties in a rice-based double cropping system // *Geoderma*. 2022. V. 405. Article ID: 115424. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115424>
- Dallimer M., Tinch D., Acs S., Hanley N., Southall H.R., Gaston K.J., et al. 100 years of change: examining agricultural trends, habitat change and stakeholder perceptions through the 20th century // *Journal of Applied Ecology*. 2009. V. 46. P. 334–343. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01619.x>
- Edlinger A., Saghai A., Herzog C., Degrune F., Garland G. Towards a multidimensional view of biodiversity and ecosystem functioning in a changing world // *New Phytol.* 2020. V. 228. P. 820–822. <https://doi.org/10.1111/nph.16881>
- Brooker R.W., Bennett A.E., Cong W-F., Daniell T.J., George T.S., Hallett P.D., et al. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology // *New Phytologist*. 2015. V. 206. N 1. P. 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>
- He H., Liu L., Munir S., Bashir N., Wang Y., Yang J., et al. Crop diversity and pest management in sustainable agriculture // *Journal of Integrative Agriculture*. 2019. V. 18. P. 1945–1952. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62689-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62689-4)
- Toigildina I., Morozov V., Podsevalov M., Ayupov D., Toigildina I., Mustafina R. Factors of biologization of farming in the forest-steppe zone of Volga region // *Proc International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”, Russia (Ulyanovsk) (FIES 2019), BIO Web of Conferences*. 2020. N 17. Article ID: 00173. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700173>
- Мостяк И. Комплексная система защиты растений при формировании сбалансированных агроэкосистем // *Материалы Международной научно-практической конференции «Развитие АПК в условиях роботизации и цифровизации производства в России и за рубежом», (DAIC 2020) Сбалансированное природопользование*. 2020. N 00. С. 77–86. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2020.203932>
- Коршунов С.А., Любеведская А.А., Асатурова А.М., и соавт. Органическое земледелие: инновационные технологии, опыт, перспективы. Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (Правдинский). Москва. 2019. С. 92.
- Boiteau G., Picka J.D., Watmough J. Potato field colonization by low-density populations of Colorado potato beetle as a function of crop rotation distance // *J Econ Entomol*. 2008. V. 101. N 5. P. 1575–1583. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2008\)101\[1575:PFCBLP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[1575:PFCBLP]2.0.CO;2)
- Han P., Lavoie A-V., Rodriguez-Saona C., Desneux N. Bottom-Up Forces in Agroecosystems and Their Potential Impact on Arthropod Pest Management. // *Annual Review of Entomology*. 2021. V. 67. P. 239–259. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-060121-060505>
- Gurr G., Wratten S., Landis D., You M. Habitat Management to Suppress Pest Populations: Progress and Prospects // *Annual review of entomology*. 2016. V. 62. pp. 91–109. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035050>
- Staudacher K., Schallhart N., Thalinger B., Wallinger C., Juen A., Traugott M. Plant diversity affects behavior of generalist root herbivores, reduces crop damage, and enhances crop yield // *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America*. 2013. V. 23. N 5. P. 1135–1145. <https://doi.org/10.1890/13-0018.1>
- Bybee-Finley K.A., Matthew R.R. Advancing Intercropping Research and Practices in Industrialized Agricultural Landscapes // *Agriculture*. 2018. V. 8. N 6. Article ID: 80. <https://doi.org/10.3390/agriculture8060080>
- Chateil C., Goldringer I., Tarallo L., Kerbiriou C., Le Viol I., Ponge J-F., et al. Crop genetic diversity benefits farmland biodiversity in cultivated fields // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013. V. 171. P. 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.004>
- Tooker J.F., Frank S.D. Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields // *Journal of Applied Ecology*. 2012. V. 49. P. 974–985. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02173.x>
- Rusch A., Chaplin-Kramer R., Gardiner M., Hawro V., Holland J., Landis D., et al. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. V. 221. P. 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>
- Cook S.M., Khan Z.R., Pickett J.A. The use of push-pull strategies in integrated pest management // *Annual Review of Entomology*. 2007. V. 52. N 1. P. 375–400. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407>
- Hokkanen H. Trap cropping in pest management // *Annual Review of Entomology*. 2003. V. 36. N 1. P. 119–38. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.001003>
- Parolin P., Bresch C., Poncet C., Desneux N. Functional characteristics of secondary plants for increased pest management. *International // Journal of Pest Management*. 2012. V. 58. N 4. P. 369–377. <https://doi.org/10.1080/09670874.2012.734869>
- Kansman J., Nalam V., Nachappa P., Finke D. Plant water stress intensity mediates aphid host choice and feeding behavior // *Ecological Entomology*. 2020. V. 45. N 6. P. 1437–1444. <https://doi.org/10.1111/een.12928>
- Dunbar M.W., O’Neal M.E., Gassmann A.J. Increased Risk of Insect Injury to Corn Following Rye Cover Crop // *Journal of Economic Entomology*. 2016. V. 109. N 4. P. 1691–1697. <https://doi.org/10.1093/jee/tow101>
- Rahman M., Joaty J., Islam M.M. Intercropping for insect pest management in sustainable agriculture: A review // *Journal of Tropical Agriculture*. 2020. V. 43. P. 11–22. <https://doi.org/10.11189/bita.43.11>
- Priyadarshana T.S., Lee M-B., Ascher J.S., Qiu L., Goodale E. Crop heterogeneity is positively associated with beneficial insect diversity in subtropical farmlands // *Journal of Applied Ecology*. 2021. V. 58. Iss. 12. P. 2747–2759. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14005>
- Schulthess F., Chabi-Olaye A., Gounou S. Multi-trophic level interactions in a cassava-maize mixedcropping system in the humid tropics of West Africa // *Bull. Entomol. Res.* 2004. V. 94. Iss. 3. P. 261–272. <https://doi.org/10.1079/ber2004296>
- Ninkovic V., Dahlin I., Radonjic A., Petrovic-Obradovic O., Glinwood R., Webster B. Volatile Exchange between Undamaged Plants - a New Mechanism Affecting Insect Orientation in Intercropping // *PLoS ONE*. 2013. V. 8. N 7. Article number: e69431. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069431>
- Batyrshtina Z.S., Cna’ani A., Rozenberg T., Seifan M., Tzin V. The combined impacts of wheat spatial position and phenology on cereal aphid abundance // *Peer J*. 2020. V. 8. Article ID: 9142. <https://doi.org/10.7717/peerj.9142>
- Mansion-Vaquie A., Ferrer A., Ramon-Portugal F., Wezel A., Magro A. Intercropping impacts the host location behaviour and population growth of aphids // *Entomologia*

- Experimentalis et Applicata. 2019. V. 168. N 1. P. 113–117. <https://doi.org/10.1111/eea.12848>
28. Zhou H., Chen L., Chen J., Francis F., Haubruge E., Liu Y., et al. Adaptation of Wheat-Pea Intercropping Pattern in China to Reduce *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) Occurrence by Promoting Natural Enemies // *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2013. V. 37. N 9. P. 1001–1016. <https://doi.org/37.10.1080/21683565.2013.763887>
29. Mansion-Vaquie A., Wezel A., Ferrer A. Wheat genotypic diversity and intercropping to control cereal aphids // *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2019. V. 285. Article ID: 106604. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2019.106604>
30. Tolosa T.A., Tamiru A., Midega C., Van den Berg J., Birkett M., Woodcock C., et al. Molasses Grass Induces Direct and Indirect Defense Responses in Neighbouring Maize Plants // *Journal of Chemical Ecology*. 2019. V. 45. N 11–12. P. 982–992. <https://doi.org/10.1007/s10886-019-01122-z>
31. Uvah I.I.I., Coaker T.H. Effect of mixed cropping on some insect pests of carrots and onions // *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 1984. V. 36. Iss. 2. P. 159–167. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1984.tb03422.x>
32. Zhou H., Chen J., Liu Y., Francis F., Haubruge E., Bragard C., et al. Influence of Garlic Intercropping or Active Emitted Volatiles in Releases on Aphid and Related Beneficial in Wheat Fields in China // *Journal of Integrative Agriculture*. 2013. V. 12. N 3. P. 467–473. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60247-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60247-6)
33. Lopes T., Bodson B., Francis F. Associations of Wheat with Pea Can Reduce Aphid Infestations // *Neotropical Entomology*. 2015. V. 44. P. 286–293. <https://doi.org/10.1007/s13744-015-0282-9>
34. Lopes T., Hatt S., Xu Q., Chen J., Liu Y., Francis F. Wheat (*Triticum aestivum* L.) – based intercropping systems for biological pest control // *Pest Management Science*. 2016. V. 72. P. 2193–2202. <https://doi.org/10.1002/ps.4332>
35. Танский В.И., Тулеева А.К. Влияние предшественников на вредных и полезных насекомых весной. Урожай пшеницы // *Новости защиты растений*. 2005. N 1. С. 27–31.
36. Carmona G., Rees J., Seymour R., Wright R., Mc Mehan A. Wheat Stem Maggot (Diptera: Chloropidae): An Emerging Pest of Cover Crop to Corn Transition Systems // *Plant Health Progress*. 2019. V. 20. N 3. P. 147–154. <http://dx.doi.org/10.1094/PHP-01-19-0009-S>
37. Mollaei M., Ali S., Asghar F., Gadir N-G., Mehdi H., Ali G. Effects of strip intercropping of canola with faba bean, field pea, garlic, or wheat on control of cabbage aphid and crop yield // *Plant Protection Science*. 2021. V. 57. N 1. P. 59–65. <https://doi.org/10.17221/132/2019-PPS>
38. Davidson-Lowe E., Ray S., Murrell E., Kaye J., Ali J. Cover Crop Soil Legacies Alter Phytochemistry and Resistance to Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Maize // *Environmental Entomology*. 2021. V. 50. N 6. P. 958–967. <https://doi.org/10.1093/ee/nvab047>
39. Mutyambai D., Niassy S., Calatayud P-A., Subramanian S. Agronomic Factors Influencing Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Infestation and Damage and Its Co-Occurrence with Stem-borers in Maize Cropping Systems in Kenya // *Insects*. 2022. V. 13. Article ID: 266. <https://doi.org/10.3390/insects13030266>
40. Pitan O., Odebiyi J. The effect of intercropping with maize on the level of infestation and damage by pod-sucking bugs in cowpea // *Crop Protection*. 2001. V. 20. P. 367–372. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00135-6)
41. Koch R., Porter P., Harbur M., Abrahamson M., Wyckhuys K., Ragsdale D., et al. Response of Soybean Insects to an Autumn-Seeded Rye Cover Crop Response of Soybean Insects to an Autumn-Seeded Rye Cover Crop // *Environmental Entomology*. 2012. V. 41. N 4. P. 750–760. <http://dx.doi.org/10.1603/EN11168>
42. Пушня М.В., Снесарева Е.Г. Агробиотехнологические методы защиты картофеля от клубневой моли. В центральной зоне Краснодарского края // *Достижения науки техники АПК*. 2018. Т. 32. N 3. С. 79–82. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10316>
43. Miklasiewicz T.J., Hammond R.B. Density of potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) in response to soybean-wheat cropping systems // *Environmental Entomology*. 2001. V. 30. N 2. P. 204–214. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.2.204>
44. Пушня М.В., Снесарева Е.Г., Родионова Е.Ю. Использование приемов биологического контроля инвазивного вида щитника – зеленого овощного клопа *Nezara viridula* L. (обзор) // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. N 12. С. 50–63. https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_12_50
45. Пушня М.В., Снесарева Е.Г., Родионова Е.Ю. Разработка биологических методов защиты *Glycine max* L. в центральной зоне Краснодарского края // *Материалы V международной научной конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки», Симферополь, 2020. С. 89–91. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-42*
46. Jacobsae A.A., Evansb R.S., Allisona J.K., Garner E.R., Kingeryd W.L., McCulley R.L. Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss, compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system // *Soil and Tillage Research*. 2022. V. 218. Article ID: 105310. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105310>
47. Hunter M.C., Schipanski M.E., Burgess M.H., La Chance J.C., Bradley B.A., Barbercheck M.E., et al. Cover Crop Mixture Effects on Maize, Soybean, and Wheat Yield in Rotation // *Agricultural & Environmental Letters*. 2019. V. 4. N 1. Article ID: 180051. <https://doi.org/10.2134/ael2018.10.0051>
48. Родионова Е.Ю., Пушня М.В., Снесарева Е.Г. Разработка биологических методов борьбы с пьяницей красногрудой *Oulema (Lema) melanopus* L // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2018. N 55. С. 279–283. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-55-279-283>
49. Wortman S.E., Francis C.A., Bernards M.L., Drijber R.A., Lindquist J.L. Optimizing cover crop benefits with diverse mixtures and an alternative termination method // *Agronomy Journal*. 2012. V. 104. P. 1425–1435. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0185>
50. Reese C.L., Clay D.E., Clay S.A., Bich A.D., Kennedy A.C., Hansen S.A., et al. Winter cover crops impact on corn production in semiarid regions // *Agronomy Journal*. 2014. V. 106. P. 1479–1488. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0540>
51. Nielsen D.C., Lyon D.J., Higgins R.K., Hergert G.W., Holman J.D., Vigil M.F. Cover crop effect on subsequent wheat yield in the central Great Plains // *Agronomy Journal*. 2016. V. 108. P. 243–256. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0372>
52. Kyamanywa S., Tukahirwa E. Effect of Mixed Cropping Beans, Cowpeas and Maize on Population Densities of Bean Flower Thrips, *Megalurothrips sjostedti* (Trybom) (Thripidae) // *International Journal of Tropical Insect Science*. 1988. V. 9. P. 255–259. <https://doi.org/10.1017/S1742758400006081>
53. Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Мазницына Л.В., Сутко А.П., Тутуржанс Л.В. Влияние длительного применения систем удобрения на видовой состав и численность насекомых-фитофагов и их энтомофагов в посевах озимой пшеницы на выщелоченном черноземе // *Агрохимический вестник*. 2018. N 4. С. 46–50.
54. Bokina I.G. Lacewings (Chrysopidae, Neuroptera) in cereal agrocenoses of the forest-steppe of Western Siberia //

Entomological Review. 2010. N 90. P. 689–697.

<https://doi.org/10.1134/S0013873810060035>

55. Manukyan I.R., Miroshnikova E.S., Gasiev V.I., Abieva T.S., Machneva N.L., Skamarokhova A.S., et al. The assessment of winter wheat agroecosystems adaptivity in the conditions of the submontane zone of the Central Caucasus // Plant Science Today. 2020. V. 7. N 4. P. 623–626.

<https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.4.925>

56. Flint M., Roberts P. Using crop diversity to manage pest problems: Some California examples // American Journal of Alternative Agriculture. 1988. V. 3. P. 163–167.

<https://doi.org/10.1017/S0889189300002447>

57. Mamine F., Fares M. Barriers and Levers to Developing Wheat-Pea Intercropping in Europe: A Review // Sustainability. 2020. V. 12. N 17. Article ID: 6962.

<https://doi.org/10.3390/su12176962>

58. Phatak S., Díaz-Pérez J. Managing pests with cover crops. In: Managing Cover Crops Profitably. Edition: 2nd. Chapter: Managing pests with cover crops Clark A (eds.) // Sustainable Agriculture. 2007. P. 25–33.

REFERENCES

1. Yang R., Yang L., Ge B., Qi Y., Chen T., Deng A., et al.

Rotation regimes lead to significant differences in soil macrofaunal biodiversity and trophic structure with the changed soil properties in a rice-based double cropping system. *Geoderma*, 2022, vol. 405, article id: 115424.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115424>

2. Dallimer M., Tinch D., Acs S., Hanley N., Southall H.R., Gaston K.J., et al. 100 years of change: examining agricultural trends, habitat change and stakeholder perceptions through the 20th century. *Journal of Applied Ecology*, 2009, vol. 46, pp. 334–343. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01619.x>

3. Edlinger A., Saghai A., Herzog C., Degruene F., Garland G. Towards a multidimensional view of biodiversity and ecosystem functioning in a changing world. *New Phytol*, 2020, vol. 228, pp. 820–822. <https://doi.org/10.1111/nph.16881>

4. Brooker R.W., Bennett A.E., Cong W-F., Daniell T.J., George T.S., Hallett P.D., et al. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 2015, vol. 206, no. 1, pp. 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>

5. He H., Liu L., Munir S., Bashir N., Wang Y., Yang J., et al. Crop diversity and pest management in sustainable agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, vol. 18, pp. 1945–1952. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62689-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62689-4)

6. Toigildin A., Morozov V., Podsevalov M., Ayupov D., Toigildina I., Mustafina R. Factors of biologization of farming in the forest-steppe zone of Volga region. Proc International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”, Russia (Ulyanovsk) (FIES 2019). BIO Web of Conferences, 2020, no. 17, article id: 00173.

<https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700173>

7. Mostoyak I. Integrated plant protection system in formation of balanced agroecosystems. Proc International Scientific and Practical Conference “Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad”, (DAIC 2020) *Balanced nature using*, 2020, no. 00, pp. 77–86. (In Russian). <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2020.203932>

8. Korshunov S.A., Lyubovetskaya A.A., Asaturova A.M., et al. *Organicheskoe zemledelie: innovatsionnye tekhnologii, opyt, perspektivy* [Organic farming: innovative technologies, experience, prospects]. Moscow, 2019, pp. 92. (In Russian)

9. Boiteau G., Picka J.D., Watmough J. Potato field colonization by low-density populations of Colorado potato beetle as a function of crop rotation distance. *J Econ Entomol*, 2008, vol. 101, no. 5, pp. 1575–1583.

[https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2008\)101\[1575:PFCBLP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[1575:PFCBLP]2.0.CO;2)

10. Han P., Lavoie A-V., Rodriguez-Saona C., Desneux N. Bottom-Up Forces in Agroecosystems and Their Potential Impact on Arthropod Pest Management. *Annual Review of Entomology*, 2021, vol. 67, pp. 239–259.

<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-060121-060505>

11. Gurr G., Wratten S., Landis D., You M. Habitat Management to Suppress Pest Populations: Progress and Prospects. *Annual review of entomology*, 2016, vol. 62, pp. 91–109. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035050>

12. Staudacher K., Schallhart N., Thalinger B., Wallinger C., Juen A., Traugott M. Plant diversity affects behavior of generalist root herbivores, reduces crop damage, and enhances crop yield. *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America*, 2013, vol. 23, no. 5, 1135–1145. <https://doi.org/10.1890/13-0018.1>

13. Bybee-Finley K.A., Matthew R.R. Advancing Intercropping Research and Practices in Industrialized Agricultural Landscapes. *Agriculture*, 2018, vol. 8, no. 6, article id: 80. <https://doi.org/10.3390/agriculture8060080>

14. Chateil C., Goldringer I., Tarallo L., Kerbiriou C., Le Viol I., Ponge J-F., et al. Crop genetic diversity benefits farmland biodiversity in cultivated fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, vol. 171, pp. 25–32.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.004>

15. Tooker J.F., Frank S.D. Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields. *Journal of Applied Ecology*, 2012, vol. 49, pp. 974–985. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02173.x>

16. Rusch A., Chaplin-Kramer R., Gardiner M., Hawro V., Holland J., Landis D., et al. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, vol. 221, pp. 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>

17. Cook S.M., Khan Z.R., Pickett J.A. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 2007, vol. 52, no 1, pp. 375–400. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407>

18. Hokkanen H. Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 2003, vol. 36, no. 1, pp. 119–138. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.001003>

19. Parolin P., Bresch C., Poncet C., Desneux N. Functional characteristics of secondary plants for increased pest management. *International Journal of Pest Management*, 2012, vol. 58, no. 4, pp. 369–377.

<https://doi.org/10.1080/09670874.2012.734869>

20. Kansman J., Nalam V., Nachappa P., Finke D. Plant water stress intensity mediates aphid host choice and feeding behavior. *Ecological Entomology*, 2020, vol. 45, no. 6, pp. 1437–1444. <https://doi.org/10.1111/een.12928>

21. Dunbar M.W., O’Neal M.E., Gassmann A.J. Increased Risk of Insect Injury to Corn Following Rye Cover Crop. *Journal of Economic Entomology*, 2016, vol. 109, no. 4, pp. 1691–1697. <https://doi.org/10.1093/jee/tow101>

22. Rahman M., Joaty J., Islam M.M. Intercropping for insect pest management in sustainable agriculture: A review. *Journal of Tropical Agriculture*, 2020, vol. 43, pp. 11–22. <https://doi.org/10.11189/bit.43.11>

23. Priyadarshana T.S., Lee M-B., Ascher J.S., Qiu L., Goodale E. Crop heterogeneity is positively associated with beneficial insect diversity in subtropical farmlands. *Journal of Applied Ecology*, 2021, vol. 58, iss. 12, pp. 2747–2759. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14005>

24. Schulthess F., Chabi-Olaye A., Gounou S. Multi-trophic level interactions in a cassava-maize mixedcropping system in the humid tropics of West Africa. *Bulletin of Entomological Research*, 2004, vol. 94, iss. 3, pp. 261–272.

<https://doi.org/10.1079/ber2004296>

25. Ninkovic V., Dahlin I., Radonjic A., Petrovic-Obradovic O., Glinwood R., Webster B. Volatile Exchange between Undamaged Plants – a New Mechanism Affecting Insect Orientation in Intercropping. *PLoS ONE*, 2013, vol. 8, no. 7, article number: e69431. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069431>
26. Batyrshina Z.S., Cna'ani A., Rozenberg T., Seifan M., Tzin V. The combined impacts of wheat spatial position and phenology on cereal aphid abundance. *Peer J*, 2020, vol. 8, article id: 9142. <https://doi.org/10.7717/peerj.9142>
27. Mansion-Vaquie A., Ferrer A., Ramon-Portugal F., Wezel A., Magro A. Intercropping impacts the host location behaviour and population growth of aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2019, vol. 168, no. 1, pp. 113–117. <https://doi.org/10.1111/eea.12848>
28. Zhou H., Chen L., Chen J., Francis F., Haubruge E., Liu Y., et al. Adaptation of Wheat-Pea Intercropping Pattern in China to Reduce *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) Occurrence by Promoting Natural Enemies. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2013, vol. 37, no. 9, pp. 1001–1016. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.763887>
29. Mansion-Vaquie A., Wezel A., Ferrer A. Wheat genotypic diversity and intercropping to control cereal aphids. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2019, vol. 285, article id: 106604. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106604>
30. Tolosa T.A., Tamiru A., Midega C., Van den Berg J., Birkett M., Woodcock C., et al. Molasses Grass Induces Direct and Indirect Defense Responses in Neighbouring Maize Plants. *Journal of Chemical Ecology*, 2019, vol. 45, no. 11–12, pp. 982–992. <https://doi.org/10.1007/s10886-019-01122-z>
31. Uvah I.I.I., Coaker T.H. Effect of mixed cropping on some insect pests of carrots and onions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1984, vol. 36, iss. 2, pp. 159–167. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1984.tb03422.x>
32. Zhou H., Chen J., Liu Y., Francis F., Haubruge E., Bragard C., et al. Influence of Garlic Intercropping or Active Emitted Volatiles in Releases on Aphid and Related Beneficial in Wheat Fields in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, vol. 12, no. 3, pp. 467–473. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60247-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60247-6)
33. Lopes T., Bodson B., Francis F. Associations of Wheat with Pea Can Reduce Aphid Infestations. *Neotropical Entomology*, 2015, vol. 44, pp. 286–293. <https://doi.org/10.1007/s13744-015-0282-9>
34. Lopes T., Hatt S., Xu Q., Chen J., Liu Y., Francis F. Wheat (*Triticum aestivum* L.) – based intercropping systems for biological pest control. *Pest Management Science*, 2016, vol. 72, pp. 2193–2202. <https://doi.org/10.1002/ps.4332>
35. Tanskyi V.I., Tuleeva A.K. Influence of predecessors on noxious and beneficial insects in spring. Wheat crops. *Novosti zashchity rastenii* [Plant Protection News]. 2005, no. 1, pp. 27–31. (In Russian)
36. Carmona G., Rees J., Seymour R., Wright R., Mc Mechan A. Wheat Stem Maggot (Diptera: Chloropidae): An Emerging Pest of Cover Crop to Corn Transition Systems. *Plant Health Progress*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 147–154. <http://dx.doi.org/10.1094/PHP-01-19-0009-S>
37. Mollaei M., Ali S., Asghar F., Gadir N-G., Mehdi H., Ali G. Effects of strip intercropping of canola with faba bean, field pea, garlic, or wheat on control of cabbage aphid and crop yield. *Plant Protection Science*. 2021. vol. 57, no. 1, pp. 59–65. <https://doi.org/10.17221/132/2019-PPS>
38. Davidson-Lowe E., Ray S., Murrell E., Kaye J., Ali J. Cover Crop Soil Legacies Alter Phytochemistry and Resistance to Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Maize. *Environmental Entomology*, 2021, vol. 50, no. 6, pp. 958–967. <https://doi.org/10.1093/ee/nvab047>
39. Mutyambai D., Niassy S., Calatayud P-A., Subramanian S. Agronomic Factors Influencing Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Infestation and Damage and Its Co-Occurrence with Stemborers in Maize Cropping Systems in Kenya. *Insects*, 2022, vol. 13, article id: 266. <https://doi.org/10.3390/insects13030266>
40. Pitan O., Odebiyi J. The effect of intercropping with maize on the level of infestation and damage by pod-sucking bugs in cowpea. *Crop Protection*, 2001, vol. 20, pp. 367–372. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00135-6)
41. Koch R., Porter P., Harbur M., Abrahamson M., Wyckhuys K., Ragsdale D., et al. Response of Soybean Insects to an Autumn-Seeded Rye Cover Crop Response of Soybean Insects to an Autumn-Seeded Rye Cover Crop. *Environmental Entomology*, 2012, vol. 41, no. 4, pp. 750–760. <http://dx.doi.org/10.1603/EN11168>
42. Pushnya M.V., Snesareva E.G. Agrobiotechnological methods for potato protection from potato tuber moth. In the central zone of Krasnodar krai. *Achievements of science technology and agriculture*, 2018, vol. 32, no. 3, pp. 79–82. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10316>
43. Miklasiewicz T.J., Hammond R.B. Density of potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) in response to soybean-wheat cropping systems. *Environmental Entomology*, 2001, vol. 30, no. 2, pp. 204–214. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.2.204>
44. Pushnya M.V., Snesareva E.G., Rodionova E.Yu. Ispol'zovaniye priyemov biologicheskogo kontrolya invazivnogo vida shchitnika – zelenogo ovoshchnogo klopa Nezara viridula L. (obzor). *Achievements of science technology and agriculture*, 2021, vol. 35, no. 12, pp. 50–63. (In Russian) https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_12_50
45. Pushnya M.V., Snesareva E.G., Rodionova E.Yu. Razrabotka biologicheskikh metodov zashchity Glycine max L. v tsentral'noi zone Krasnodarskogo kraia [Development of biological methods of Glycine max L. protection in the central zone of the Krasnodar Territory]. *Materialy V mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya agrarnoi nauki», Simferopol', 2020* [Proceedings of V international scientific conference "current state, problems and prospects of the development of agrarian science." Simferopol, 2020]. Simferopol, 2020, pp. 89–91. (In Russian) DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-42
46. Jacobsae A.A., Evansb R.S., Allisona J.K., Garner E.R., Kingeryd W.L., McCulley R.L. Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss, compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system. *Soil and Tillage Research*, 2022, vol. 218, article id: 105310. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105310>
47. Hunter M.C., Schipanski M.E., Burgess M.H., La Chance J.C., Bradley B.A., Barbercheck M.E., et al. Cover Crop Mixture Effects on Maize, Soybean, and Wheat Yield in Rotation. *Agricultural & Environmental Letters*, 2019, vol. 4, no. 1, article id: 180051. <https://doi.org/10.2134/aerl2018.10.0051>
48. Rodionova E.Yu., Pushnya M.V., Snesareva E.G. Razrabotka biologicheskikh metodov bor'by s p'yavitsey krasnogrudoy *Oulema* (Lema) *melanor* L. *Fruit and berry growing in Russia*, 2018, no. 55, pp. 279–283. (In Russian) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-55-279-283>
49. Wortman S.E., Francis C.A., Bernards M.L., Drijber R.A., Lindquist J.L. Optimizing cover crop benefits with diverse mixtures and an alternative termination method. *Agronomy Journal*, 2012, vol. 104, pp. 1425–1435. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0185>
50. Reese C.L., Clay D.E., Clay S.A., Bich A.D., Kennedy A.C., Hansen S.A., et al. Winter cover crops impact on corn production in semiarid regions. *Agronomy Journal*, 2014, vol. 106, pp. 1479–1488. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0540>
51. Nielsen D.C., Lyon D.J., Higgins R.K., Hergert G.W., Holman J.D., Vigil M.F. Cover crop effect on subsequent wheat

- yield in the central Great Plains. *Agronomy Journal*, 2016, vol. 108, pp. 243–256. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0372>
52. Kyamanywa S., Tukahirwa E. Effect of Mixed Cropping Beans, Cowpeas and Maize on Population Densities of Bean Flower Thrips, *Megalurothrips sjostedti* (Trybom) (Thripidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 1988, vol. 9, pp. 255–259. <https://doi.org/10.1017/S1742758400006081>
53. Glasunova N.N., Bezgina Yu.A., Maznitsyna L.V., Sutko A.P., Tuturzhans L.V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya sistem udobreniya na vidovoi sostav i chislennost' nasekomykh-fitofagov i ikh entomofagov v posevakh ozimoi pshenitsy na vyshchelochennom chernozeme. *Agrochemical Bulletin*, 2018, no. 4, pp. 46–50. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-1001>
54. Bokina I.G. Lacewings (Chrysopidae, Neuroptera) in cereal agroecosystems of the forest-steppe of Western Siberia. *Entomological Review*, 2010, no. 90, pp. 689–697. <https://doi.org/10.1134/S0013873810060035>
55. Manukyan I.R., Miroshnikova E.S., Gasiev V.I., Abieva T.S., Machneva N.L., Skamarokhova A.S., et al. The assessment of winter wheat agroecosystems adaptivity in the conditions of the submontane zone of the Central Caucasus. *Plant Science Today*, 2020, vol. 7, no. 4, pp. 623–626. <https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.4.925>
56. Flint M., Roberts P. Using crop diversity to manage pest problems: Some California examples. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1988, vol. 3, pp. 163–167. <https://doi.org/10.1017/S0889189300002447>
57. Mamine F., Fares M. Barriers and Levers to Developing Wheat–Pea Intercropping in Europe: A Review. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no. 17, article id: 6962. <https://doi.org/10.3390/su12176962>
58. Phatak S., Díaz-Pérez J. Managing pests with cover crops. In: *Managing Cover Crops Profitably*. Edition: 2nd. Chapter: Managing pests with cover crops Clark A (eds.). *Sustainable Agriculture*, 2007, pp. 25–33.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Екатерина Г. Снесарева и Алёна Ю. Нестерова (Собина) провели исследования. Ирина В. Балахнина разработала концепцию, сформулировала методы, провела исследование, проанализировала результаты и написала рукопись. Марина В. Пушня провела исследование, проанализировала результаты и корректировала рукопись до подачи в редакцию. Оксана Ю. Кремнева разработала концепцию, корректировала рукопись до подачи в редакцию и занималась привлечением финансирования. 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

Ekaterina G. Snesareva and Alena Yu. Nesterova (Sobina) conducted research. Irina V. Balakhnina developed the concept, formulated the methods, conducted the study, analyzed the results, and wrote the manuscript. Oksana Yu. Kremneva developed the concept, corrected the manuscript before submitting it to the editorial office, and was involved in fundraising. Marina V. Pushnya conducted the research, analyzed the results and corrected 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

Марина В. Пушня / Marina V. Pushnya <http://orcid.org/0000-0002-7133-9533>
 Ирина В. Балахнина / Irina V. Balakhnina <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>
 Оксана Ю. Кремнева / Oksana Yu. Kremneva <http://orcid.org/0000-0003-0982-6821>
 Алёна Ю. Нестерова (Собина) / Alena Yu. Nesterova (Sobina) <http://orcid.org/0000-0002-9965-4842>
 Екатерина Г. Снесарева / Ekaterina G. Snesareva <http://orcid.org/0000-0003-4617-3604>

Оригинальная статья / Original article
УДК 595.79; 504.03; 633.854.78
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-127-139

Роль посевов подсолнечника в поддержании биоразнообразия перепончатокрылых насекомых в агроценозах Краснодарского края

Игорь Б. Попов¹, Оксана Ю. Кремнева², Алексей А. Пачкин²,
Ярослав С. Ермаков², Данил О. Лептягин²

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

²Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Игорь Б. Попов, доцент кафедры Фитопатологии, энтомологии и защиты растений, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350004 Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13.
Тел. +79054747873
Email ibento@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0006-8844-3827>

Формат цитирования

Попов И.Б., Кремнева О.Ю., Пачкин А.А., Ермаков Я.С., Лептягин Д.О. Роль посевов подсолнечника в поддержании биоразнообразия перепончатокрылых насекомых в агроценозах Краснодарского края // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 127-139. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-127-139

Получена 13 марта 2023 г.
Прошла рецензирование 24 апреля 2023 г.
Принята 27 апреля 2023 г.

Резюме

Цель. Изучение видового состава и численности антофильных перепончатокрылых насекомых в агроценозе подсолнечника и роли его цветков в поддержании биоразнообразия в агроценозах Краснодарского края.

Материал и методы. Исследования проводились в период вегетации подсолнечника в Краснодарском крае с 2017 по 2022 года в Каневском, Красноармейском, Крыловском, Лабинском, Усть-Лабинском, Тбилисском и Темрюкском районах.

Результаты. В агроценозах подсолнечника встречается 53 вида жалящих перепончатокрылых насекомых из 10 семейств. Для каждого района исследований указывается индивидуальная фауна насекомых, которая не только характерна для агроценоза, но и активно посещает цветки подсолнечника. Фауна каждого района включает массовые виды, обычные и редкие, при этом большая часть массовых видов практически не интересуется цветками подсолнечника, используя другие ресурсы. Основными посетителями соцветий подсолнечника являются шмели, которые в ряде случаев могут оперировать цветки. Большинство видов ос являются случайными посетителями цветков подсолнечника.

Заключение. Наиболее широко в агроценозе подсолнечника представлены насекомые из семейств Halictidae, Andrenidae, Megachilidae, Apidae. В каждом районе исследований складывается индивидуальная ситуация, когда общие виды насекомых либо посещают цветки подсолнечника, либо полностью их игнорируют. Объединяя сведения по всем районам, получаем, что в случае определенных местных условий практически все представители фауны могут питаться на подсолнечнике, но он не является основной культурой, а лишь дополняет ресурсы дикой флоры.

Ключевые слова

Биоразнообразие, перепончатокрылые насекомые, подсолнечник, Краснодарский край.

The role of sunflower crops in maintaining the biodiversity of hymenopterous insects in agroecosystems of Krasnodar Territory

Igor B. Popov¹, Oksana Yu. Kremneva², Aleksey A. Pachkin²,
Yaroslav S. Ermakov² and Danil O. Leptyagin²

¹I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

²Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Igor B. Popov, Associate Professor, Department of
Phytopathology, Entomology and Plant Protection,
I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University;
13 Kalinina St, Krasnodar, Russia 350004.
Tel. +79054747873

Email ibento@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0006-8844-3827>

How to cite this article

Popov I.B., Kremneva O.Yu., Pachkin A.A., Ermakov
Ya.S., Leptyagin D.O. The role of sunflower crops in
maintaining the biodiversity of hymenopterous
insects in agroecosystems of Krasnodar Territory.
South of Russia: ecology, development. 2023, vol.
18, no. 2, pp. 127-139. (In Russian) DOI:
10.18470/1992-1098-2023-2-127-139

Received 13 March 2023

Revised 24 April 2023

Accepted 27 April 2023

Abstract

Aim. To study the species composition and abundance of anthophilic Hymenopteran insects in the sunflower agroecosystem and the role of its flowers in maintaining biodiversity in the agroecosystems of the Krasnodar Territory.

Material and Methods. The studies were conducted during the sunflower growing season in the Krasnodar Territory from 2017 to 2022 in the Kanevsky, Krasnoarmeysky, Krylovsky, Labinsky, Ust-Labinsky, Tbilisi and Temryuk districts.

Results. In sunflower agroecosystems, 53 species of stinging hymenopteran insects from 10 families are found. For each research area, there is an individual insect fauna, which is characteristic of the agroecosystem and actively visits sunflower flowers. The fauna of each district includes mass species, common and rare, most of which are not interested in sunflower flowers, using other resources. The main visitors of sunflower inflorescences are bumblebees, which in a range of circumstances may visit flowers. Most wasp species are casual visitors to sunflower flowers.

Conclusion. Most widely represented in the sunflower agroecosystem are insects of the families Halictidae, Andrenidae, Megachilidae, Apidae. In each research area, there are individual situations when common insect species either visit sunflower flowers or completely ignore them. Combining information on all areas, we observe that in the case of certain local conditions, almost all representatives of the fauna can feed on sunflowers, but it is not the principal resources, only complementing the wild flora.

Key Words

Biodiversity, Hymenopterous insects, sunflower, Krasnodar Territory.

ВВЕДЕНИЕ

Подсолнечник является одной из основных культур агрокомплекса Краснодарского края. При этом подсолнечник служит важной медоносной культурой, которая способствует формированию продукции пчеловодства, поскольку является энтомофильным растением, способным давать до 30 кг меда с 1 га [1]. Посевы подсолнечника способствуют сохранению биоразнообразия антофильных насекомых, в первую очередь, диких одиночных пчел. Кроме того, привлекаемые подсолнечником и другими нектароносами энтомофаги в ряду с абиотическими и биотическими факторами сохраняют экологическое равновесие экосистем, как один из факторов сохранения продуктивности агроэкосистем [2–4], а также играют существенную роль в снижении численности вредителей сельскохозяйственных культур [5]. Однако в последнее время преобладают тенденции выращивания гибридов подсолнечника, являющихся самоопыляемыми культурами [6], не требующими присутствия опылителей в агроценозах. Тем не менее, урожайность этих гибридов положительно реагирует на наличие насекомых-опылителей [7]. Такие гибриды являются нектаро- и пыльценосами, которые хорошо привлекают жалящих перепончатокрылых насекомых, в первую очередь пчел. На сохранение биоразнообразия членистоногих, в том числе перепончатокрылых, оказывает влияние комплекс проводимых агротех-

нических мероприятий, таких как способ обработки почвы, внесение удобрений, средств защиты растений и т.д. [8]. Причем, различные агротехнические мероприятия способны приводить к изменениям состава и численности беспозвоночных в агроценозах до 50% и более [9]. В посевах подсолнечника сохраняется небольшое количество дикой флоры, составляющей основу питания присутствующих здесь перепончатокрылых насекомых, распространенной преимущественно по периметру полей, поэтому во время цветения подсолнечник является основным ресурсом по выделению нектара и пыльцы. Учитывая продолжительность цветения, доступность цветков и внешнюю привлекательность соцветий для антофильных насекомых, подсолнечник теоретически должен быть определяющим растением для большинства потребителей пыльцы и нектара.

Целью данного исследования являлось изучение роли посевов подсолнечника в поддержании биоразнообразия перепончатокрылых в агроценозах Краснодарского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в течение всего периода вегетации подсолнечника в Краснодарском крае, с 2017 по 2022 годы и охватило семь районов: Каневской, Красноармейский, Крыловской, Лабинский, Усть-Лабинский, Темрюкский (рис. 1).

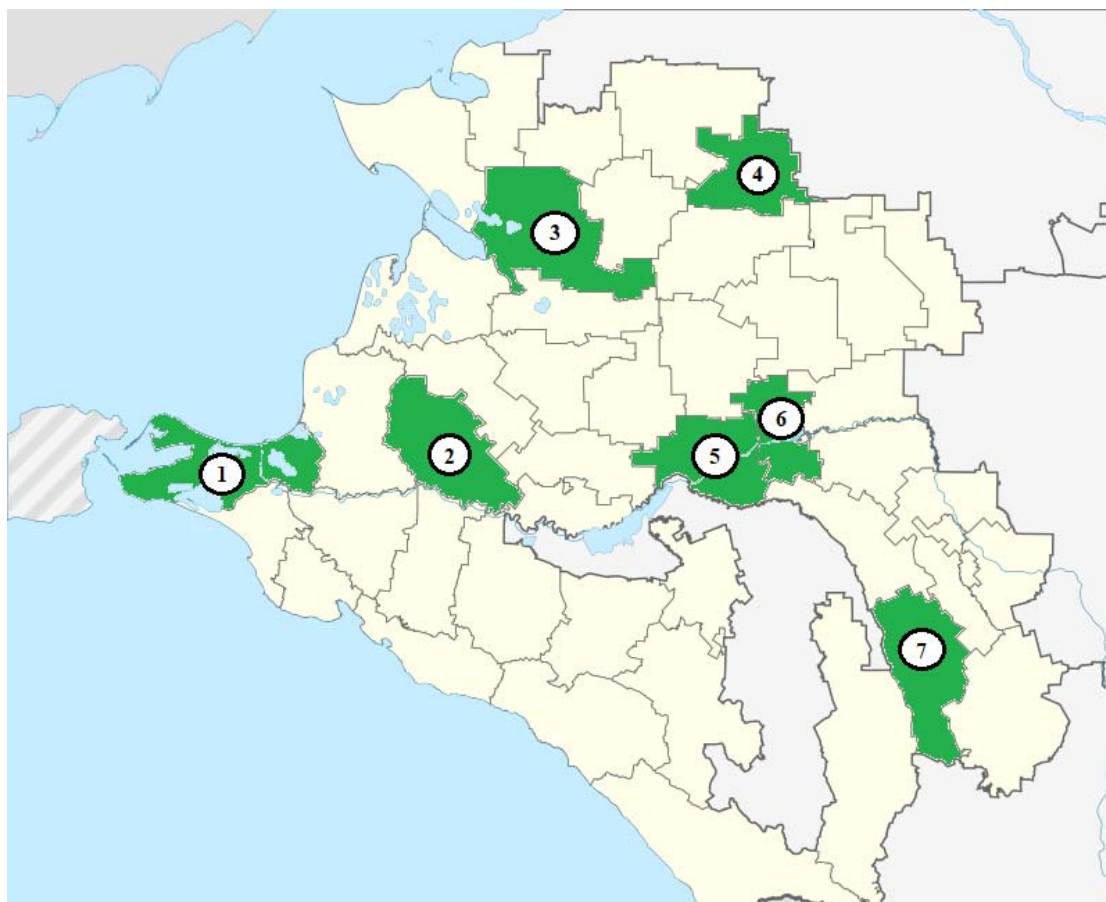


Рисунок 1. Районы Краснодарского края, в которых производилось изучение опылителей: 1 – Темрюкский, 2 – Красноармейский, 3 – Каневской, 4 – Крыловской, 5 – Усть-Лабинский, 6 – Тбилисский, 7 – Лабинский

Figure 1. Districts of the Krasnodar Territory in which pollinators were studied: 1 – Temryuksky, 2 – Krasnoarmeysky, 3 – Kanevskaya, 4 – Krylovsky, 5 – Ust-Labinsky, 6 – Tbilisskiy, 7 – Labinsky

Исследования фауны перепончатокрылых вне агроценозов и по их периметру проводились маршрутным методом, а также с использованием ловушек Мёрике. Для отлова насекомых использовался стандартный энтомологический сачок для индивидуального сбора визуально различимых особей с кормовых растений (подсолнечника и сорной растительности), а также путем кошения участков травянистых растений. Территория агроценозов подсолнечника исследовалась по периметру полей, а также в его глубине. При этом численность диких посетителей, как правило, резко падает при удалении на 10–12 м от края поля, поэтому дальнейшее углубление в центр не имеет смысла. Отлов насекомых с растений подсолнечника осуществлялся путем индивидуального сбора, а также путем кошения над корзинками в случае большой высоты растений. Все случайно отловленные медоносные пчелы, а также виды, не требующие камерального определения, выпускались. Определение насекомых осуществлялось с помощью Определителя насекомых юга России [10]. Всего было собрано более 400 экземпляров перепончатокрылых посетителей подсолнечника, при этом медоносная пчела не учитывалась. Кроме того, учитывались те виды перепончатокрылых, которые трофически не привязаны к подсолнечнику, хотя и могут его посещать. Например, к таким насекомым относятся все представители семейств Sphecidae, Crabronidae, Chrysididae, Scoliididae, Vespidae. Большинство представителей указанных семейств не интересуются подсолнечником, как источником нектара, несмотря на широкое присутствие в

агроценозах, и даже охоту на растениях подсолнечника [11; 12]. Количественные показатели для всех учетных видов были определены путем выявления их доли в общих сборах. Вид, доля которого составляла более 10% считался массовым, от 1 до 9,99% обычным, а менее 1% – отмеченным для данного кормового растения в конкретном локалитете.

ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку все районы находятся в различных зонах края, с различным уровнем антропогенного пресса и несколько отличающиеся по совокупности природных абиотических и биотических факторов, то видовой состав насекомых серьезно отличается. В каждом районе имеется своя специфика по видовому составу и численности перепончатокрылых. Всего в агроценозах подсолнечника и их ближайших окрестностях было отмечено 53 вида перепончатокрылых, которые потенциально могут питаться на цветках подсолнечника или заниматься сбором нектара и пыльцы. Видовой состав насекомых достаточно широко варьировал в зависимости от локалитета, в котором производились исследования. В ряде случаев результаты очень сильно отличались. Результаты исследований, включающие список видов перепончатокрылых с учетом их численности в агроценозах подсолнечника, привязанных к районам исследования, представлены в таблице 1.

В Каневском районе в агроценозе подсолнечника отмечено 27 видов перепончатокрылых, из которых непосредственно на цветках подсолнечника отмечено 20 видов (рис. 2).

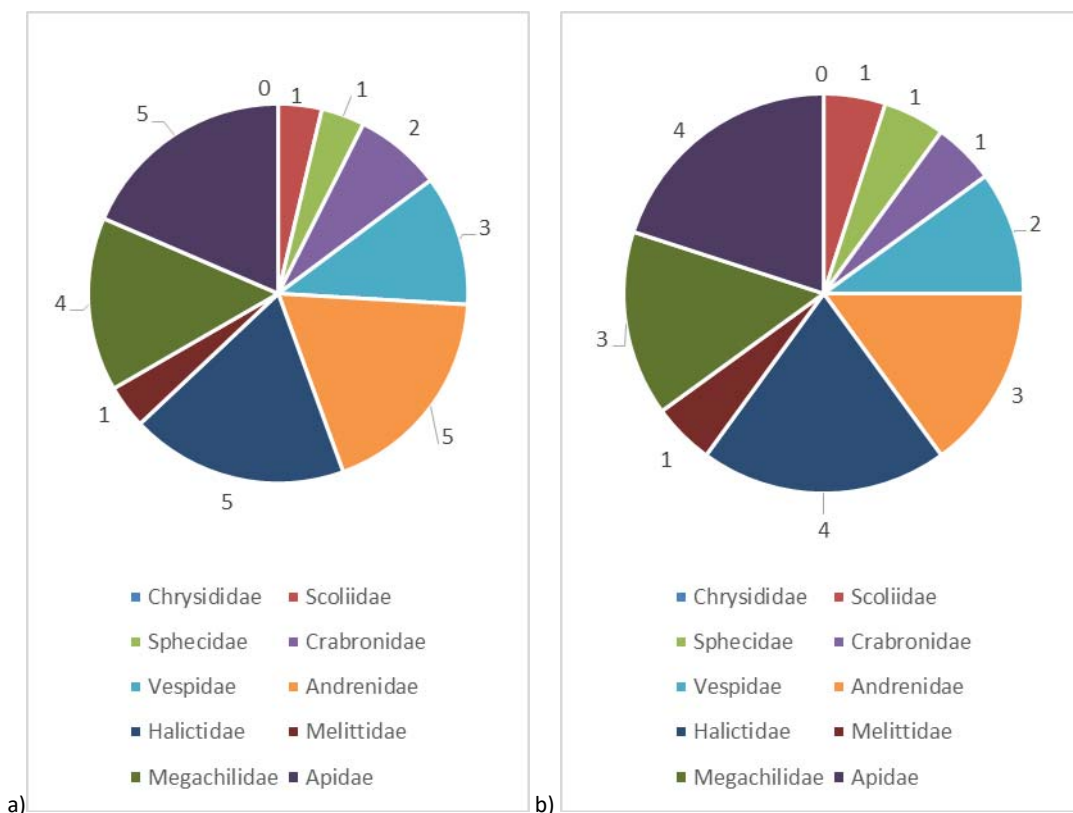


Рисунок 2. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике в Каневском р-не, 2017–2022 гг.: а) всего видов и семейств в агроценозе; б) из них на цветках подсолнечника

Figure 2. The number of hymenopteran insect species on sunflower in the Kanevskoy district, 2017–2022: а) total species and families in agroecosystem; б) of them on sunflower

Таблица 1. Многообразие и относительное обилие перепончатокрылых в агроценозах подсолнечника в Краснодарском крае
Table 1. Diversity and relative abundance of hymenopterous insects in sunflower agrocenoses in Krasnodar Territory

№ п/п		Семейства и виды перепончатокрылых Families and species of Hymenoptera		Районы сборов и наблюдений / Collection and observation areas														Усть- Лабинский Ust-Labinsky	
				Каневской Kanevskaya		Красноармейский Krasnoarmeisky		Крыловской Krylovsky		Тбилисский Tbilisskiy		Темрюкский Temryuksky		Лабинский Labinsky					
				A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
Chrysididae																			
1.	<i>Hedychridium roseum</i> Rossi, 1790					+	+												
2.	<i>Stilbum calens</i> (Fabricius, 1781)					+	+												
Scoliidae																			
3.	<i>Megascolia maculata</i> (Drury, 1773)	++	+	+		++	+			++		+++							
Sphecidae																			
4.	<i>Sphex funerarius</i> Gussakovskij, 1934	+	+																
5.	<i>Ammophila heydeni</i> Dahlbom, 1845			+	+					+									
6.	<i>Podalonia tydei</i> (Le Guillou, 1841)									+									
7.	<i>Prionyx subfuscatus</i> (Dahlbom, 1845)											+	+	+	+				
Crabronidae																			
8.	<i>Philantus triangulum</i> (Fabricius, 1775)	+						+		+			+	+	+				
9.	<i>Lestica clypeata</i> Schreber, 1759	++	+			+				+			+	+	+				
10.	<i>Bembix rostrata</i> Linnaeus, 1758					+				+									
Vespidae																			
11.	<i>Polistes gallicus</i> (Linnaeus, 1767)	+++	+	+++		+++		+++		+++		+++							
12.	<i>P. dominula</i> (Christ, 1791)	+++		+++	+	+++		+++		+++		+++		+++					
13.	<i>Vespula germanica</i> (Fabricius, 1793)			+		+		+											
14.	<i>Ancistrocerus auctus</i> (Fabricius, 1793)	+	+																
15.	<i>Euodynerus dantici</i> (Rossi, 1790)																		
16.	<i>Eumenes pomiformis</i> Fabricius, 1781			+				+	+										
Andrenidae																			
17.	<i>Andrena rosea</i> Panzer, 1801	+		+	+			+	+			+++	+	+	+				
18.	<i>A. coitana</i> (Kirby, 1802)	+	+					++	++										
19.	<i>A. flavipes</i> Panzer, 1799			++	+	+	+					++	++						
20.	<i>A. nitida</i> (Muller, 1776)	++	++																
21.	<i>A. pilipes</i> Fabricius, 1781	+	+			+++	+			+				+	+				
22.	<i>A. ornata</i> Morawitz, 1866	+				+	+												

Halictidae													
23.	<i>Halictus quadricinctus</i> (Fabricius, 1776)	+	+	++	+	+	+	++	+	+	+	+	+
24.	<i>H. rubicundus</i> Christ, 1791	+	+										+
25.	<i>H. tumulorum</i> (Linnaeus, 1758)	++	+		+++	++	++	++	++	++	++	++	+
26.	<i>Evilaeus punctaticollis</i> (Mor., 1872)	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++	
27.	<i>Nomiapis femoralis</i> (Pallas, 1773)			+									
28.	<i>Systropha curvicaulis</i> (Scopoli, 1770)	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+	++	++	+++	+++
Melittidae													
29.	<i>Dasypoda altercator</i> Harris, 1780			+	+	+					+		
30.	<i>Melitta leporina</i> Panzer, 1799	++	+	+	+	+	+						
Megachilidae													
31.	<i>Anthidium florentinum</i> Fabricius, 1775	+	+	+	+		+						
32.	<i>A. manicatum</i> Linnaeus, 1758	++				+					++	+	+
33.	<i>Lithurgus cornutus</i> Fabricius, 1787						++	+				+	+
34.	<i>Megachile pilidens</i> Alfken, 1924	+	+	+	+	+	+	++	+	++			
35.	<i>M. pilicrus</i> Morawitz, 1877			++	+	+	+	+	+	+	+	+	+
36.	<i>M. centuncularis</i> Linnaeus, 1758			++	+	+	+	++	+	++			
37.	<i>M. alpicola</i> Alfken, 1924			+					+	+	+		
38.	<i>Osmia andreoides</i> Spinola, 1808	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+
39.	<i>O. caerulea</i> Linnaeus, 1758			+	+	+						+	+
Apidae													
40.	<i>Amegilla quadrifasciata</i> (de Villers, 1789)	++	+	+	+	+	++	++	++	++	+	+	+
41.	<i>A. albigena</i> (Lepeletier, 1841)					+++	++						
42.	<i>Bombus argillaceus</i> (Scopoli, 1763)		+	+	+								
43.	<i>B. haematurus</i> Kriechbaumer, 1870		+++	+++	+	+	+	+	+				
44.	<i>B. lapidarius</i> (Linnaeus, 1758)				+	+	++	++	++	++	+	+	++
45.	<i>B. pascuorum</i> (Scopoli, 1763)	+	+	++	+	+	+	++	++	++	+	+	++
46.	<i>B. sylvarum</i> (Linnaeus, 1761)			+	+	+	+	+	+	++	+	+	+
47.	<i>B. terrestris</i> (Linnaeus, 1758)	++	++	+++	++	+	++	+	+	++	++	+	+
48.	<i>Eucera chrysopyga</i> Pérez, 1879			+	+	+	+	+	+	++	+	+	+
49.	<i>E. longicornis</i> (Linnaeus, 1758)	+		+	+	+	+	+	+	++	+	+	+
50.	<i>Melecta albifrons</i> (Foerster, 1771)			+	+	+	+	+	+	+++	+	+	+
51.	<i>Notomada fulvicornis</i> Fabricius, 1793									+	+	+	+
52.	<i>Rhopitoides canus</i> (Eversmann, 1852)	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
53.	<i>Xylocopa violacea</i> (Linnaeus, 1758)			++	+	+	+	+	+	++	++	+	+

Условные обозначения: «+» – встречается; «++» – обычный; «+++» – массовый; А – встречаются в агроценозе; В – посещают цветки подсолнечника
 Symbols: "+" – occurs; "++" – normal; "+++ – mass; A – found in agroecosystem; B – visit sunflower flowers

В Красноармейском районе в агроценозе подсолнечника отмечено 32 вида перепончатокрылых, из которых непосредственно на корзинках подсолнечника отмечено 22 (рис. 3).

В Крыловском районе в агроценозе подсолнечника отмечено 27 видов перепончатокрылых (рис. 4).

В Тбилисском районе в агроценозе подсолнечника отмечено 22 вида перепончатокрылых, из которых непосредственно на подсолнечнике отмечено

15. Здесь практически полностью отсутствуют представители ос, кроме трех видов Vespidae, обычных и в других районах, а также *Philantus triangulum*, охотящегося здесь на медоносных пчел. Также отмечено низкое разнообразие Andrenidae и Halictidae (рис. 5).

В Темрюкском районе в агроценозе подсолнечника отмечено 22 вида перепончатокрылых, из которых непосредственно на соцветиях подсолнечника отмечено всего три (рис. 6).

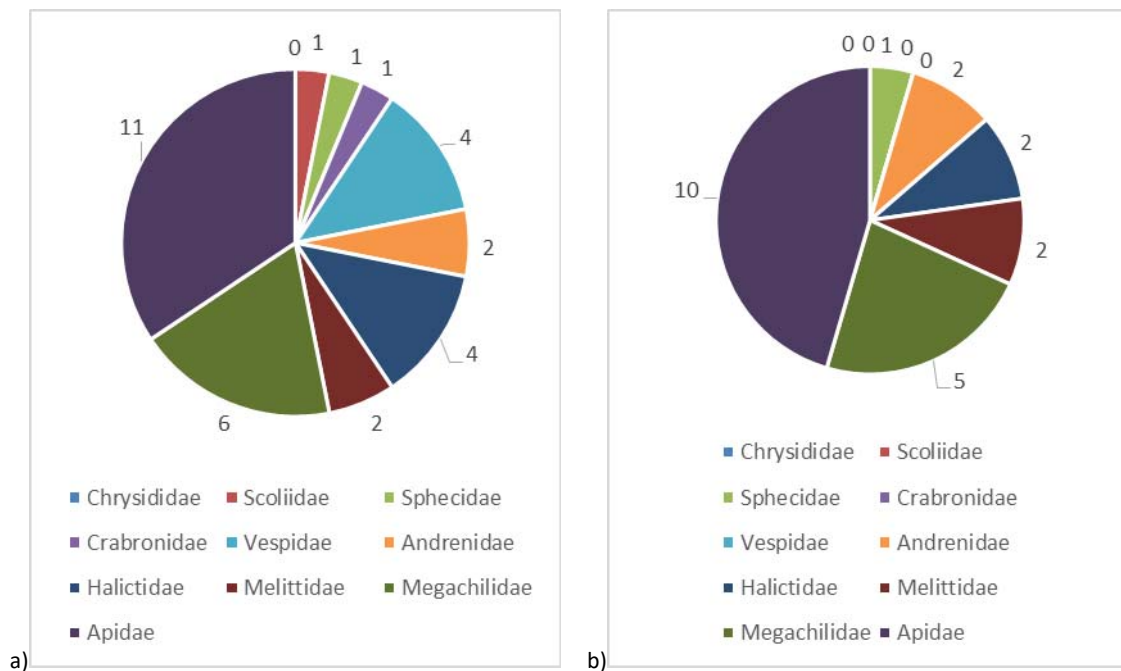


Рисунок 3. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике в Красноармейском р-не, 2017–2022 гг.: а) всего видов и семейств в агроценозе; б) из них на цветках подсолнечника

Figure 3. The number of hymenopteran insect species on sunflower in the Krasnoarmeyskiy district, 2017–2022: a) total species and families in the agroecosystem; b) of them on sunflower

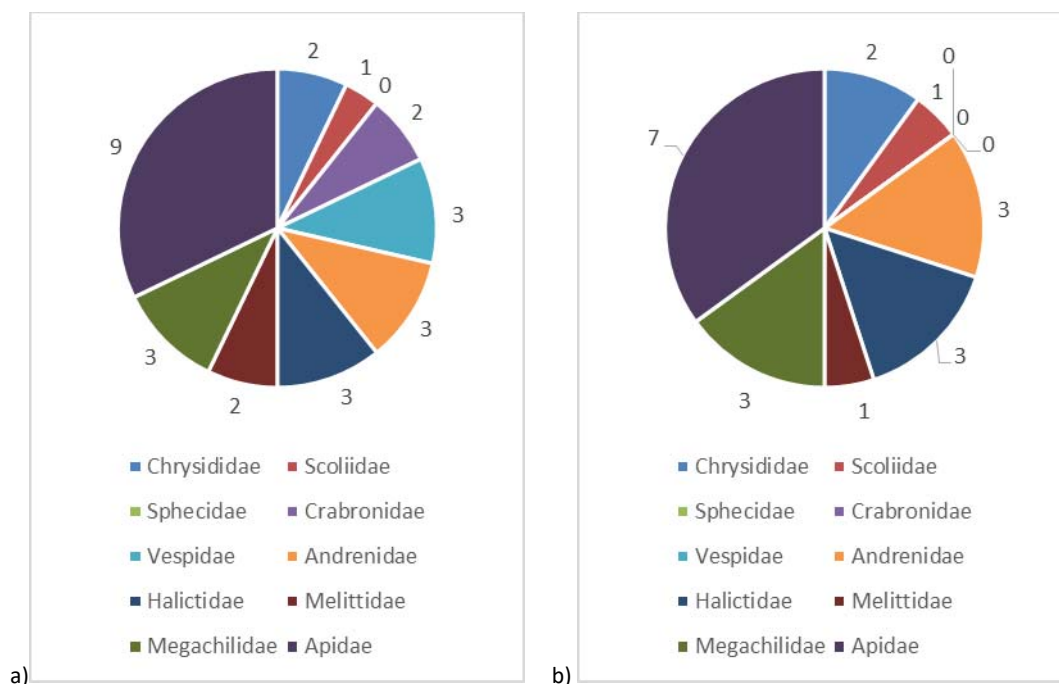


Рисунок 4. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике в Крыловском р-не, 2017–2022 гг.: а) всего видов и семейств в агроценозе; б) из них на цветках подсолнечника

Figure 4. The number of hymenopteran insect species on sunflower in the Krylovskoy district, 2017–2022: a) total species and families in agroecosystem; b) of which on sunflower

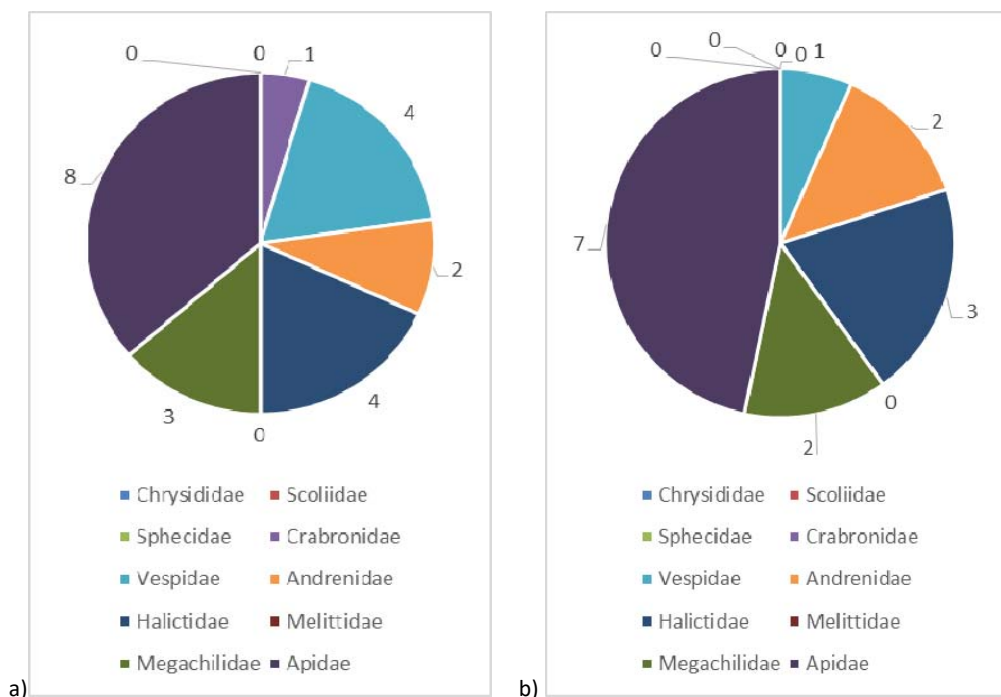


Рисунок 5. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике в Тбилисском р-не, 2017–2022 гг.: а) всего видов и семейств в агроценозе; б) из них на цветках подсолнечника

Figure 5. The number of hymenopteran insect species on sunflower in the Tbilisskiy district, 2017–2022: а) total species and families in the agroecosystem; б) of which on sunflower

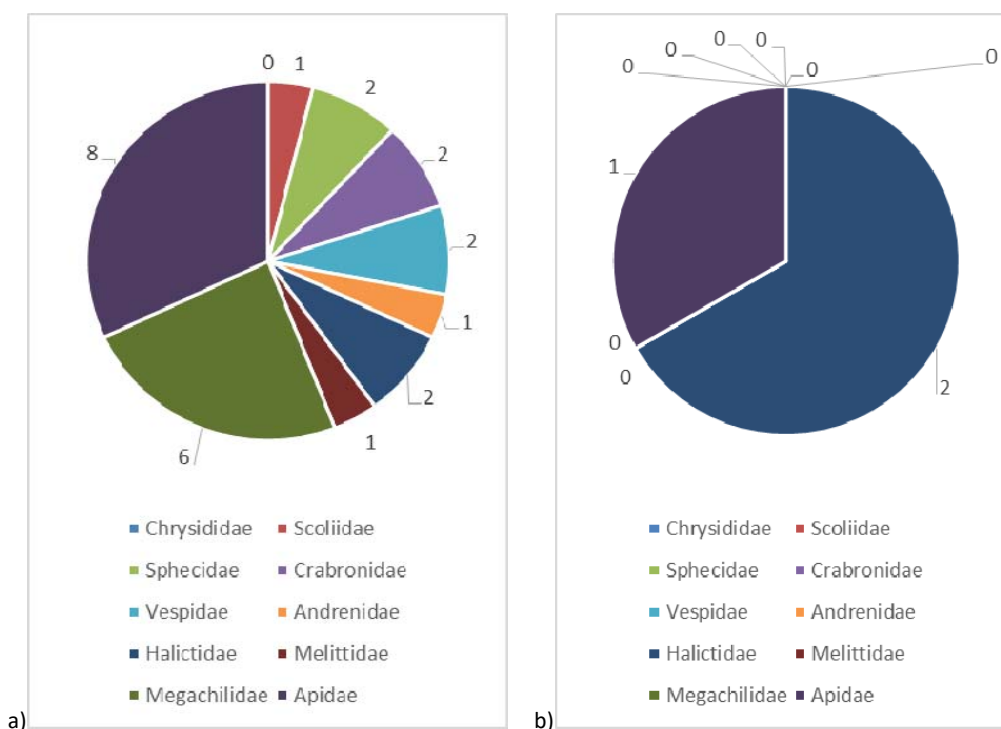


Рисунок 6. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике в Темрюкском р-не, 2017–2022 гг.: а) всего видов и семейств в агроценозе; б) из них на цветках подсолнечника

Figure 6. The number of hymenopteran insect species on sunflower in the Temryukskiy district, 2017–2022: а) total species and families in agroecosystem; б) of which on sunflower

При общей достаточно обширной фауне, включающей не менее 50 видов [13; 14], подсолнечником интересуется наименьшее количество видов пчел среди всех районов. При этом только в данном локалитете отмечено неоднократное посещение подсолнечника *Systropha curvicornis*, видом, который специализирован на посещении вьюнков. На вьюнке данных пчел было также очень

много, как и в остальных локалитетах, но нигде больше на подсолнечнике. Здесь же две самки и самец *S. curvicornis* отмечены также на нехарактерной для него скабиозе. Еще один вид *Evilaeus punctaticollis* – обнаружен только на корзинках подсолнечника, на других растениях, привлекаемых для всех остальных насекомых, не встречен ни разу. Особенности данного агроценоза также является

отсутствие медоносной пчелы, поскольку поблизости отсутствуют любительские и промышленные пасеки.

В Лабинском р-не в агроценозе подсолнечника отмечено 18 видов перепончатокрылых, из которых

только половина посещает корзинки подсолнечника. Здесь подсолнечник не посещается всеми представителями семейств ос, а из 15 видов пчел на цветках отмечены лишь 9 (рис. 7).

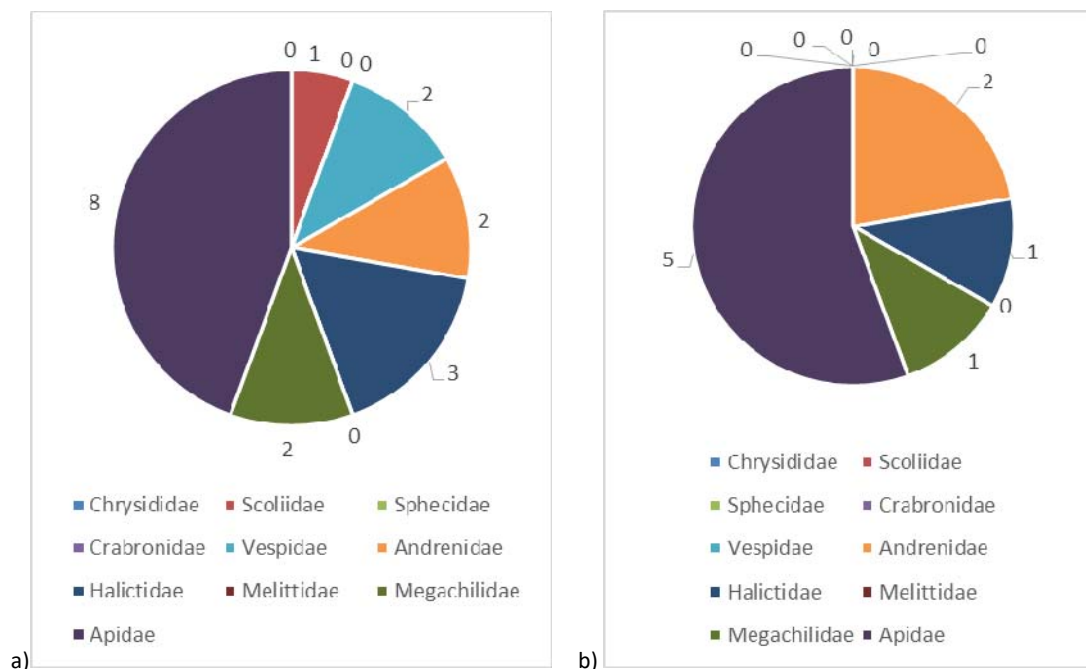


Рисунок 7. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике в Лабинском р-не, 2017–2022 гг.: а) всего видов и семейств в агроценозе; б) из них на цветках подсолнечника

Figure 7. The number of hymenopteran insect species on sunflower in the Labinskiy district, 2017–2022: a) total species and families in agroecosystem; b) of which on sunflower

В Усть-Лабинском районе в агроценозе подсолнечника отмечено 20 видов перепончатокрылых, из них непосредственно на цветках подсолнечника отмечено 18 (рис. 8). Это единственный район края, в котором практически все перепончатые, встреченные в агроце-

нозе подсолнечника, питаются на его цветках. Исключением являются только складчатокрылые осы и *Systropha curvicornis*, которая специализирована на посещении выюнков и была отмечена на подсолнечнике только в Темрюкском районе.

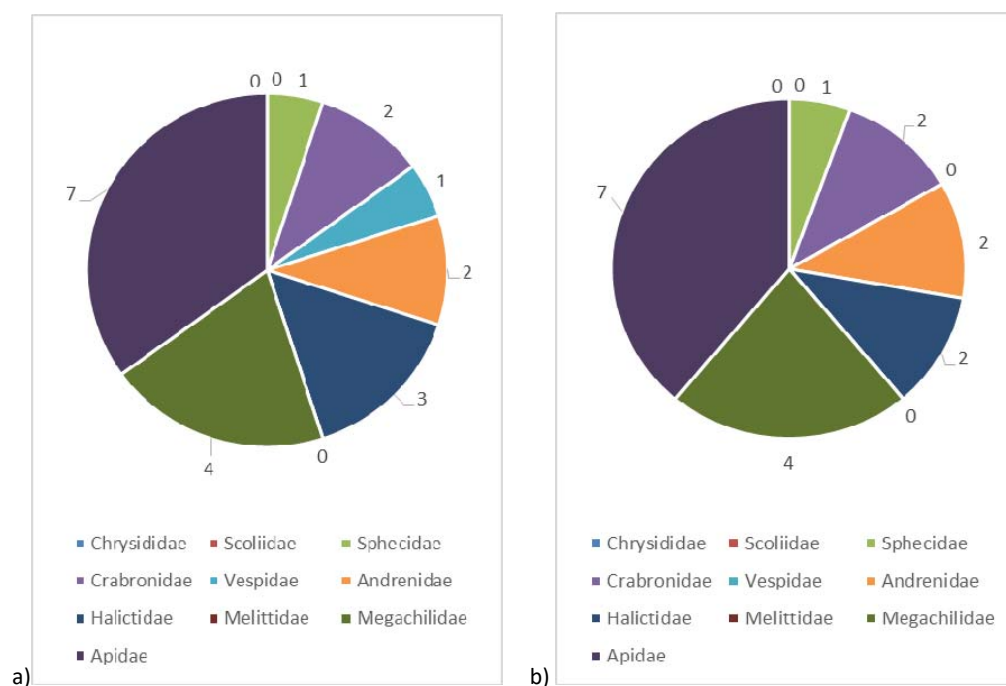


Рисунок 8. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике в Усть-Лабинском р-не, 2017–2022 гг.: а) всего видов и семейств в агроценозе; б) из них на цветках подсолнечника

Figure 8. The number of hymenopteran insect species on sunflower in the Ust-Labinskiy district, 2017–2022: a) total species and families in the agroecosystem; b) of which on sunflower

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Всего в агроценозах подсолнечника в семи районах Краснодарского края в течение пятилетних исследований выявлено 53 вида перепончатокрылых насекомых из 10 семейств. Менее всего отмечено представителей семейства сколий – один вид *Megascolia maculata*, которая встречается в пяти районах и в двух из них отмечена на подсолнечнике. Два вида ос-блестянок Chrysididae указаны только для Крыловского района и представлены одиночными экземплярами. Представители Sphecidae представлены в агроценозах крайне незначительно, возможно их более широкому распространению и более высокой численности препятствует многократная обработка почвы в течение года, что приводит к непосредственной гибели всех преимагинальных стадий. Всего здесь отмечены четыре вида ос. Crabronidae в агроценозах подсолнечника представлены тремя видами, их география распространения в крае достаточно широка – отмечены в пяти районах, но питался на цветках лишь один самец *Lestica clypeata* в Каневском районе.

Семейство пчел Andrenidae представлено в агроценозе 6 видами, каждый из которых отмечен на корзинках подсолнечника. Все виды представлены исключительно самками, собирающими пыльцу. Численность видов высока, за исключением *Andrena ornata*, собранной в единственном экземпляре в Крыловском районе.

Фауна Halictidae в количестве 6 видов достаточно обычна на подсолнечнике, за исключением *Halictus rubicundus*, указанного в единственном экземпляре только для Каневского района и *Nomiapis femoralis* для Красноармейского, но в последнем случае не на подсолнечнике. Это может свидетельствовать о низкой численности данных видов, не позволяющей достоверно их выделять в экосистеме.

Представители Melittidae крайне малочисленны практически во всех локалитетах, при этом *Melitta leporina* отмечена на цветках подсолнечника во всех трех районах, в которых встречается.

Фауна Megachilidae агроценоза подсолнечника представлена 9 видами, практически все из которых отмечены и на цветках, однако, в силу малочисленности большинства видов опылительного значения не имеют, а в Темрюкском районе и полностью игнорируют подсолнечник, несмотря на большое разнообразие и численность в окружающих экосистемах [15]. Виды *Anthidium florentinum* и *A. manicatum* были представлены исключительно самцами, а самки предпочитали дикие бобовые.

Практически во всех районах исследования самыми распространенными опылителями подсолнечника являются представители Apidae, чья численность и видовое разнообразие являются максимальными. Здесь преобладают шмели (*Bombus*), которые концентрируются именно на корзинках подсолнечника, активно собирая пыльцу и практически игнорируя представителей остальной флоры. Ранее было выявлена склонность шмелей к посещению подсолнечника [16–18], что нашло подтверждение в данных исследованиях. При этом несколько рабочих особей *B. terrestris* проявляли свои способности «операторов» в попытках прогрызть корзинки через листья обертки, в попытках добраться до нектара в нераскрывшихся цветках, что является обычным поведением для этого вида [19].

Сравнивая распределение перепончатокрылых опылителей по различным локалитетам (рис. 9) и количество видов каждого семейства, участвующего в опылении подсолнечника в целом (рис. 10), можно сделать вывод, что зависимость пчел и ос от наличия цветущего подсолнечника в экосистеме является лишь дополнительным, не самым важным фактором в обеспечении их пищей. В каждом районе складываются конкретные условия, либо стимулирующие насекомых к питанию на подсолнечнике, либо нет, по-видимому, данная ситуация зависит от севооборота, способов обработки почвы и наличия естественных кормовых ресурсов.

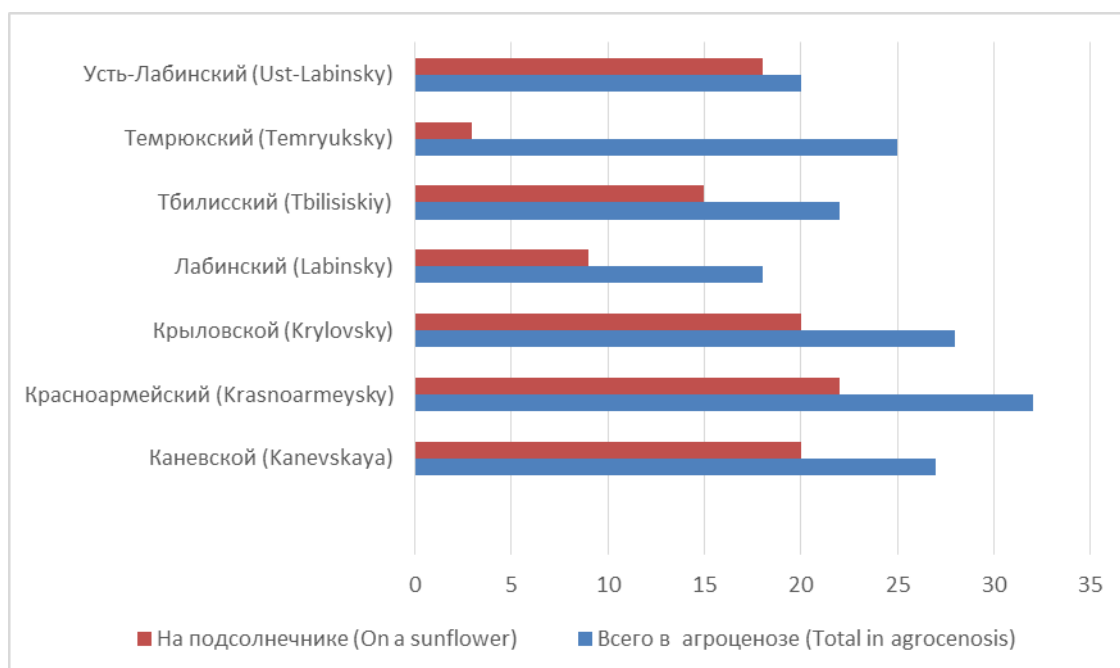


Рисунок 9. Количество видов перепончатокрылых насекомых на подсолнечнике по районам исследований

Figure 9. Number of hymenopteran insect species on sunflower by research areas

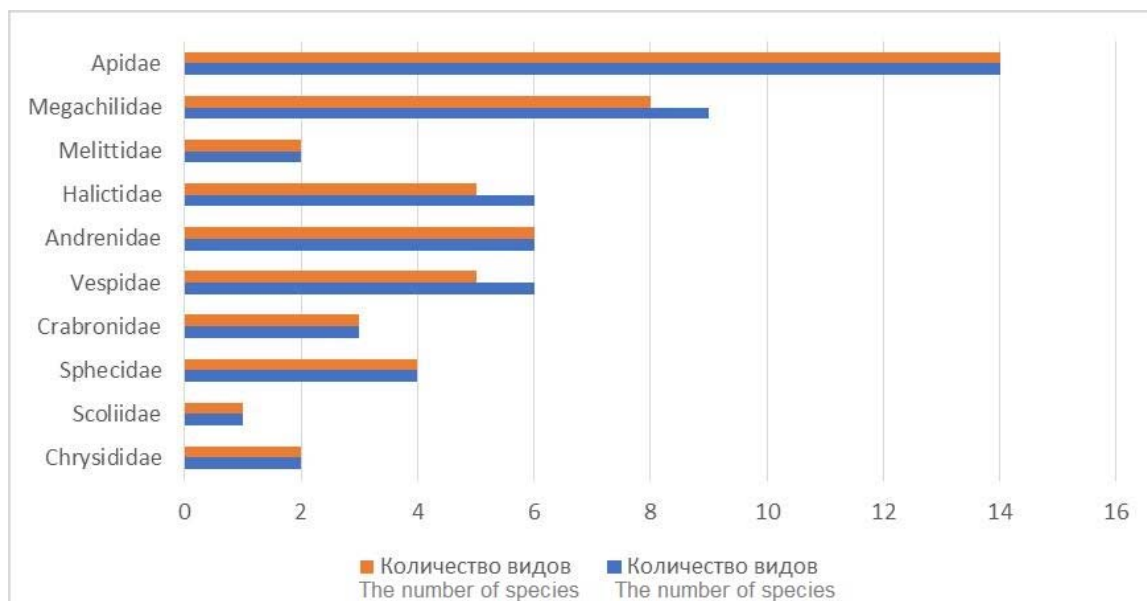


Рисунок 10. Количество видов перепончатокрылых насекомых в агроценозе и на подсолнечнике

Figure 10. The number of hymenopteran insect species in the agroecosystem and on sunflower

Одни и те же виды насекомых в части районов посещают цветки подсолнечника, в других их полностью игнорируют. Тем не менее, как свидетельствует рисунок 10, подсолнечник, учитывая площади его возделывания и продолжительность цветения, представляет собой один из компонентов сезонного цветочного конвейера, необходимого для поддержания видового разнообразия перепончатокрылых насекомых [20; 21], поскольку практически все виды, выявленные в его агроценозах, за исключением всего трех (менее 5,7%) зависят от его присутствия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0001 при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня Межрегионального научно-образовательного центра Юга России Волгоградской области, Краснодарского края и Ростовской области в рамках мероприятия № 2.1.9.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research work on topic № FGRN-2022-0001 with the support of the world-class scientific and educational center of the Interregional Scientific and Educational Centre of the South of Russia in the Volgograd Region, Krasnodar Territory and Rostov Region within the framework of event No. 2.1.9.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малюга Н.Г., Квашин А.А., Загоруйко А.В. Подсолнечник. Биология и агротехника выращивания на юге России: монография. Краснодар, 2011. 302 с.
2. Kareiva P., Marvier M. What is conservation science? // *BioScience*. 2012. V. 62. P. 962–969. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.11.5>
3. CBD. Strategic plan for biodiversity 2011–2020 and the aichi biodiversity targets.// Convention of Biological Diversity. Available at: <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268> (2010) (дата обращения: 13.01.2014)
4. EC. An EU Biodiversity strategy to 2030. COM (2011) 244 final, Brussels. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en (дата обращения: 10.03.2023)
5. Витион П.Г. Опыт привлечения энтомофагов и насекомых-опылителей ароматическими и медоносными растениями // *Евразийский энтомологический журнал*. 2016. Т. 15. N 1. С. 89–94.
6. Felicity V. Sélection du Tournesol: Tour d'Horizon de 50 Années d'Evolution INRA UMR 1095, Domaine de Crouelle, 234 avenue du Brezet, 63100 Clermont-Ferrand, France, OCL, 2016. V. 23. N 2. P.8. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016006>
7. Jarrad R. Prasifka. Sunflower Insect Pests // *Sunflower Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. 2015. P. 157–174. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-94-3.50012-X>
8. Кутюкова О.В., Никитин Д.А., Гераскина А.П. Технология no-till как фактор активности почвенных беспозвоночных в агроценозах Ставропольского края // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. N 1. С. 199–210. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.1.199rus>
9. Frouz J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization // *Geoderma*. 2018. V. 332. P. 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.039>
10. Артохин К.С. Определитель насекомых юга России: учеб. Пособие. Ростов-на-Дону: изд. Foundation, 2016. 1036 с.
11. Mokrousov M.V., Popov I.B. Digger wasps (Hymenoptera, Apoidea: Ampulicidae, Sphecidae, Crabronidae) of the Black Sea coast of Krasnodar Territory, Abkhazia, and adjacent areas // *Entomological Review*. 2016. V. 96. Iss. 5. P. 559–599.
12. Попов И.Б., Кремнева О.Ю. Сфекоидные осы (Hymenoptera: Sphecidae, Crabronidae) как элемент биологической защиты растений в агроэкосистемах Краснодарского края // *Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Материалы Международной научно-практической конференции*. 2018. С. 127–130.
13. Попов И.Б., Лептягин Д.О., Ковалева А.И. Возможности использования желтых ловушек Мерики для фаунистических исследований перепончатокрылых насекомых // *Зоологические чтения. Сборник, посвященный 130-летию доктора биологических наук, профессора А.В. Федюшина*. Гродно, ГрГУ им. Янки Купала, 2021. С. 178–180.

14. Пачкин А.А., Попов И.Б., Кремнева О.Ю., Зеленский Р.А. Применение светоловушек для отлова насекомых в агроценозе подсолнечника // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. N 12. С. 73–76. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11215>
15. Fateryga A.V., Proshchalykin M.Yu., Astafurova Yu.V., Popov I.B. New records of megachilid bees (Hymenoptera, Megachilidae) from the North Caucasus and neighboring regions of Russia. // Entomological Review. 2018. V. 98(9). P. 1165–1174.
16. Попов И.Б. Трофические связи шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus*) Северо-Западного Кавказа. Сообщение 1 (подроды *Kallobombus* Dalla Torre и *Megabombus* Dalla Torre) // Труды КубГАУ. 2009. Т. 21. С. 71–76.
17. Попов И.Б. Трофические связи шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus*) Северо-Западного Кавказа // Сообщение 2 (подроды: *Bombus* Latreille, *Alpigenobombus* Skorikov, *Cullumanobombus* Vogt, *Melanobombus* Dalla Torre, *Pyrobombus* Dalla Torre). Труды КубГАУ. 2010. Т. 1(22). С. 48–52.
18. Попов И.Б. Трофические связи шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus*) Северо-Западного Кавказа. Сообщение 3 (подроды: *Subterraneobombus* Vogt, *Thoracobombus* Dalla Torre, *Rhodobombus* Dalla Torre, *Mendacibombus* Skorikov) // Труды КубГАУ. 2010. Т. 3(24). С. 35–40.
19. Попов И. Б. Оперирование цветков шмелями при фуражировке (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) // Труды Русского энтомологического общества. 2010. Т. 81(2). С. 148–152.
20. Попов И.Б. Трофический конвейер и его роль в жизни шмелей (Hymenoptera, *Bombus*) в условиях Краснодарского края // Труды КубГАУ, 2008. Т. 5(9). С. 145–149.
21. Ченикалова Е.В., Коломыцева В.А. Полезная энтомофауна и поддержание разнообразия в посевах подсолнечника // Защита и карантин растений. 2018. Т. 8. С. 22–23.
- biology, 2021, vol. 56, no. 1, pp. 199–210. (In Russian) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.199rus>
9. Frouz J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma*, 2018, vol. 332, pp. 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.039>
10. Artokhin K.S. *Opredelitel' nasekomykh yuga Rossii* [The determinant of insects of the South of Russia]. Rostov-on-Don, Foundation Publ., 2016, 1036 p. (In Russian)
11. Mokrousov M.V., Popov I.B. Digger wasps (Hymenoptera, Apoidea: Ampulicidae, Sphecidae, Crabronidae) of the Black Sea coast of Krasnodar Territory, Abkhazia, and adjacent areas. Entomological Review. 2016, vol. 96, iss. 5, pp. 559–599.
12. Popov I.B., Kremneva O.Y. Sfekoidnye osy (Hymenoptera: Sphecidae, Crabronidae) kak element biologicheskoi zashity rastenii v agroekosistemakh Krasnodarskogo kraia [Sphecoid wasps (Hymenoptera: Sphecidae, Crabronidae) as an element of biological protection of plants in agroecosystems of Krasnodar Krai]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Biological plant protection is the basis for the stabilization of agroecosystems"*. [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Biologicheskaya zashchita rastenii – osnova stabilizatsii agroekosistem"]. 2018, pp. 127–130. (In Russian)
13. Popov I.B., Letyagin D.O., Kovaleva A.I. Possibilities of using yellow Merike traps for faunal studies of hymenopteran insects. In: *Zoologicheskie chteniya* [Zoological readings]. Grodno, GrSU Publ., 2021, pp. 178–180. (In Russian)
14. Pachkin A.A., Popov I.B., Kremneva O.Yu., Zelensky R.A. The use of light traps for trapping insects in sunflower agrocenosis. *Achievements of Science and Technology of APK*, 2019, vol. 33, no. 12. pp. 73–76. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11215>
15. Fateryga A.V., Proshchalykin M.Yu., Astafurova Yu.V., Popov I.B. 2019. New records of megachilid bees (Hymenoptera, Megachilidae) from the North Caucasus and neighboring regions of Russia. *Entomological Review*, 2018, vol. 98(9), pp. 1165–1174.
16. Popov I.B. Trophic connections of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus*) North-Western Caucasus. Post 1 (subgenera *Kallobombus* Dalla Torre and *Megabombus* Dalla Torre). Trudy KubGAU [Proceedings of the KubGAU]. 2009, vol. 21, pp. 71–76. (In Russian)
17. Popov I.B. Trophic connections of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus*) North-Western Caucasus. Post 2 (subgenera: *Bombus* Latreille, *Alpigenobombus* Skorikov, *Cullumanobombus* Vogt, *Melanobombus* Dalla Torre, *Pyrobombus* Dalla Torre). Trudy KubGAU [Proceedings of the KubGAU]. 2010, vol. 1(22), pp. 48–52. (In Russian)
18. Popov I.B. Trophic connections of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus*) North-Western Caucasus. Post 3 (subgenera: *Subterraneobombus* Vogt, *Thoracobombus* Dalla Torre, *Rhodobombus* Dalla Torre, *Mendacibombus* Skorikov). Trudy KubGAU [Proceedings of the KubGAU]. 2010, vol. 3(24), pp. 35–40. (In Russian)
19. Popov I.B. The operation of bumblebee flowers during foraging (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.). In: *Trudy Russkogo entomologicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Russian Entomological Society]. 2010, vol. 81(2), pp. 148–152. (In Russian)
20. Popov I.B. Trophic conveyor and its role in the life of bumblebees (Hymenoptera, *Bombus*) in the conditions of the Krasnodar Territory. Trudy KubGAU [Proceedings of the KubSAU]. 2008, vol. 5(9), pp. 145–149. (In Russian)
21. Chenikalova E.V., Kolomytseva V.A. Useful entomofauna and maintenance of diversity in sunflower crops. Zashchita i karantin rastenii [Protection and quarantine of plants]. 2018, vol. 8, pp. 22–23. (In Russian)

REFERENCES

1. Malyuga N.G., Kvashin A.A., Zagorulko A.V. *Podsolnechnik. Biologiya i agrotehnika vyrashchivaniya na yuge Rossii: monografiya* [Sunflower. Biology and agrotechnics of cultivation in the South of Russia]. Krasnodar, 2011, 302 p. (In Russian)
2. Kareiva P., Marvier M. What is conservation science? *BioScience*, 2012, vol. 62, pp. 962–969. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.11.5>
3. CBD. Strategic plan for biodiversity 2011–2020 and the aichi biodiversity targets. *Convention of Biological Diversity*, available at: <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268> (2010) (accessed 13.01.2014)
4. EC. An EU Biodiversity strategy to 2030. COM(2011) 244 final, Brussels. Available at: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en (accessed 10.03.2023)
5. Vition P.G. The experience of attracting entomophages and insect pollinators with aromatic and honey plants. *Eurasian Entomological Journal*, 2016, vol. 15, no. 1, pp. 89–94. (In Russian)
6. Felicity V. Sélection du tournesol: Tour d’Horizon de 50 Années d’Evolution INRA UMR 1095, Domaine de Crouelle, 234 avenue du Brezet, 63100 Clermont-Ferrand, France, OCL, 2016, vol. 23, no. 2, pp. 8. <https://doi.org/10.1051/oc/2016006>
7. Jarrad R. Prasifka Sunflower Insect Pests. *Sunflower Chemistry, Production, Processing, and Utilization*, 2015, pp. 157–174 <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-94-3.50012-X>
8. Kutovaya O.V., Nikitin D.A., Geraskina A.P. No-till technology as a factor of activity of soil invertebrates in agrochernozems of the Stavropol Territory. *Agricultural*

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Игорь Б. Попов разработал концепцию, определил методологию, провел исследование, проанализировал данные, написал рукопись. Оксана Ю. Кремнева разработала концепцию, редактировала рукопись, занималась привлечением финансирования. Алексей А. Пачкин, Ярослав С. Ермаков, Данил О. Лептягин провели исследование. 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

Igor B. Popov developed the concept, determined the methodology, conducted the research, analyzed the data and wrote the manuscript. Oksana Yu. Kremneva developed the concept, edited the manuscript and was involved in fundraising. Aleksey A. Pachkin, Yaroslav S. Ermakov and Danil O. Leptyagin conducted research. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Игорь Б. Попов / Igor B. Popov <https://orcid.org/0009-0006-8844-3827>
Оксана Ю. Кремнева / Oksana Yu. Kremneva <https://orcid.org/0000-0003-0982-6821>
Алексей А. Пачкин / Aleksey A. Pachkin <https://orcid.org/0000-0002-8649-2418>
Ярослав С. Ермаков / Yaroslav S. Ermakov <https://orcid.org/0000-0002-5924-7222>
Данил О. Лептягин / Danil O. Leptyagin <https://orcid.org/0009-0005-0321-1537>

Оригинальная статья / Original article
УДК 632.4 (632.9)
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-140-151

Влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней

Мария С. Гвоздева, Галина В. Волкова

Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Мария С. Гвоздева, научный сотрудник
лаборатории иммунитета растений к болезням,
ФГБНУ ФНЦБЗР; 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. Влияние различных
систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на
развитие грибных болезней // Юг России:
экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 140-151.
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-140-151

Получена 31 марта 2023 г.
Прошла рецензирование 20 апреля 2023 г.
Принята 27 апреля 2023 г.

Резюме

Цель. Изучить влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней в условиях центральной зоны Краснодарского края.

Материал и методы. Исследования проводили 2018–2021 гг. в условиях полевого стационара ФГБНУ ФНЦБЗР на озимой пшенице сорта Сварог. Климат вегетационных сезонов 2018–2019 гг. и 2020–2021 гг. был благоприятным для роста растений и развития фитопатогенов. Сезон 2019–2020 гг. отличался недостатком влаги и весенними заморозками. Опыт предусматривал три системы защиты от грибных заболеваний – биологическую, интегрированную и химическую. Также был предусмотрен контроль (без обработки).

Результаты. Эффективность биологической системы защиты против фузариозной корневой гнили составила 33,9%, против септориоза листьев – 52,2%, против желтой пятнистости – 43,5%. Биологическая эффективность интегрированной системы защиты против указанных заболеваний составила 54,7%, 72,5% и 52,2% соответственно; химической защиты – 54,9%, 82,6% и 63,5% соответственно. Прибавка урожая зерна к контролю (без обработки) при использовании биологической системы защиты была на уровне 9,3%, интегрированной – 11,6%, химической – 16,5%. Уровень рентабельности при этом составил 117,9%, 107,3% и 101,0% соответственно.

Заключение. Использование биологической защиты озимой пшеницы сорта Сварог эффективно и может быть рекомендовано для производственной практики с целью снижения пестицидной нагрузки на агроценоз.

Ключевые слова

Озимая пшеница, фузариозная корневая гниль, септориоз, желтая пятнистость листьев, биологическая защита, хозяйственная эффективность.

The influence of various methods of protection of the winter wheat variety Svarog against the development of fungal diseases

Maria S. Gvozdeva and Galina V. Volkova

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Maria S. Gvozdeva, Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Research Centre of Biological Plant Protection (FRCBPP); 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. The influence of various methods of protection of the winter wheat variety Svarog against the development of fungal diseases. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 140-151. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-140-151

Received 31 March 2023

Revised 20 April 2023

Accepted 27 April 2023

Abstract

Aim. To study the influence of various methods of protecting winter wheat of the Svarog variety against the development of fungal diseases in the conditions of the central zone of Krasnodar Territory.

Material and Methods. The studies were carried out in 2018–2021 on winter wheat of the Svarog variety in the conditions of the field station of the FRCBPP. The climate of the 2018–2019 and 2020–2021 growing seasons was favourable for plant growth and development of phytopathogens. The 2019–2020 season was characterised by a lack of moisture and spring frosts. The experiment provided for three methods of protection – biological, integrated and chemical. A control (without processing) was also provided.

Results. The effectiveness of the biological protection system against Fusarium root rot was 33.9%, against leaf septoria 52.2% and against yellow spot 43.5%. The biological effectiveness of the integrated protection system against these diseases was 54.7%, 72.5% and 52.2%, respectively, while effectiveness of chemical protection was 54.9%, 82.6% and 63.5%, respectively. The increase in grain yield compared to the control (i.e. without treatment) was: when using a biological protection system 9.3%; integrated; 11.6%; and chemical 16.5%. The level of profitability at the same time amounted to 117.9%, 107.3% and 101.0%, respectively.

Conclusion. The use of biological protection of winter wheat variety Svarog is effective and can be recommended for production practice in order to reduce the pesticide load on the agrocenosis.

Key Words

Winter wheat, Fusarium root rot, Septoria, yellow leaf spot, biological protection, economic efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница является главной продовольственной и стратегической культурой в России. По данным Федеральной службы государственной статистики, ее посевные площади ежегодно составляют более 28 миллионов гектаров [1]. В Краснодарском крае озимая пшеница занимает ведущее место, это связано с почвенно-климатическими требованиями культуры, которые совпадают с условиями данной агроклиматической зоны. В 2022 году в крае было высеяно 1,6 миллионов гектаров, средняя урожайность составила 66,4 ц/га [1].

Одним из главных факторов, снижающих урожай зерна культуры, является поражение растений болезнями. В условиях центральной зоны Краснодарского края на озимой пшенице встречаются такие вредоносные заболевания, как корневые и прикорневые гнили (*Fusarium* spp., *Ophiobolus graminis*, *Bipolaris sorokiniana*, *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Rhizoctonia cerealis*), мучнистая роса (*Blumeria graminis*), пятнистости листьев (*Septoria tritici*, *Pyrenophora tritici-repentis*), ржавчинные заболевания (*Puccinia triticea*, *P. striiformis*, *P. graminis*), фузариоз колоса (*Fusarium* spp.), чернь колоса (*Botryotinia fuckeliana*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum* и др.) и другие [2; 3]. При высоком развитии заболеваний экономические потери могут достигать 20% и выше [4; 5].

Для сохранения потенциального урожая зерна необходимо соблюдать ряд требований, одним из которых является проведение своевременных защитных мероприятий. По данным Россельхозцентра в 2022 г. на территории РФ на зерновых колосовых культурах провели обработки фунгицидами на площади 17,1 миллионов гектаров, из них биологическими препаратами обработано 813,6 тысяч гектаров [6].

Химические фунгициды занимают основной объем средств защиты пшеницы от фитопатогенов, поскольку обладают рядом преимуществ. Их использование обеспечивает высокую фунгицидную активность и длительный срок защитного действия [7]. Например, препараты на основе бензовиндифлупира и соединений триазола эффективно сдерживают развитие септориоза листьев, мучнистой росы, бурой ржавчины и желтой пятнистости [8]. Протравители с действующими веществами флудиоксонил и ципроконазол обеспечивают защиту против семенной и почвенной инфекции и способны подавлять рост микромицетов из рода *Pythium*, *Fusarium* и *Alternaria* [9]. Препараты на основе тиофанатметила и комбинации действующих веществ дифеноконазол и тебуконазол обладают высокой биологической эффективностью против фузариоза колоса [10].

Ассортимент биофунгицидов, разрешенных для применения на озимой пшенице, значительно меньше в сравнении с ассортиментом химических препаратов. Согласно справочнику пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ, на сегодняшний день зарегистрировано 16 фунгицидов на основе живых микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности [11]. Основными действующими веществами биофунгицидов являются штаммы бактерий *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Pseudomonas aureofaciens*, *Pseudomonas fluorescens*, и грибов *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma reesei*, *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma harzianum* [11]. Их

используют для предпосевной обработки семян от почвенных и семенных инфекций, а также для опрыскивания растений в период вегетации при первых признаках развития листовых заболеваний.

Применение биологических препаратов в мировой отрасли растениеводства с каждым годом возрастает, это связано с доказанной эффективностью микроорганизмов против фитопатогенов и экологической безопасностью для агроценоза.

В работах зарубежных ученых отмечено ингибирующее действие штамма бактерии *B. subtilis* на прорастание спор возбудителя мучнистой росы пшеницы (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). Происходит нарушение целостности клеточной мембраны за счет снижения мембранного потенциала митохондрий и накопления активных форм кислорода в спорах. Также было установлено положительное влияние *B. subtilis* на биометрические показатели растений пшеницы и повышение устойчивости к заболеванию [12]. В борьбе с мучнистой росой эффективен препарат на основе штамма бактерии *B. amyloliquefaciens*, при искусственном заражении лучший результат был отмечен при использовании препарата в день инокуляции [13].

В лабораторных условиях скрининг штаммов бактерии *Bacillus* spp. показал, что штаммы JY122, JY214, ZY133, NW03 и Z-14 имеют антагонистическую активность против оphiоболезной корневой гнили [14]. Снижают развитие фузариозной корневой гнили штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517, их эффективность во время созревания озимой пшеницы достигала 22,8% и 17,2% соответственно [15].

Целью нашего исследования являлось изучение влияния различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней в условиях центральной зоны Краснодарского края.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили 2018–2021 гг. в условиях полевого стационара Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), г. Краснодар.

Территория ФГБНУ ФНЦБЗР находится в центральной агроклиматической зоне. Почва – выщелоченный сверхмощный чернозем, со слабокислой реакцией (рН 6,7). Содержание гумуса в пахотном слое почвы – 3,8%, общего азота – 0,20%, подвижного фосфора и калия – 26,5 мг/кг и 215,0 мг/кг почвы соответственно. Значение показателя пористости достигает 54,8% от объема почвы, что близко к оптимальным значениям (55–65%). Плотность в верхнем горизонте составляет 1,1–1,21 г/см³, величина максимальной гигроскопичности достигает 12,2% [16].

Погодные условия в период исследования отличались по годам (рис. 1). В 2018–2019 гг. и 2020–2021 гг. вегетационных сезонах климат складывался благоприятно как для роста растений озимой пшеницы, так и для развития фитопатогенов. Осенний и зимний период отличался обильным выпадением осадков, весной отмечалась повышенная влажность воздуха и оптимальная среднесуточная температура. Вегетационный сезон 2019–2020 гг. характеризовался экстремальными погодными условиями. Зимний период был теплым с частыми оттепелями и возвратными морозами. Весенний период отличался недостатком влаги.

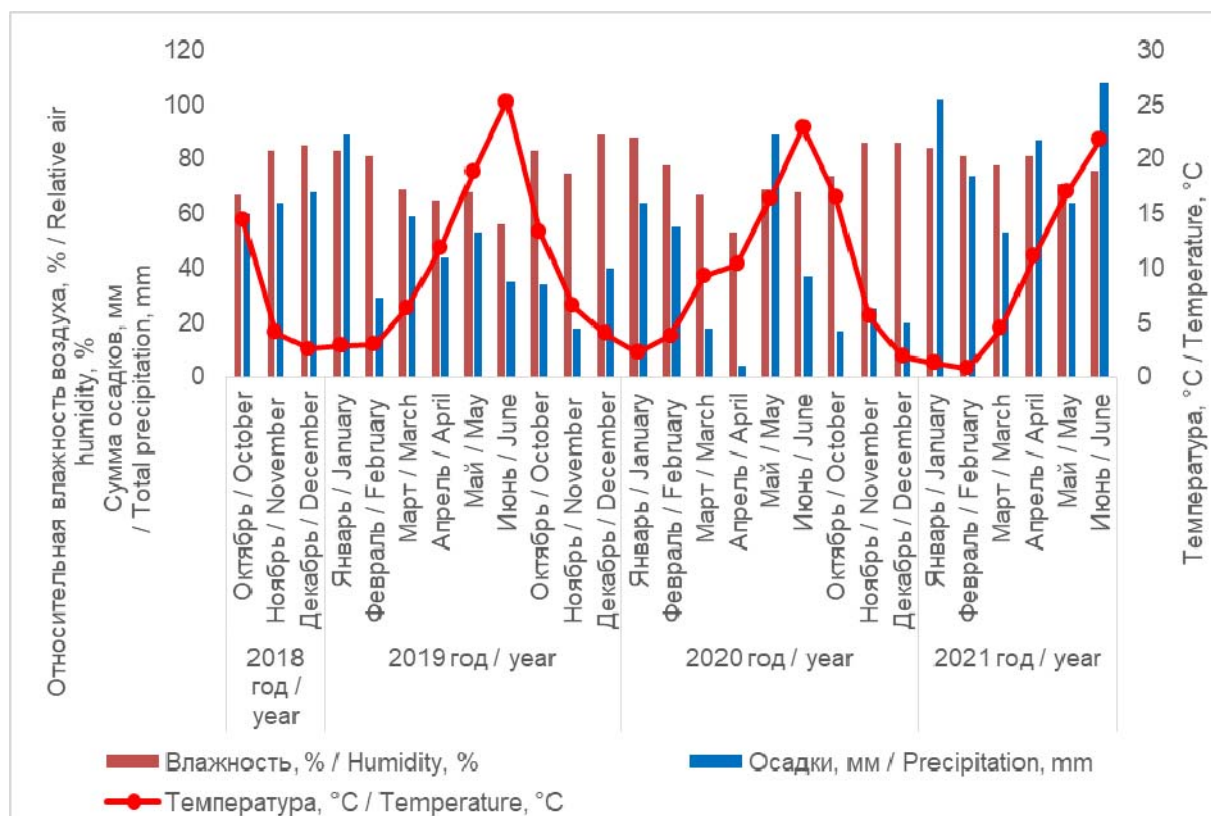


Рисунок 1. Климатограмма погодных условий, метеостанция «Круглик», 2018–2019 гг., 2019–2020 гг., 2020–2021 гг. вегетационные сезоны, г. Краснодар

Figure 1. Climatogram of weather conditions, Kruglik weather station, 2018–2019, 2019–2020, 2020–2021 growing seasons, Krasnodar

Материалом для исследования был сорт озимой мягкой пшеницы Сварог, включенный в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2017 г. Оригинатором является ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко». Сорт широко районирован, к зонам возделывания относятся Северо-Кавказский, Средне-волжский и Нижневолжский регионы РФ. Обладает устойчивой реакцией к заражению бурой и желтой ржавчинами, среднеустойчивой к листовым пятнистостям и вирусам, средневосприимчивой к фузариозу колоса [17].

В опыте были использованы фунгициды, содержащие в своем составе живые микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности Витаплан, СП и Трихоцин, СП. Препарат Витаплан, СП на основе бактерии *Bacillus subtilis* штаммы ВКМ-В-2604D (титр 10^{10} КОЕ/г) и ВКМ-В-2605D (титр 10^{10} КОЕ/г), зарегистрирован против фузариозной, гельминтоспориозной, церкоспореллезной корневых гнилей, септориоза и мучнистой росы. Препарат Трихоцин, СП на основе гриба *Trichoderma harzianum* штамм Г 30 ВИЗР (титр 10^{10} КОЕ/г), зарегистрирован против фузариозной, гельминтоспориозной корневых гнилей, септориоза и мучнистой росы. Также были использованы химические фунгициды Максим, КС (ДВ: флудиоксонил 25 г/л) для предпосевной обработки семян, Фундазол, СП (ДВ: беномил 500 г/кг) и Амистар Экстра, КЭ (ДВ: азоксистробин 200 г/л + ципроконазол 80 г/л) для обработки растений в течение вегетации.

Схема опыта предусматривала определение не отдельного влияния фунгицидов на развитие заболе-

ваний, а их совместную эффективность. Было изучено три системы защиты: биологическая – использование биофунгицидов, интегрированная – использование биологических и химических фунгицидов, химическая – использование химических фунгицидов. Кратность обработок и фазы применения препаратов представлены в таблице 1.

Посев проводили в первой декаде октября ручной сеялкой «Слобожанка» в норме 200 кг/га, размещение делянок рендомизированное, повторность 3-х кратная, площадь каждой делянки 12 м² [18]. Семена обрабатывали перед посевом методом полусухого протравливания с нормой расхода рабочего раствора 10 л/т. Обработки растений озимой пшеницы в период вегетации проводили ручным опрыскивателем с нормой расхода рабочего раствора 300 л/га.

Учет корневых гнилей проводили в фазе осеннего (Z 23-25) и весеннего кущения (Z 27-29), а также молочно-восковой спелости (Z 79-83). Развитие заболевания определяли по шкале для оценки поражения растений различными видами грибов, вызывающих корневые гнили в баллах, где 0 балл – признаки поражения отсутствуют, 1 балл – на первичных и вторичных корнях отдельные участки бурого цвета, 2 балла – основание стебля белесое слегка бурое, отдельные корни или значительные их участки бурые, 3 балла – основание стебля темное с перехватом, большая часть корней отмерла, 4 балла – полное отмирание или отсутствие продуктивных стеблей [19].

Таблица 1. Схема обработок озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2018–2021 гг.
Table 1. Scheme of winter wheat treatments, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2018–2021

Система защиты Protection system	Фаза развития культуры / фунгицид (норма применения) Crop development phase / fungicide (application rate)			
	предпосевная обработка семян Z 0 pre-sowing seed treatment Z 0	выход в трубку Z 32-33 stem elongation Z 32-33	начало цветения Z 59-61 beginning of flowering Z 59-61	молочная спелость Z 75-77 milky ripeness Z 75-77
Биологическая biological	Витаплан, СП (20 г/т) Vitalplan, WP (20 g/t)	Витаплан, СП (40 г/га) Vitalplan, WP (40 g/ha)	Трихоцин, СП (40 г/га) Trichotsin, WP (40 g/ha)	Псевдобактерин-2, Ж (1 л/га) Pseudobacterin-2, L (1 l/ha)
Интегрированная Integrated	Витаплан, СП (20 г/т) Vitalplan, WP (20 g/t)	Витаплан, СП (40 г/га) Vitalplan, WP (40 g/ha)	Амистар Экстра, КЭ (1 л/га) Amistar Extra, EC (1 l/ha)	Обработка не предусмотрена Treatment not undertaken
Химическая Chemical	Максим, КС (1,5 л/т) Maxim, SC (1,5 l/t)	Фундазол, СП (0,5 кг/га) Fundazol, WP (0,5 kg/ha)	Амистар Экстра, КЭ (1 л/га) Amistar Extra, EC (1 l/ha)	Обработка не предусмотрена Treatment not undertaken

Учеты листовых заболеваний осуществляли через 7 дней после обработки, последующие с интервалом 10–14 дней [19]. Биологическую эффективность рассчитывали по формуле Аббота. За 3 дня до уборки проводили учет структуры урожая (количество и масса зерен в одном колосе, масса 1000 зерен) [19]. Уборку осуществляли малогабаритным селекционным комбайном «Неге». Достоверность различий между вариантами оценивали по наименьшей существенной разнице (НСР) при 5%-ном уровне значимости. Экономическую

эффективность рассчитывали по методике Н.Р. Гончарова [20].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В годы исследования на посевах озимой пшеницы встречались преимущественно корневые гнили фузариозной этиологии. В фазу осеннего кущения заболевание не было отмечено. В фазу весеннего кущения развитие корневой гнили на контроле (без обработки) составило 19,0%, распространенность – 57,5% (табл. 2).

Таблица 2. Влияние применения систем защиты на развитие и распространенность фузариозной корневой гнили, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2018–2021 гг.

Table 2. The impact of the use of protection systems on the development and prevalence of Fusarium root rot, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2018–2021

Система защиты Protection system	Фаза кущения Z 28-30 Phase tillering Z 28-30		Фаза молочно-восковая спелость Z 77-83 Phase milky-wax ripeness Z 77-83	
	*R, %	*P, %	R, %	P, %
Биологическая Biological	5,4±1,0	27,6±9,9	36,6±9,8	98,4±1,6
Интегрированная Integrated	5,5±1,1	26,9±4,2	25,1±5,0	88,7±11,3
Химическая Chemical	5,6±1,5	23,5±7,2	25,0±0,3	78,8±16,3
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	19,0±5,6	57,5±15,8	55,4±13,7	98,4±1,6
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	4,9	6,3	3,5	4,1

Примечание: *R – развитие, %; *P – распространенность, %

Note: *R – development, %; *P – prevalence, %

В зависимости от системы защиты развитие корневой гнили изменялось от 5,4% (биологическая защита) до 5,6% (химическая защита). Достоверные различия выявлены только между контролем (без обработки) и изученными вариантами. Распространенность варьировала от 23,5% (химическая защита) до 27,6% (биологическая защита). В фазу молочно – восковой спелости развитие корневой гнили в контроле (без обработки) составило 55,4%, распространенность достигла 98,4%. В варианте, обработанном химичес-

кими фунгицидами, эти значения были ниже и составили 25,0% и 78,8% соответственно, в варианте с применением интегрированной защиты – 25,1% и 88,7%, биологической защиты – 36,6% и 98,4%. По показателю R (развитие) не выявлено достоверных различий между вариантами с применением интегрированной и химической защиты. По показателю P (распространенность) не выявлено достоверных различий между контролем (без обработки) и биологической защитой.

Биологическая эффективность систем защиты в фазу весеннего кущения против фузариозной корневой гнили была высокой и варьировала от 70,5% (химическая защита) до 71,6% (биологическая защита) (рис. 2). В фазу молочно – восковой спелости значение этого показателя в вариантах снижалось, это может быть связано с интенсивным ростом развития заболевания и ограниченным периодом защитного действия препаратов. Эффективность биологической защиты составила 33,9%, интегрированной – 54,7%, в варианте с применением химических фунгицидов – 54,9%.

В ходе исследования было изучено влияние систем защиты на биометрические показатели растений пшеницы. В фазу кущения достоверное увеличение высоты растений было отмечено в варианте с применением интегрированной защиты (20,4 см) и биологической защиты (19,2 см) (табл. 3). Максимальные показатели длины корня установлены в варианте с химической системой защиты – 12,0 см. Достоверных различий по показателю кустистости в изученных вариантах не установлено.

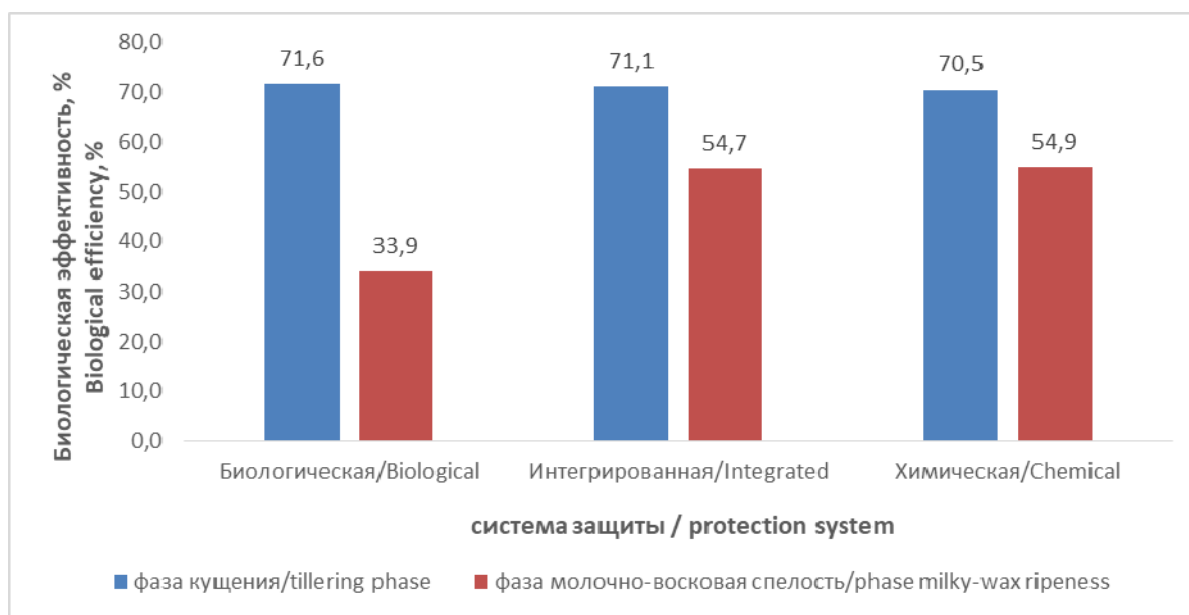


Рисунок 2. Биологическая эффективность систем защиты от фузариозной корневой гнили, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2018–2021 гг.

Figure 2. Biological efficiency of protection systems against *Fusarium* root rot, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2018–2021

Таблица 3. Влияние применения систем защиты на биометрические показатели растений озимой пшеницы в фазу кущения, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.

Table 3. Influence of the use of protection systems on the biometric parameters of winter wheat plants in the tillering stage, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2019–2021

Система защиты Protection system	Фаза кущения Z 28-30 / Phase tillering Z 28-30		
	высота растений, см plant height, cm	длина корень, см root length, cm	кустистость, шт. bushiness, units.
Биологическая / Biological	19,2±4,5	11,9±0,4	4,1±1,2
Интегрированная / Integrated	20,4±5,7	11,9±0,5	4,2±1,3
Химическая / Chemical	18,6±5,3	12,0±0,4	4,3±1,9
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	18,2±4,9	11,4±0,4	3,3±0,4
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,9	0,5	1,1

В фазу молочно-восковой спелости высота растений в контроле (без обработки) составила 86,7 см, продуктивная кустистость – 3,0 шт., размер колоса – 7,8 см, длина флагового листа – 19,0 см (табл. 4).

Достоверное увеличение высоты растений установлено в вариантах с биологической (92,6 см) и интегрированной защитой (91,9 см). Максимальные показатели продуктивной кустистости и размера колоса отмечены в варианте с применением биофунгицидов (3,7 шт. и 8,9 см соответственно). Это может быть

связано с тем, что биологические фунгициды обладают ростостимулирующим действием. Известно, что колонизация корней бактериями *B. subtilis* обеспечивает растение дополнительным источником питательных веществ за счет своей активной жизнедеятельности, а также способствует выработке фитогормона ауксина в корнях пшеницы, что положительно влияет на рост растений и обеспечивает защиту от стрессовых факторов [21; 22].

Таблица 4. Влияние применения систем защиты на биометрические показатели растений озимой пшеницы в фазу молочно-восковой спелости, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.**Table 4.** Influence of the use of protection systems on the biometric parameters of winter wheat plants in the phase of milky-wax ripeness, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2019–2021

Система защиты Protection system	Фаза молочно-восковая спелость Z 77-83 Phase milky-wax ripeness Z 77-83				
	высота растений, см plant height, cm	кустистость, шт. bushiness, items.	продуктивная кустистость, шт. productive tillering, pcs.	длина колоса, см wheat ear length, cm	длина флагового листа, см flag leaf length, cm
Биологическая biological	92,6±0,5	4,4±0,3	3,7±0,2	8,9±0,2	19,6±0,1
Интегрированная Integrated	91,9±5,3	4,1±1,0	3,4±0,4	8,5±0,3	19,6±0,1
Химическая Chemical	89,2±3,0	3,9±0,6	3,6±0,6	8,3±0,2	19,9±0,2
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	86,7±3,5	3,1±0,1	3,0±0,1	7,8±0,2	19,0±0,3
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	2,7	0,6	0,2	0,3	0,3

В период вегетации на озимой пшенице встречались такие заболевания, как септориоз листьев и желтая пятнистость. Бурая ржавчина в годы исследования проявлялась в виде единичных пустул и не требовала мероприятий, подавляющих развитие, так как сорт Сварог имеет устойчивую реакцию к возбудителю. В отдельные годы в фазу выхода второго междоузлия

встречались очаги мучнистой росы с развитием менее 1%.

Первые проявления септориоза листьев были отмечены в контроле (без обработки) в фазу кущения (табл. 5). До фазы цветения развитие заболевания возросло до 6,9%, далее интенсивность резко снижалась. Это связано с увеличением температуры воздуха и снижением влажности со второй декады мая.

Таблица 5. Влияние применения систем защиты на развитие септориоза листьев озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.**Table 5.** Influence of the use of protection systems on the development of Septoria leaf blight on winter wheat, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2019–2021

Система защиты* Protection system*	Фаза выход в трубку Z 39 Phase stem elongation Z 39	Фаза колошение Z 49-51 Phase head emergence Z 49-51	Фаза цветение Z 61-65 Flowering phase Z 61-65
Биологическая Biological	0,4±0,1	1,1±0,1	3,3±0,2
Интегрированная Integrated	0,4±0,1	1,1±0,2	1,9±0,1
Химическая Chemical	0,2±0,1	0,7±0,2	1,2±0,2
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	2,1±0,3	4,7±0,3	6,9±0,3
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,1	1,1	0,6

Примечание: *1-я обработка Z 32-33; 2-ая обработка Z 59 – 61; 3-я обработка Z 75 – 77

Note: *1st processing Z 32-33; 2nd processing Z 59 – 61; 3rd processing Z 75 – 77

В вариантах с применением различных систем защиты развитие септориоза на листьях отличалось. В фазу цветения при использовании биологической защиты этот показатель составил 3,3%, интегрированной – 1,9%, химической – 1,2%. Достоверные различия установлены между всеми изученными вариантами.

Биологическая эффективность разных систем защиты озимой пшеницы от септориоза листьев в течение вегетации снижалась по мере роста проявлений заболевания (рис. 3).

При максимальном развитии патогена в фазу цветения эффективность применения биологических фунгицидов составила 52,2%. Интегрированная защита способствовала снижению развития *S. tritici* на 72,5%. Сдерживающим фактором интенсивности болезни в изученной системе послужила обработка растений в

фазу начала цветения химическим фунгицидом Амистар Экстра, КС. Биологическая эффективность применения химических фунгицидов составила 82,6%.

Первые проявления желтой пятнистости листьев были отмечены в конце выхода в трубку в контроле (без обработки). В фазу колошения развитие заболевания составило 2,5% и к фазе восковой спелости возросло до 11,5% (табл. 6).

В вариантах с применением различных систем защиты развитие желтой пятнистости на листьях отличалось. В фазу восковой спелости при использовании биологической защиты этот показатель составил 6,5%, интегрированной – 5,5%, химической – 4,2%. Достоверные различия установлены между всеми изученными вариантами.

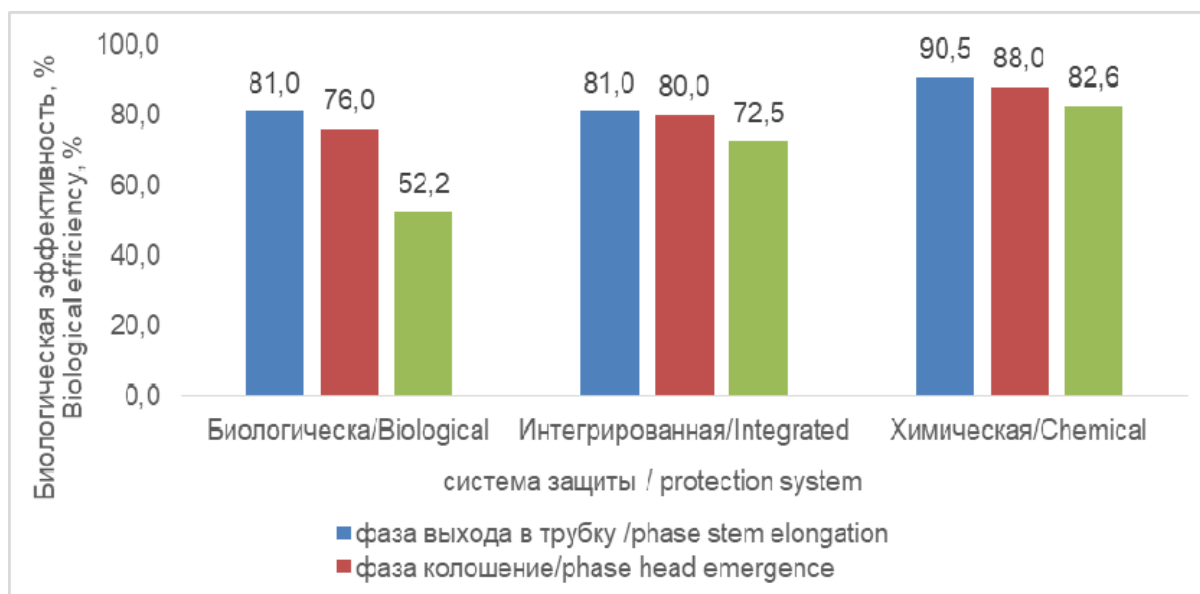


Рисунок 3. Биологическая эффективность систем защиты от септориоза листьев озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦ БЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.

Figure 3. Biological effectiveness of protection systems against Septoria leaf blight on winter wheat, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2019–2021

Таблица 6. Влияние применения систем защиты на развитие желтой пятнистости листьев озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦ БЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.

Table 6. Influence of the use of protection systems on the development of yellow leaf spot on winter wheat, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2019–2021

Система защиты*	Фаза колошение Z 49-51	Фаза цветение Z 61-65	Фаза молочно-восковая спелость Z 75-77	Фаза восковая спелость Z 85-87
Protection system*	Phase head emergence Z 49-51	Flowering phase Z 61-65	Phase milky-wax ripeness Z 75-77	Wax ripeness of grain Z 85-87
Биологическая / Biological	0,9±1,0	4,5±0,1	5,4±0,3	6,5±0,1
Интегрированная Integrated	0,9±0,9	4,3±0,2	4,7±0,1	5,5±0,3
Химическая / Chemical	0,8±0,8	3,4±0,3	3,7±0,2	4,2±0,7
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	2,5±2,5	9,9±0,1	10,4±0,2	11,5±0,5
НСП ₀₅ / LSD ₀₅	0,2	0,2	0,6	0,7

Примечание: *1-ая обработка Z 32-33; 2-ая обработка Z 59 – 61; 3-я обработка Z 75 – 77

Note: *1st processing Z 32-33; 2nd processing Z 59 – 61; 3rd processing Z 75 – 77

С увеличением интенсивности роста пятнистости на листьях пшеницы в течение вегетации биологическая эффективность снижалась (рис. 4).

При максимальном развитии патогена в фазу восковой спелости в варианте с применением биологических фунгицидов этот показатель составил 43,5%, при интегрированной защите – 52,2%, при химической защите – 63,5%.

В ходе работы были учтены показатели структуры урожая зерна (табл. 7). Масса 1000 зерен в контроле (без обработки) составила 30,4 г, в варианте с химической защитой – 31,6 г, в варианте с биологической и интегрированной защитой по 31,3 г. Достоверные различия установлены во всех вариантах в сравнении с контролем (без обработки), при этом между системами защиты достоверных различий не выявлено.

Масса одного колоса в вариантах варьировала от 1,4 г (биологическая и химическая защита) до 1,5 г

(интегрированная защита, контроль (без обработки)). Достоверные различия между вариантами не выявлены. Количество зерен в одном колосе в контроле (без обработки) составило 37,5 шт. Максимальное значение этого показателя было установлено в вариантах с использованием интегрированной и химической системы защиты (по 39,3 шт.)

Урожайность озимой пшеницы значительно изменялась по годам, в зависимости от погодных условий, влияние фактора составило 79,9%. Также были выявлены достоверные различия между вариантами (табл. 8).

В контроле (без обработки) урожай зерна составил 52,8 ц/га. Максимальная прибавка к контролю была отмечена в варианте с применением химической защиты – 16,5%. При интегрированной системе этот показатель составил 11,6%, при использовании биологических фунгицидов – 9,3%.

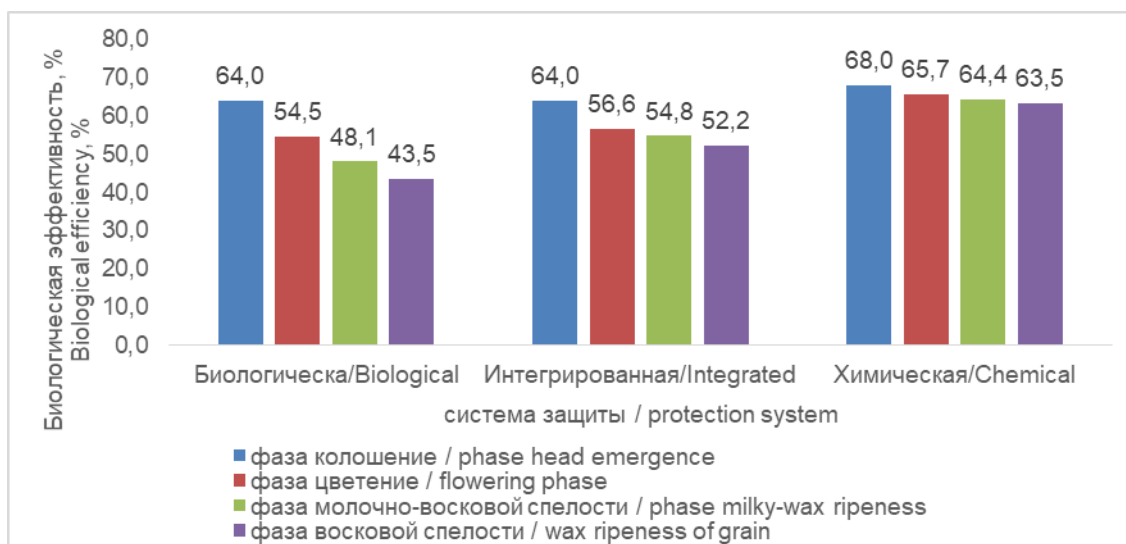


Рисунок 4. Биологическая эффективность систем защиты от желтой пятнистости листьев озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.

Figure 4. Biological effectiveness of protection systems against yellow leaf spot on winter wheat, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2018–2021

Таблица 7. Влияние биологических фунгицидов на структуру урожая озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.

Table 7. Effect of biological fungicides on the structure of the winter wheat crop, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2019–2021

Система защиты Protection system	Структура урожая зерна Grain yield structure		
	масса 1000 зерен, г weight of 1000 grains, g	количество зерен в 1 колосе, шт. number of grains in 1 spike, pcs.	масса 1 колоса, г weight of 1 ear, g
Биологическая / Biological	31,3±0,5	38,8±0,5	1,5±0,1
Интегрированная Integrated	31,3±0,6	39,3±0,3	1,4±0,1
Химическая / Chemical	31,6±1,3	39,3±0,3	1,5±0,1
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	30,4±0,5	37,5±0,2	1,4±0,1
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,8	1,0	0,1

Таблица 8. Хозяйственная эффективность систем защиты озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.

Table 8. Economic efficiency of winter wheat protection systems, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, variety Svarog variety, 2019–2021

Система защиты Protection system	Урожайность, ц/га Productivity, c/ha	Прибавка к контролю (без обработки) Control Gain (Untreated)	
		ц/га / c/ha	%
Биологическая biological	57,7±7,8	4,9	9,3
Интегрированная Integrated	58,9±7,7	6,1	11,6
Химическая Chemical	61,5±8,1	8,7	16,5
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	52,8±7,6	-	-

НСР₀₅ (по фактору А – погодные условия) = 0,6 ц/га; НСР₀₅ (по фактору В – системы защиты) = 0,7 ц/га;

НСР₀₅ (для частных различий) = 1,1 ц/га.

Влияние фактора А (погодные условия) 79,9%; влияние фактора В (системы защиты) 19,3%;

влияние взаимодействия АВ 0,5%; влияние случайных факторов 0,3%

LSD₀₅ (according to factor A – weather conditions) = 0.6 c/ha; LSD₀₅ (by factor B – protection systems) = 0.7 c/ha;

LSD₀₅ (for partial differences) = 1.1 c/ha.

Influence of factor A (weather conditions) 79.9%; the influence of factor B (protection systems) 19.3%;

influence of interaction AB 0.5%; influence of random factors – 0.3%

Экономическая эффективность при использовании разных систем защиты отличалась (табл. 9).

В вариантах с применением биологических фунгицидов производственные затраты были ниже и

составили 39714,6 руб. (биологическая защита) и 42626,0 руб. (интегрированная защита). В варианте с использованием химической системы этот показатель составил 45891,5 руб.

Таблица 9. Экономическая эффективность систем защиты озимой пшеницы, полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, сорт Сварог, 2019–2021 гг.

Table 9. Economic efficiency of methods for protecting winter wheat, field station Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Svarog variety, 2019–2021

Система защиты Protection system	Стоимость валовой продукции, руб. The cost of gross output, rub.	Производственные затраты, руб. Production costs, rub.	Чистый доход, руб./га Net income, rub./ha	Уровень рентабельности, % Profitability level, %
Биологическая Biological	86550,0	39714,6	46835,4	117,9
Интегрированная Integrated	88350,0	42626,0	45724,0	107,3
Химическая Chemical	92250,0	45891,5	46358,5	101,0
Контроль (без обработки) Control (no treatment)	73920,0	38055,6	35864,4	94,2

Максимальный уровень рентабельности отмечен в варианте с применением биологической защиты – 117,9%, в варианте с интегрированной защитой этот показатель составил 107,3%, химической защитой – 101,0%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты доказывают эффективность использования разных систем защиты на озимой пшенице сорта Сварог в условиях центральной зоны Краснодарского края.

Эффективность биологической системы защиты против фузариозной корневой гнили в фазу молочно-восковой спелости составила 33,9%, интегрированной – 54,7%, химической – 54,9%; против септориоза в фазу цветения – соответственно 52,2%, 72,5% и 82,6%; против желтой пятнистости – 43,5%, 52,2% и 63,5%. Использование биологической защиты способствовало сохранению 4,9 ц/га урожая зерна в сравнении с контролем (без обработки), интегрированной защиты – 6,1 ц/га, химической защиты – 8,7 ц/га, чистая прибыль при этом составила 46835,4 руб./га, 45724,0 руб./га и 46358,5 руб./га соответственно.

Для снижения пестицидной нагрузки и уменьшения затрат на производство зерна рекомендована система биологической защиты озимой пшеницы сорта Сварог.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0004.

ACKNOWLEDGEMENT

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic No FGRN-2022-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сельское хозяйство и балансы продовольственных ресурсов // Федеральная служба государственной

статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения 13.03.2023)

2. Budynkow N.I., Mikhaleva S.N. Monitoring of Alternaria Fungi on Winter Wheat Grain in Farms in the South of Russia (2014–2020) // Russian Agricultural Sciences. 2022. V. 48. N 1. P. 119–125. DOI: 10.3103/S1068367422070072

3. Ким Ю.С., Волкова Г.В. Желтая пятнистость листьев пшеницы: распространение, вредоносность, расовый состав (обзор) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. N 2 (50). С. 105–116. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-105-116

4. Chen X. Pathogens which threaten food security: *Puccinia striiformis*, the wheat stripe rust pathogen // Food Security. 2020. N 122. P. 239–251.

5. Санин С.С., Санина А.А., Пахолкова Е.В., Корнева Л.Г., Карлова Л.В., Рулева О.М. Защита пшеницы от эпитотий септориоза листьев и колоса // Защита и карантин растений. 2022. N 11. С. 4–13. DOI: 10.47528/1026-8634-2022-11-4

6. Говоров Д.Н., Живых А.В., Шабельникова Е.С., Никулин А.Н., Умников В.И., Чернявский В.С., Зайцев М.А., Лысенко К.А., Голубев В.А., Варенова Д.А. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году и прогноз развития вредных объектов в 2023 году / Под ред. Говорова Д.Н., Живых А.В. Москва: Изд-во ФГБУ РСЦ, 2023. 226 с.

7. Гришечкина Л.Д., Долженко В.И., Кунгурцева О.В. Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов // Агрохимия. 2020. N 9. С. 32–47. DOI: 10.31857/S0002188120090070

8. Гришечкина Л.Д., Силаев А.И. Элатус Риа – эффективный фунгицид для защиты озимой пшеницы от пятнистостей листьев и колоса // Аграрный научный журнал. 2020. N 2. С. 9–15. DOI: 10.28983/asj.y2020i2pp9-15

9. Лавринова В.А., Полунина Т.С., Гусев И.В., Леонтьева М.П. Влияние фунгицидов и природных факторов на микобиоту корневой системы и почвы // Вестник аграрной науки. 2018. N 2 (71). С. 12–18. DOI: 10.15217/issn2587-666X.2018.2.12

10. Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Шипуля А.Н., Волосова Е.В., Пашкова Е.В. Поиск новых решений для борьбы с фузариозом колоса // Земледелие. 2022. N 7. С. 45–47. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-7-45-47

11. 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 10.03.2023)
12. Yi Y.-J., Yin Y.-N., Yang Y.-A., Liang Y.-Q., Shan Y.-T., Zhang Ch.-F., Zhang Y.-R., Liang Z.-P. Antagonistic Activity and Mechanism of *Bacillus subtilis* XZ16-1 Suppression of Wheat Powdery Mildew and Growth Promotion of Wheat // *Phytopathology*. 2022. V. 112. N 12. P. 1418–1423. DOI: 10.1094/PHYTO-04-22-0118-R
 13. Matzen N., Heick T.M., Jørgensen L.N. Control of powdery mildew (*Blumeria graminis* spp.) in cereals by Serenade®ASO (*Bacillus amyloliquefaciens* (former subtilis) strain QST 713) // *Biological Control*. 2019. N 139. Article ID: 104067. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104067
 14. Feodorova-Fedotova L., Bankina B., Strazdina V. Possibilities for the biological control of yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in winter wheat in Latvia in 2017–2018 // *Agronomy Research*. 2019. V. 17. N 3. P. 716–724. DOI: 10.15159/AR.19.137
 15. Асатурова А.М., Сидорова Т.М., Томашевич Н.С., Жевнова Н.А., Хомяк А.И., Козицын А.Е., Дубяга В.М., Павлова М.Д., Сидоров Н.М., Аллаhverдян В.В. Изучение антагонистических и ростстимулирующих свойств штаммов *Bacillus subtilis*, перспективных для создания эффективных биофунгицидов // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21. N 3. P. 263–272. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.263-272
 16. Слюсарев В.Н., Швеиц Т.В., Осипов А.В. Почвы Краснодарского края. Краснодар: Редакционный отдел и типография КубГАУ, 2022. 260 с.
 17. Романенко А.А., Беспалова Л.А., Лавренчук Н.Ф. и др. Сорта и гибриды: каталог. Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко. Краснодар: Издательство "ЭДВИ". 2022. 152 с.
 18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс, 2011. 351 с.
 19. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Долженко Санкт-Петербург: ВИЗР. 2009. 377 с.
 20. Гончаров Н.Р. Методические подходы к экономической оценке эффективности мероприятий по защите растений в условиях отдельного эксперимента // *Вестник защиты растений*. 2017. N 3 (93). С. 44–54.
 21. Hashem A., Tabassum B., Fathi Abd Allah E. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2019. N 26. P. 1291–1297. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004
 22. Shah D., Khan M.S., Aziz S., Ali H., Pecoraro L. Molecular and biochemical characterization, antimicrobial activity, stress tolerance, and plant growth-promoting effect of endophytic bacteria isolated from wheat varieties // *Microorganisms*. 2022. V. 10. N 21. DOI: 10.3390/microorganisms10010021
- REFERENCES**
1. *Sel'skoe khozyaistvo i balansy prodovol'stvennykh resursov. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki* [Agriculture and balances of food resources. Federal State Statistics Service]. Available at: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (accessed 13.03.2023) (In Russian)
 2. Budynkow N.I., Mikhaleva S.N. Monitoring of Alternaria Fungi on Winter Wheat Grain in Farms in the South of Russia (2014–2020). *Russian Agricultural Sciences*, 2022, vol. 48, no. 1, pp. 119–125. DOI: 10.3103/S1068367422070072
 3. Kim Yu.S., Volkova G.V. Yellow leaf spot of wheat: distribution, harmfulness, racial composition (review). *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2020, no. 2 (50), pp. 105–116. (In Russian) DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-105-116
 4. Chen X. Pathogens which threaten food security: *Puccinia striiformis*, the wheat stripe rust pathogen. *Food Security*. 2020, no. 122, pp. 239–251.
 5. Sanin S.S., Sanina A.A., Pakholkova E.V., Korneva L.G., Karlova L.V., Ruleva O.M. Protection of wheat against epiphytotic of septoria leaf and spike. *Plant Protection and Quarantine*, 2022, no. 11, pp. 4–13. (In Russian) DOI: 10.47528/1026-8634-2022-11-4
 6. Govorov D.N., Zhiviykh A.V., Shabelnikova E.S., Nikulin A.N., Umnikov V.I., Chernyavsky V.S., Zaitsev M.A., Lysenko K.A., Golubev V.A., Varenova D.A. *Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Rossiiskoi Federatsii v 2022 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2023 godu* [A review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Russian Federation in 2022 and a forecast for the development of harmful objects in 2023]. Moscow, FGBU RSC Publ., 2023, 226 p. (In Russian)
 7. Grishechkina L.D., Dolzhenko V.I., Kungurtseva O.V. Development of research on the formation of a modern range of fungicides. *Agrochemistry*, 2020, no. 9, pp. 32–47. (In Russian) DOI: 10.31857/S0002188120090070
 8. Grishechkina L.D., Silaev A.I. Elatus ria is an effective fungicide for protecting winter wheat from leaf and ear blotches. *Agrarian Scientific Journal*, 2020, no. 2, pp. 9–15. (In Russian) DOI 10.28983/asj.y2020i2pp9-15
 9. Lavrinova V.A., Polunina T.S., Gusev I.V., Leontieva M.P. Influence of fungicides and natural factors on the mycobiota of the root system and soil. *Bulletin of agrarian science*, 2018, no. 2 (71), pp. 12–18. (In Russian) DOI: 10.15217/issn2587-666X.2018.2.12
 10. Glazunova N.N., Bezgina Yu.A., Shipulya A.N., Volosova E.V., Pashkova E.V. Search for new solutions to combat fusariosis of the ear. *Agriculture*, 2022, no. 7, pp. 45–47. (In Russian) DOI: 10.24412/0044-3913-2022-7-45-47
 11. *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. (In Russian) Available at: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (accessed 10.03.2023)
 12. Yi Y.-J., Yin Y.-N., Yang Y.-A., Liang Y.-Q., Shan Y.-T., Zhang Ch.-F., Zhang Y.-R., Liang Z.-P. Antagonistic Activity and Mechanism of *Bacillus subtilis* XZ16-1 Suppression of Wheat Powdery Mildew and Growth Promotion of Wheat. *Phytopathology*, 2022, vol. 112, no. 12, pp. 1418–1423. DOI: 10.1094/PHYTO-04-22-0118-R
 13. Matzen N., Heick T.M., Jørgensen L.N. Control of powdery mildew (*Blumeria graminis* spp.) in cereals by Serenade®ASO (*Bacillus amyloliquefaciens* (former subtilis) strain QST 713). *Biological control*, 2019, no. 139, pp, article id: 104067. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104067
 14. Feodorova-Fedotova L., Bankina B., Strazdina V. Possibilities for the biological control of yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in winter wheat in Latvia in 2017–2018. *Agronomy Research*, 2019, vol. 17, no. 3, pp. 716–724. DOI: 10.15159/AR.19.137
 15. Asaturova A.M., Sidorova T.M., Tomashevich N.S., Zhevnova N.A., Khomyak A.I., Kozitsyn A.E., Dubyaga V.M., Pavlova M.D., Sidorov N.M., Allahverdyan V.V. The study of antagonistic and growth-stimulating properties of *Bacillus subtilis* strains, promising for the creation of effective biofungicides. *Agrarian science of the Euro-North-East*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 263–272. (In Russian) DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.263-272
 16. Slyusarev V.N., Shvets T.V., Osipov A.V. *Pochvy Krasnodarskogo kraya* [Soils of the Krasnodar Territory]. Krasnodar, KubGAU Publ., 2022, 260 p. (In Russian)

17. Romanenko A.A., Bespalova L.A., Lavrenchuk N.F. *Sorta i gibridy: katalog* [Varieties and hybrids: catalog]. Krasnodar, EDVI Publ., 2022, 152 p. (In Russian)
18. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Alliance Publ., 2011, 351 p. (In Russian)
19. 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)
20. Goncharov N.R. Methodological approaches to the economic evaluation of the effectiveness of plant protection measures under the conditions of a separate experiment. *Vestnik zashchity rastenii* [Bulletin of Plant Protection]. 2017, no. 3 (93), pp. 44–54. (In Russian)
21. Hashem A., Tabassum B., Fathi Abd Allah E. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019, no. 26, pp. 1291–1297. DOI: 10.1016 / j.sjbs.2019.05.004
22. Shah D., Khan M.S., Aziz S., Ali H., Pecoraro L. Molecular and biochemical characterization, antimicrobial activity, stress tolerance, and plant growth-promoting effect of endophytic bacteria isolated from wheat varieties. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, no. 21. DOI: 10.3390/microorganisms10010021

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 contributed equally 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>

Оригинальная статья / Original article

УДК 634

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-152-160

Влияние азотных подкормок на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на лугово-каштановой почве

Самир А. Теймуров¹, Магомед-Расул А. Казиев¹, Абдумеджид А. Багомаев^{1,2}¹Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Самир А. Теймуров, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела агроландшафтного земледелия, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан; 367014 Россия, г. Махачкала, МКР Научный городок, ул. Абдуразака Шахбанова, 30.

Тел. +79034991322

Email samteim@rambler.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-0336-7380>

Формат цитирования

Теймуров С.А., Казиев М.-Р.А., Багомаев А.А. Влияние азотных подкормок на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на лугово-каштановой почве // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 152-160. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-152-160

Получена 23 января 2023 г.

Прошла рецензирование 20 марта 2023 г.

Принята 3 апреля 2023 г.

Резюме

Цель. Изучение влияния азотной подкормки на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на лугово-каштановой почве.

Методы. Анализы почвенных образцов проводились с использованием общепринятых стандартных методик. Оценка биологической урожайности зерна и её структуры по «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур». Обработка почвы под озимые после стерневых предшественников проводилась по системе поливного полупара.

Результаты. При увеличении гидротермического коэффициента образуется более упругая клейковина. Исследования показали, что по мере увеличения дозы азотных подкормок улучшаются показатели посевных качеств семян и хлебопекарных качеств зерна озимой пшеницы сорта Гром. В наилучшем варианте $N_{90}P_{90}$ получены следующие показатели: энергия прорастания семян составила 99%, всхожесть – 100%, масса 1000 зерен – 34,7 г, содержание белков – 14,8%, клейковины 27,4%, что соответственно на 4%; 4%; 3,9 г; 1,3% и 6,1% больше, чем в контрольном варианте без применения минеральных удобрений и выше, чем в вариантах $N_{30}P_{90}$ и $N_{60}P_{90}$.

Заключение. Зона исследования обуславливает использование высокоинтенсивного сорта Гром, способствующая стабилизации продуктивности и повышения качества продукции. Использование азотной подкормки (N_{30} , N_{60} и N_{90}) на фоне P_{90} способствует повышению урожайности зерна озимой пшеницы от 6,25 до 7,90 т/га и улучшению основных показателей хлебопекарных качеств зерна: белка – 14,3–14,8% и клейковины – 22,1–27,4%, наилучший вариант с азотной подкормкой показал в дозе N_{90} (N_{30} осенью + N_{60} весной).

Ключевые слова

Агроклимат, лугово-каштановая почва, азотные подкормки, озимая пшеница.

The effect of nitrogen fertilisation on the yield and quality of winter wheat grain on meadow-chestnut soil

Samir A. Teymurov¹, Magomed-Rasul A. Kaziev¹ and Abdumetdjid A. Bagomaev^{1,2}

¹Federal Agricultural Research Centre of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Samir A. Teymurov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agro-landscape Agriculture, Federal Agricultural Research Center of the Republic of Dagestan; 30 Abdurazak Shakhbanov St, Nauchny Gorodok microdistrict, Makhachkala, Russia 367014. Tel. +79034991322

Email samteim@rambler.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0336-7380>

How to cite this article

Teymurov S.A., Kaziev M.-R.A., Bagomaev A.A. The effect of nitrogen fertilisation on the yield and quality of winter wheat grain on meadow-chestnut soil. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 152-160. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-152-160

Received 23 January 2023

Revised 20 March 2023

Accepted 3 April 2023

Abstract

Aim. The study of the effect of nitrogen fertilization on the yield and quality of winter wheat grain on meadow-chestnut soil.

Methods. Analyses of soil samples were carried out using generally accepted standard techniques. Assessment of the biological yield of grain and its structure was carried out according to the "Methodology of the State Variety Testing of Agricultural Crops". Tillage for winter crops after stubble predecessors was carried out according to the irrigation half-steam system.

Results. With an increase in the hydrothermal coefficient, a more elastic gluten is formed. Studies have shown that as the dose of nitrogen fertilizing increases, the indicators of the sowing qualities of seeds and the baking qualities of winter wheat grain of the Grom variety improve. In the best variant $N_{90}P_{90}$, the following indicators were obtained: seed germination energy – 99%, germination – 100%, weight of 1000 grains – 34.7 g, protein content – 14.8%, gluten 27.4%, which represent respectively 4%; 4%; 3.9 g; 1.3% and 6.1% more than in the control variant without the use of mineral fertilizers and higher than in the variants $N_{30}P_{90}$ and $N_{60}P_{90}$.

Conclusion. The research area determines the use of the high-intensity Thunder variety, which helps to stabilise productivity and improve product quality. The use of nitrogen top dressing (N_{30} , N_{60} and N_{90}) against the background of P_{90} increases the yield of winter wheat grain from 6.25 to 7.90 t / ha and improves the main indicators of baking qualities of grain: protein – 14.3–14.8% and gluten – 22.1–27.4%, the best option with nitrogen top dressing being a dose of N_{90} (N_{30} in autumn + N_{60} in spring).

Key Words

Agro-climate, meadow-chestnut soil, nitrogen fertilizing, winter wheat.

ВВЕДЕНИЕ

Диагностика питания сельскохозяйственных культур макро- и микроэлементами имеет большое значение в агрохимии. Поскольку почва является естественным источником макро- и микроэлементов для растений, знание характера физико-химических связей элементов и их физиологической роли в жизни растений должно служить теоретической основой разработки диагностики почвенного питания растений и дозирования удобрений.

При проведении опытов с удобрениями и с другими агротехническими приемами совершенно недостаточно лишь учета урожая. Поскольку удобрения действуют на урожай через почву, то при их внесении прежде всего изменяются условия почвенного плодородия. Поэтому в настоящее время изучению вопросов изменения отдельных элементов почвенного плодородия при внесении удобрений уделяется серьезное внимание [1; 2].

Научные проблемы управления современными почвообразовательными процессами в традиционных и агротехнических системах земледелия и повышения плодородия в Терско-Сулакской подпровинции требует системного изучения почвенного плодородия с физико-географическими, экологическими и антропогенными факторами. Данные этих показателей будут служить для мониторинга почвенного плодородия при разработке экологической модели лугово-каштановых орошаемых почв.

В Терско-Сулакской подпровинции достаточно изучена роль почвенных и климатических факторов в создании хозяйственной продуктивности, однако все эти исследования касаются разных типов почв. Для зоны лугово-каштановых почв таких исследований практически мало [3–6]. В условиях сухостепной зоны для прогнозирования урожайности зерновых культур важно изучать временную динамику почвенно-клима-

тических параметров, их варьирование, взаимосвязи с урожайностью [7].

Цель работы – влияние азотной подкормки на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на лугово-каштановой почве.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В понижениях рельефа зоны исследования почвенный покров представлен в основном лугово-каштановыми почвами, которые являются переходным типом, сформировавшимся в результате остепнения луговых почв. Залегание грунтовых вод составляет от 1,5 до 3,0 м, в местах с близким залеганием, нижние горизонты имеют признаки заболачивания. Водный режим этих почв большей частью периодически промывной. Растительность на лугово-каштановых почвах более разнообразная, чем на каштановых, на непахотных землях представлен разнотравно-злаковыми и полынно-эфемеровыми ассоциациями.

Для определения влияния погодных условий на урожайность зерновых культур использовались данные мониторинга ФГБНУ «ФАНЦ РД» показателей среднемесячной температуры воздуха, количества осадков и урожайности озимой пшеницы при общепринятой для зоны технологии возделывания.

Климатические условия оказывают большое влияние на рост и развитие сельскохозяйственных растений. За вегетационный период метеоусловия по годам отличались по температурному режиму и количеству осадков. За анализируемый период (2020–2022 гг.) вегетации озимой пшеницы (апрель–июнь) среднемесячная температура воздуха составила 20,5°C, превысив среднемноголетнюю норму на 7,3°C (при среднемноголетней 13,2°C). Среднемесячная сумма осадков составила 40,0 мм (+5,3 мм) при норме среднемноголетних осадков – 34,7 мм (табл. 1).

Таблица 1. Агроклиматические показатели весенне-летней вегетации (апрель–июнь)**Table 1.** Agro-climatic indicators of spring-summer vegetation (April–June)

Годы Years	ΣT _{ср} , °C ΣT _{ав} , °C	t, °C t, °C		Сумма осадков, мм Precipitation amount, mm				ГТК _(IV-VI) НТК _(IV-VI)	Влажность воздуха, % Air humidity, %	**Урожайность зерна, т/га **Grain yield, t/ha
		средняя average	*среднемноголетняя average long-term	отклонение, +/- deviation, +/-	средняя average	норма среднемноголетняя average annual rate	отклонение, +/- deviation, +/-			
2020	2452,4	20,1	13,2	+6,9	42,0	34,7	+7,3	0,69	58,7	27,3
2021	2566,5	21,0	13,2	+7,8	28,5	34,7	-6,2	0,45	60,5	24,5
2022	2473,2	20,3	13,2	+7,1	49,5	34,7	+14,8	0,80	58,7	25,3
Среднее за 3 года Average for 3 years	2498,1	20,5	13,2	+7,3	40,0	34,7	+5,3	0,65	59,3	25,7

Примечание: *средние многолетние данные по станции г. Хасавюрт с 2010 по 2020 гг.;

** средний урожай зерна по Хасавюртовскому району

Note: *average long-term data for the Khasavyurt station from 2010 to 2020; ** average grain yield for the Khasavyurt district

В 2022 году в целом сложились благоприятные условия для роста и развития озимой пшеницы. Дата устойчивого повышения температуры воздуха перехода отметки 0°C отмечалась в феврале, + 10°C – в апреле. Среднегодовая температура воздуха составила 14,1°C, зимнего периода (декабрь, январь, февраль) – 3,3°C, летнего (июнь, июль, август) – 23,9°C. Годовое количество осадков составило 362 мм, из которых 251 мм выпало в весенне-летний период. Физическое испарение воды с поверхности почвы за год в среднем составило 815–970 мм, дефицит влаги восполнялся поливами.

К отличительным особенностям периода вегетации можно отнести значительное количество тепла в 2021 году, с превышением температуры воздуха от среднесезонных значений на 7,8°C и наименьшим количеством выпавших осадков, что на 6,2 мм меньше среднесезонных значений.

Вегетационный период 2020–2022 гг. согласно классификации ($0,3 < ГТК \leq 0,6$), определяется как засушливая и средnezасушливая.

Индекс аридности – это показатель, характеризующий степень сухости (аридности) климата. В наших исследованиях использован расчет индекса аридности Де Мартона [8; 9]. *Arid index (Ai)* – частное от деления среднегодовой суммы осадков (R) на сумму среднегодовой температуры воздуха (T), увеличенной на 10, т.е. $Ai = R/(T+10)$. Наименьшие значения индекса соответствуют наибольшей аридности. Этот индекс достаточно широко используется как за рубежом, так и в России [10; 11].

Исследования проводились на опытном поле ОС им. Кирова Хасавюртовского района – филиала «ФАНЦ РД». Для проведения исследований закладывался опыт со следующими вариантами.

Опыт. Влияние азотной подкормки на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Гром.

Схема опыта

Варианты:

1. Контроль – без удобрений.
2. N₃₀P₉₀.
3. N₆₀P₉₀.
4. N₉₀P₉₀.

В качестве основного удобрения вносился аммофос в дозе P₉₀ (1,8 ц/га) под основную вспашку. Вариант 1 – Контроль: без внесения минеральных удобрений, вариант 2 – P₉₀ в виде основного удобрения (аммофос) в качестве общего фона, вносимый в предпосевную культивацию + N₃₀ (весной в фазе кущения), вариант 3 – Фон + N₆₀ (осенью в фазе кущения) и вариант 4 – Фон + N₉₀ дробно: N₃₀ (осенью в фазе полных всходов) + N₆₀ (весной в фазе кущения).

Общая площадь опытной делянки – 108 м² (30 м × 3,6 м), учетная – 100 м². Повторность опыта – 3-х кратная. Размещение делянок – систематическое.

Объект исследований – лугово-каштановые почвы, озимая пшеница – сорт Гром. Предшественник – озимая пшеница. Норма высева семян – 5 млн на 1 га, глубина заделки семян 5–6 см.

Обработка почвы под озимые после стерневых предшественников проводилась по системе поливного полупара, разработанная ФАНЦ РД для равнинной зоны Республики Дагестан [12].

Технология обработки почвы по этой системе включает: лущение стерни дисковыми лущильниками или бородами сразу после уборки предшественника; вспашка на глубину 20–22 см плугами с предплужниками; эксплуатационная планировка; рыхления почвы на глубину 35–45 см при наличии плужной подошвы; полив влагозарядковый; поверхностные обработки (культивация, дискование); предпосевное выравнивание почвы, полив по полосам или бороздам.

Посев проводился в оптимальные сроки – во второй половине октября, а затем прикатывания почвы для получения дружных всходов озимой пшеницы.

Весной, в третьей декаде февраля проводилось боронование посевов. Вегетационный полив с нормой 800 м³/га проводился дважды – в первой декаде апреля и второй – во второй декаде мая. Кроме того, во второй

декаде апреля проводилось опрыскивание посевов пшеницы против сорной растительности. Уборка озимой пшеницы на зерно проводилась в третьей декаде июня.

Анализ почвенных образцов проводился с использованием общепринятых стандартных методик. Почва лугово-каштановая карбонатная, тяжелосуглинистая, с слабощелочным составом (в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26483) pH – 7,0–7,5, содержание гумуса в почве по Тюрину (в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213) – 2,94–3,70%, динамика содержания нитратного азота – в (модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91) – 1,9–2,5 мг на 100 г почвы и подвижных форм фосфора, калия (по Мачигину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26205-91) в пахотных слоях почвы составляли – соответственно 1,8–2,3 и 40,8–45,3 мг на 100 г почвы. Плотность верхних слоев почвы – 1,25–1,32 г/см³.

Оценку биологической урожайности зерна и её структуры по «Методике государственного сортоиспытания сельхозкультур» [13]. Технологические показатели качества зерна (белок, клейковина) определялись по ГОСТам: белка пересчетом на коэффициент 5,7, клейковины по ГОСТу 13586.1-68. Дисперсионный анализ по Б.А. Доспехову [14] и программой MS Excel 2019.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По статистической обработке данных вегетационного периода 2020–2022 гг. по наиболее значимым агрометеорологическим показателям (температура, осадки) на урожайность (т/га), получены уравнения регрессии (табл. 2). Анализ средних значений *Ai* – 16,2 показал, что они вполне сопоставимы для зональных субаридных зон, нередко демонстрируя даже более существенную степень аридности.

Таблица 2. Изменение климатических показателей исследуемой территории и коррелятивная связь с *урожаем озимой пшеницы по годам**Table 2.** Change in climatic indicators of the studied territory and correlative relationship with *winter wheat yield by year

Исследуемый район The area under study	Годы / Years								
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
	T _{cp} (°C) / **T _{av} (°C)			*R (мм) / ***R (mm)			****Ai / ****Ai		
Хасавюртовский район Khasavyurt	13,8	13,5	14,8	447	357	363	18,7	15,2	14,6
	Среднее за 3 года / Average for 3 years								
	14,1			389			16,2		
Уравнение регрессии (y) и его коэффициент (r) Regression equation (y) and its coefficient (r)	y = -0,2597x + 7,8852; r = 0,4765			y = 0,0058x + 2,3369; r = 0,6686			y = 0,5955x + 16,073; r = 0,9143		

Примечание: * – средний урожай зерна по Хасавюртовскому району (2020 г. – 27,3 т/га, 2021 г. – 24,3 т/га, 2022 г. – 25,3 т/га); **T_{cp} – средняя годовая амплитуда температур, °C; ***R – годовое количество осадков, мм; ****Ai – индекс аридности де Мартонна

Note: * – average grain yield in Khasavyurt district (2020 – 27.3 t/ha, 2021 – 24.3 t/ha, 2022 – 25.3 t/ha);

T_{av} – average annual temperature range, °C; *R – annual precipitation, mm; ****Ai – de Martonne aridity index

На основании полученных данных можно заключить, что наибольшее положительное влияние на урожайность озимой пшеницы за вегетационный период оказывает количество выпавших осадков. Полученные уравнения регрессии достаточно полно характеризуют влияние температуры и осадков на величину урожая. Высокая степени зависимости (коэффициент $r = 0,4765$ и $r = 0,6686$) позволяет прогнозировать уровень урожайности озимой пшеницы с учетом средней температуры и выпадения осадков в течение вегетационного периода.

Дефицит влаги при повышении засухо- и жаростойкости в период вегетации растений влияет на дифференциацию генеративных органов озимой пшеницы и образованию в колосе стерильных цветков, что приводит к снижению продуктивности [15]. Наличие благоприятных условий в репродуктивный период развития зерновок способствует накоплению в растении азотистых соединений и последующей реутилизации азота (N) из вегетативных органов в зерно, что обеспечивает налив зерна и накопление в нем белка. В процессе вегетации озимой пшеницы преимущество получают сорта с высокой генетической потенциальной продуктивностью, в неблагоприятных – сорта устойчивые к влиянию абиотических и биотических стрессов [16; 17]

Показатели физических и водно-физических свойств почвы: плотность твердой фазы изменялась в пределах 2,65–2,75 г/см³, постепенно возрастая с глубиной, плотность сложения верхних горизонтов была сравнительно небольшой – 1,24–1,28 г/см³, резкое ее увеличение наблюдалась лишь с метровой глубины, общая порозность верхних горизонтов высокая – 52–53%, уплотнением 60 см и глубже.

Наименьшая влагоемкость (НВ) пахотного слоя 0–22 см составляют 27,5%, максимальная гигроскопичность 4,95% со снижением в нижележащих слоях до 23,5% и 4,40% соответственно.

Содержание гумуса в пахотном горизонте составило 3,11%, валового азота – 0,275%, валового

фосфора – 0,180%. По обеспеченности доступными элементами питания почва опытного участка характеризуется как среднеобеспеченная легкогидролизуемым азотом (Нл.г.) – 49 мг/кг, высоко – калием (408,3 мг/кг), низко- и среднеобеспеченна фосфором (22,5–23,5 мг/кг почвы). Ёмкость поглощения в пахотном слое составляет 23,6 мг-экв/100 г.

Расчет доз минеральных удобрений является важной задачей и связан с тем, что содержание питательных элементов в почве, особенно азота изменяется от многих факторов.

В начале вегетации на контроле без внесения удобрений содержание нитратного азота составило 24,6 мг/кг, при внесении азотно-фосфорных – 24,9–25,9 мг/кг почвы (табл. 3).

На всех этапах роста и развития озимой пшеницы наблюдалось повышенное содержание нитратного азота в почве в зависимости от доз удобрений. Минимальное значение отмечено в период колошение-налив зерна (23,7–24,6 мг/кг почвы).

Ранневесенняя подкормка озимых способствует быстрому росту и развитию растений после перезимовки, поэтому ее нужно проводить аммиачной селитрой в дозе N₃₀ и N₆₀ д.в. во второй–третьей декадах февраля, с первым выходом сельхозтехники на поля. Хорошие результаты дает также осенняя подкормка в дозе N₃₀ д.в., которая проводится после всходов до ухода пшеницы на перезимовку (состояние покоя). Эта подкормка способствует сильному развитию корневой системы и усиленному росту надземной массы.

По слоям горизонта наблюдается процесс накопления питательных веществ в почве, а также их вынос с урожаем в большей мере изменяется от фаз развития и биологических особенностей сорта пшеницы в начале вегетации. С началом вегетации в фазе всходов и в последующих фазах роста и развития растений содержание в почве их уменьшается из-за интенсивного накопления питательных веществ.

Таблица 3. Содержание подвижных форм элементов питания в почве в зависимости от видов и доз минеральных удобрений на посевах озимой пшеницы (сорт Гром), мг/кг сухой почвы (в среднем за 2021–2022 гг.)**Table 3.** The content of mobile forms of nutrients in the soil, depending on the types and doses of mineral fertilizers on winter wheat crops (Grom variety), mg/kg of dry soil (on average for 2021–2022)

Вариант опыта Experimental Variant	Горизонт (глубина на взятии образца), см Horizon (depth of sampling), cm	Фаза развития / Development stage					
		всходы shoots	начало весенней вегетации beginning of spring vegetation	колошение earring	полная спелость full ripeness	среднее average	% по отношению к контролю % relative to control
N-NO ₃ / N-NO ₃							
Контроль (без удобрений) Control (without fertilizers)	0–20	24,6	24,3	23,7	24,0	24,0	-
	20–40	19,4	19,0	18,1	18,7	18,8	-
	40–60	19,8	19,2	18,5	18,4	18,9	-
	0–60	21,3	20,8	20,1	20,4	20,6	-
N ₃₀ P ₉₀ / N ₃₀ P ₉₀	0–20	24,9	24,6	23,9	24,2	24,4	1,6
	20–40	19,8	19,8	19,0	19,5	19,5	3,7
	40–60	19,7	19,3	19,2	19,8	19,5	3,2
	0–60	21,5	21,3	20,7	21,2	21,2	2,9
N ₆₀ P ₉₀ / N ₆₀ P ₉₀	0–20	25,3	25,1	24,2	24,5	24,7	2,9
	20–40	21,4	20,6	20,1	20,8	20,7	10,1
	40–60	21,2	21,0	20,3	20,6	20,7	9,5
	0–60	22,6	22,3	21,5	21,9	22,1	7,3
N ₉₀ P ₉₀ / N ₉₀ P ₉₀	0–20	25,9	25,4	24,6	24,9	25,2	5,0
	20–40	21,8	21,1	20,6	21,2	21,2	12,7
	40–60	21,9	21,7	20,8	21,2	21,4	13,2
	0–60	23,2	22,7	22,0	22,4	22,6	9,7
Среднее по вариантам Average for variants	0–60	22,2	21,7	21,1	21,5	21,6	
P ₂ O ₅ / P ₂ O ₅							
Контроль (без удобрений) Control (without fertilizers)	0–20	22,2	21,8	21,4	22,1	21,8	-
	20–40	18,9	17,4	17,0	18,5	17,9	-
	40–60	18,5	17,6	17,1	17,7	17,7	-
	0–60	19,8	18,9	18,5	19,4	19,2	-
N ₃₀ P ₉₀ / N ₃₀ P ₉₀	0–20	22,8	22,2	21,8	22,1	22,2	1,8
	20–40	19,5	19,0	18,2	19,2	18,9	5,6
	40–60	19,8	19,3	18,2	19,3	19,2	8,4
	0–60	20,7	20,2	19,4	20,2	20,1	4,7
N ₆₀ P ₉₀ / N ₆₀ P ₉₀	0–20	23,3	22,9	22,0	22,3	22,6	3,6
	20–40	20,1	19,3	18,8	19,2	19,4	8,3
	40–60	20,3	19,8	18,6	19,0	19,4	9,6
	0–60	21,3	20,6	19,8	20,2	20,5	6,7
N ₉₀ P ₉₀ / N ₉₀ P ₉₀	0–20	24,6	23,2	22,4	22,9	23,3	6,8
	20–40	20,8	20,2	19,3	20,1	20,1	12,3
	40–60	20,9	20,6	19,5	20,3	20,3	14,7
	0–60	22,1	21,3	20,4	21,1	21,3	10,9
Среднее по вариантам Average for variants	0–60	20,9	20,3	19,5	20,2	20,3	
K ₂ O / K ₂ O							
Контроль (без удобрений) Control (without fertilizers)	0–20	408,3	401,2	386,3	381,2	394,3	-
	20–40	400,0	393,2	377,6	370,0	385,2	-
	40–60	395,4	390,2	380,2	371,3	384,3	-
	0–60	401,3	394,8	381,4	374,2	387,9	-
N ₃₀ P ₉₀ / N ₃₀ P ₉₀	0–20	418,5	410,3	390,6	389,0	402,1	1,9
	20–40	410,4	393,9	382,4	376,3	390,7	1,4
	40–60	413,1	401,4	380,7	375,2	392,6	2,2
	0–60	414,0	401,8	384,6	380,2	395,2	1,8

N₆₀P₉₀ / N₆₀P₉₀	0–20	422,9	416,8	393,7	390,1	405,8	2,9
	20–40	418,3	401,2	389,2	381,5	397,5	3,2
	40–60	418,0	400,6	390,2	381,7	397,6	3,5
	0–60	419,7	406,2	391,1	384,4	400,3	3,2
N₉₀P₉₀ / N₉₀P₉₀	0–20	428,8	421,5	406,6	395,4	413,1	4,7
	20–40	419,7	407,1	390,5	388,0	401,3	4,2
	40–60	420,1	408,8	392,2	387,2	402,1	4,6
	0–60	422,8	412,5	396,4	390,2	405,6	4,6
Среднее по вариантам Average by options	0–60	414,5	403,8	388,4	382,3	397,3	

Полученные результаты по продуктивности зерна озимой пшеницы сорта Гром подтверждают, что увеличение дозы азотных удобрений (аммиачной селитры) от N₃₀ до N₉₀ обеспечивает повышение урожайности и качества зерна (табл. 4–5).

Наибольшая урожайность зерна получена в варианте N₉₀P₉₀ (7,90 т/га), что на 2,74 т/га больше по сравнению с контрольным вариантом. Разницы в урожайности зерна достоверны при НСР₀₅, которая составляет 0,45 т/га (6,89%). Внесение удобрения в дозе

N₃₀P₉₀ достоверно превысило по урожайности контрольный вариант на 1,09 т/га (21,1%), в дозе N₆₀P₉₀ – на 1,90 т/га (36,8%).

Согласно классификации характеристики и ограничительной нормы для мягкой пшеницы по ГОСТу 9353-2016 к качеству зерна, достигнуты следующие показатели ценной пшеницы: массовая доля белка в пересчете на сухое вещество – 14,1–14,8% (I класс), количество клейковины – 21,8–27,9% (II–III класс).

Таблица 4. Показатели урожайности зерна озимой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания, т/га (в среднем за 2021–2022 гг.)

Table 4. Indicators of winter wheat grain yield depending on the level of mineral nutrition, t/ha (on average for 2021–2022)

Вариант опыта Experimental variant	Урожай зерна, т/га Grain harvest, t/ha				Прибавка зерна, т/га Grain increase, t/ha	
	повторности repetitions			среднее по каждому варианту average for each variant	по отношению к контролю in relation to control	по отношению к фону питания in relation to the nutritional background
	I	II	III			
2021 год, очень засушливый, ГТК _(IV-VI) = 0,45 2021, a very dry year, HTK _(IV-VI) = 0.45						
Контроль (без удобрений) Control (without fertilizers)	4,24	4,52	3,87	4,21	-	-
N ₃₀ P ₉₀ / N ₃₀ P ₉₀	7,15	6,30	5,55	6,33	2,12	-
N ₆₀ P ₉₀ / N ₆₀ P ₉₀	7,61	7,07	6,93	7,21	3,00	0,88
N ₉₀ P ₉₀ / N ₉₀ P ₉₀	8,21	8,43	8,30	8,31	4,10	1,1
Среднее по вариантам Average for variants	6,81	6,58	6,16	6,52	3,07	
НСР ₀₅ , т/га = 0,79 / SSD ₀₅ , т/га = 0.79 НСР ₀₅ , % = 12,10 / SSD ₀₅ , % = 12.10						
2022 год, засушливый, ГТК _(IV-VI) = 0,80 2022, dry year, HTK _(IV-VI) = 0.80						
Контроль (без удобрений) Control (without fertilizers)	4,82	5,15	5,50	5,16	-	-
N ₃₀ P ₉₀ / N ₃₀ P ₉₀	6,12	6,43	6,20	6,25	1,09	-
N ₆₀ P ₉₀ / N ₆₀ P ₉₀	7,18	7,07	6,93	7,06	1,90	0,81
N ₉₀ P ₉₀ / N ₉₀ P ₉₀	7,86	8,11	7,74	7,90	2,74	0,84
Среднее по вариантам Average for variants	6,49	6,69	6,59	6,59	1,91	
НСР ₀₅ , т/га = 0,45 / SSD ₀₅ , т/га = 0.45 НСР ₀₅ , % = 6,89 / SSD ₀₅ , % = 6.89						
в среднем за 2 года в среднем за 2 года						
Среднее по всем вариантам Average for all variants	6,65	6,64	6,37	6,55	2,49	

Таблица 5. Влияние доз удобрений на качественные показатели зерна озимой пшеницы, % (2021–2022 гг.)**Table 5.** The effect of fertilizer doses on the quality indicators of winter wheat grain, % (2021–2022)

Вариант опыта Experimental variant	Содержание белка/клейковины зерна озимой мягкой пшеницы (сорт Гром) Protein/gluten content of winter soft wheat grains (Grom variety)		
	2021 год, ГТК _(v) = 0,68 2021, НТК _(v) = 0.68	2022 год, ГТК _(v) = 1,78 2022, НТК _(v) = 1.78	в среднем за 2 года average for 2 years
Контроль (без удобрений) Control (without fertilizers)	12,9* 20,2	13,5 21,3	13,2 20,7
N ₃₀ P ₉₀ / N ₃₀ P ₉₀	13,9 21,5	14,3 22,1	14,1 21,8
N ₆₀ P ₉₀ / N ₆₀ P ₉₀	14,3 27,1	14,7 25,6	14,5 26,4
N ₉₀ P ₉₀ / N ₉₀ P ₉₀	14,9 28,5	14,8 27,4	14,8 27,9
Среднее / Average	14,0 24,3	14,3 24,1	14,2 24,2

HCP₀₅ (для белка) – 0,67; HCP₀₅ (%) – 0,67 / HCP₀₅ (для клейковины) – 2,85; HCP₀₅ (%) – 11,78

SSD₀₅ (protein) – 0.67; SSD₀₅ (%) – 0.67 / SSD₀₅ (gluten) – 2.85; SSD₀₅ (%) – 11.78

Примечание: *в числителе – содержание протеина, в знаменателе – клейковины

Note: *in the numerator – protein content, in the denominator – gluten

Исследования 2021–2022 гг. показали, что в среднем по мере увеличения дозы азотных подкормок улучшаются показатели посевных качеств семян и хлебопекарных качеств зерна озимой пшеницы. В наилучшем варианте N₉₀P₉₀ получены следующие показатели: энергия прорастания семян составила 100%, всхожесть – 100%, масса 1000 зерен – 37,1 г, содержание белков – 14,8%, клейковины 27,9%, что соответственно на 4%; 4%; 8,3 г; 1,6% и 7,2% больше, чем в контрольном варианте без применения минеральных удобрений и выше, чем в вариантах N₃₀P₉₀ и N₆₀P₉₀.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В наших исследованиях также было изучено влияние внесения различных доз азотных удобрений на фоне P₉₀ на посевные качества семян и хлебопекарные качества зерна озимой пшеницы сорта Гром.

Таким образом, в наших исследованиях можно заключить:

- климатические условия позволяют спрогнозировать и имеют важное значение в формировании высокой урожайности зерна озимой пшеницы сорта Гром, при этом большое влияние оказывает количество выпадающих осадков за вегетационный период;
- агроэкологическая зона исследования обуславливает использование высокоинтенсивного сорта Гром, которая способствуют стабилизации продуктивности и повышения качества продукции;
- использование азотной подкормки (N₃₀, N₆₀ и N₉₀) на фоне P₉₀ способствует повышению урожайности зерна озимой пшеницы от 6,25 до 7,90 т/га и улучшению основных показателей хлебопекарных качеств зерна: белка – 14,3–14,8% и клейковины – 22,1–27,4%, наилучший вариант с азотной подкормкой показал в дозе N₉₀ (N₃₀ осенью + N₆₀ весной).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ рамках Государственного задания ФГБНУ «ФАНЦ РД» (тема № 1220211800247-5 FNMN-2022-0010).

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Task of the FSBSI «Federal agricultural research center of the Republic of Dagestan» (topic No. 1220211800247-5 FNMN-2022-0010).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Найдин П.Г. Методика закладки длительных опытов по изучению системы удобрения в севообороте // Вестник с.-х. науки. 1965. N 5. С. 41–44.
2. Соколов А.В., Власюк П.А. и др. Очередные задачи изучения плодородия почв и путей его повышения // Почвоведение. 1963. N 1. С. 75–79.
3. Котенко М.Е., Баламирзоев М.А. Эколого-генетические аспекты плодородия почв Терско-Сулакской низменности Дагестана // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. N 2. С. 95–99.
4. Магомедов Н.Р., Абдуллаев Ж.Н., Гасанов Г.Н. Влияние приемов обработки почвы на урожайность пожнивных культур и озимой пшеницы в Приморской подпровинции Дагестана // Материалы международной научно-практической конференции «Научное обеспечение АПК на современном этапе», п. Рассвет, Ростовской обл., 2015. С. 226–233.
5. Салихов С.А. Баланс питательных элементов под озимой пшеницей в лугово-каштановой почве Терско-Сулакской равнины при разных видах удобрений // Агрохимический вестник. 2010. N 4. С. 36–39.
6. Салманов А.Б. Результаты полевых опытов с минеральными удобрениями на лугово-степных почвах // Труды отдела почвоведения Даг. филиала АН СССР. Махачкала, 1959. Т. 4. С. 272–300.
7. Ерошенко Ф.В. Особенности фотосинтетической деятельности сортов озимой пшеницы: монография. Ставрополь: Сервис школа, 2006. 200 с.
8. Справочник по показателям и индексам засухливости. 2016. 53 с. URL: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices_ru_2016.pdf (дата обращения: 14.05.2020)
9. De Martonne E. Traite de Geographie Physique. 11. Paris, Colin, 1925. 496 p.
10. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной

дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015. N 1. С. 112–120.

11. Baltas E. Spatial distribution of climatic indices in northern Greece // *Meteorological Applications*. 2007. N 14. P. 69–78.
12. Система ведения агропромышленного комплекса в Дагестане: организационно-экономические мероприятия. Махачкала: Даг. кн. изд-во, 1990. 352 с.
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 1. Общая часть. М.: Колос, 2019. 329 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по Требованию, 2013. 349 с.
15. Губанов Я.В. Озимая пшеница. Москва: Агропромиздат, 1988. 303 с.
16. Дубовик Д.В. Влияние климатических условий года на качество зерна озимой пшеницы // *Достижения науки и техники АПК*. 2007. N 6. С. 51–52.
17. Маслова Г.Я., Шарапов И.И., Шаропова Ю.А., Абдраев М.Р. Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы в условиях лесостепи Самарской области // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. N 9. С. 57–60.

REFERENCES

1. Naidin P.G. Methodology for laying long-term experiments on the study of the fertilizer system in crop rotation. *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Bulletin of Agricultural Science]. 1965, no. 5, pp. 41–44. (In Russian)
2. Sokolov A.V., Vlasjuk P.A., et al. The next tasks of studying soil fertility and ways to increase it. *Pochvovedenie* [Soil Science]. 1963, no. 1, pp. 75–79. (In Russian)
3. Kotenko M.E., Balamirzoev M.A. Ecological and genetic aspects of soil fertility of the Tersko-Sulak lowland of Dagestan. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki* [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences]. 2010, no. 2, pp. 95–99. (In Russian)
4. Magomedov N.R., Abdullaev Zh.N., Gasanov G.N. Vliyanie priemov obrabotki pochvy na urozhainost' pozhnivnykh kul'tur i ozimoi pshenitsy v Primorskoj podprovintsii Dagestana [The influence of tillage techniques on the yield of crop crops and winter wheat in the Primorsky subprovincion of Dagestan]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnoe obespechenie APK na sovremennom etape»*, p. Rassvet, Rostovskoi obl., 2015 [Materials of the international scientific and practical conference "Scientific support of agriculture at the present stage", village Rassvet, Rostov region, 2015]. Rostov region, 2015, pp. 226–233. (In Russian)
5. Salikhov S.A. The balance of nutrients under winter wheat in meadow-chestnut soil of the Tersko-Sulak plain with different

- types of fertilizers. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Bulletin]. 2010, no. 4, pp. 36–39. (In Russian)
6. Salmanov A.B. Rezul'taty polevykh opytov s mineral'nymi udobreniyami na lugovo-stepnykh pochvakh [Results of field experiments with mineral fertilizers on meadow-steppe soils]. In: *Trudy otdela pochvovedeniya Dagestanskogo filiala AN SSSR* [Proceedings of the Department of Soil Science of the Dagestan branch of the USSR Academy of Sciences]. Makhachkala, 1959, vol. 4, pp. 272–300. (In Russian)
7. Eroshenko F.V. *Osobennosti fotosinteticheskoi deyatel'nosti sortov ozimoi pshenitsy* [Features of photosynthetic activity of winter wheat varieties]. Stavropol, 2006, 200 p. (In Russian)
8. *Spravochnik po pokazatelyam i indeksam zasushlivosti* [Handbook of indicators and indices of aridity]. 2016, 53 p. (In Russian) Available at: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices_ru_2016.pdf (accessed 05.14.2020)
9. De Martonne E. *Traite de Geographie Physique*. 11. Paris, Colin, 1925, 496 p.
10. Kazeev K.Sh., Kozun Yu.S., Kolesnikov S.I. The use of an integral indicator to assess the spatial differentiation of biological properties of soils in the south of Russia in the climate aridity gradient. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Siberian Ecological Journal]. 2015, no. 1, pp. 112–120. (In Russian)
11. Baltas E. Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications*. 2007, no. 14, pp. 69–78.
12. *Sistema vedeniya agropromyshlennogo kompleksa v Dagestane: organizatsionno-ekonomicheskie meropriyatiya* [The system of conducting the agro-industrial complex in Dagestan: organizational and economic measures]. Makhachkala, Dagestan Book Publ., 1990, 352 p. (In Russian)
13. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Vypusk 1. Obshchaya chast'* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part]. Moscow, Kolos, 2019, 329 p. (In Russian)
14. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy* [Methodology of field experience: with the basics of statistical processing of research results]. Moscow, Book on Demand, 2013, 349 p. (In Russian)
15. Gubanov Ya.V. *Ozimaya pshenitsa* [Winter wheat]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988, 303 p. (In Russian)
16. Dubovik D.V. The influence of climatic conditions of the year on the quality of winter wheat grain. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the Agroindustrial complex]. 2007, no. 6, pp. 51–52. (In Russian)
17. Maslova G.Ya., Sharapov I.I., Sharapova Yu.A., Abdryaev M.R. The influence of weather conditions on the yield and grain quality of winter wheat varieties in the conditions of the forest-steppe of the Samara region. *Mezhdunarodnyi zhurnal humanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences]. 2019, no. 9, pp. 57–60. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Самир А. Теймуров, Магомед-Расул А. Казиев, Абдумеджид А. Багомаев проанализировали данные, корректировали рукопись до подачи в редакцию представили фактический материал. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Samir A. Teymurov, Magomed-Rasul A. Kaziev and Abdummedjid A. Bagomaev, presented the factual material analysed the data and corrected the manuscript before submitting it to the Editor. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Самир А. Теймуров / Samir A. Teymurov <https://orcid.org/0000-0002-0336-7380>

Магомед-Расул А. Казиев / Magomed-Rasul A. Kaziev <https://orcid.org/0000-0002-6929-9034>

Абдумеджид А. Багомаев / Abdummedjid A. Bagomaev <https://orcid.org/0009-0000-6721-3180>

Обзорная статья / Review article

УДК 21/29-029: 379.85

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-161-167

К вопросу о развитии религиозного туризма в Республике Дагестан

Аният А. Абасова

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Аният А. Абасова, кандидат философских наук, доцент, кафедра теории и истории религии и культуры, Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дзержинского, 12.

Тел. +79886455081

Email abasova65@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0007-9843-071X>

Формат цитирования

Абасова А.А. К вопросу о развитии религиозного туризма в Республике Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 161-167. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-161-167

Получена 25 ноября 2022 г.

Прошла рецензирование 27 января 2023 г.

Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. В статье рассматриваются вопросы развития религиозного туризма в Республике Дагестан, как экскурсионно-познавательной и религиозно-направленной, так и паломнических туров.

Обсуждение. Рекреационный потенциал республики – многочисленные культовые объекты, памятники духовной культуры и культурно-исторические комплексы, благоприятные природно-климатические условия, теплое Каспийское море и песчаные пляжи, уникальные природные объекты – Сулакский каньон, бархан Сарыкум, Салтинский подземный водопад, Самурский лес, Тоботский водопад, величественные горы – привлекли в Дагестан за последние годы большое количество гостей. В течение 2022 года республику посетило более полутора миллиона человек, в то время как численность населения в самой республике составляет три миллиона. Ввиду того, что на территории современного Дагестана до распространения ислама имели место язычество, зороастризм, иудаизм и христианство, то на дагестанской земле сохранились культовые объекты, связанные с этими религиями. Конечно, самая многочисленная группа культовых мест связана с исламом.

Заключение. Наличие в Дагестане святынь, связанных не только с исламом, но и христианством, позволяет развивать в республике религиозный туризм не только экскурсионно-познавательной и религиозно-направленной, но и паломнические туры для верующих граждан страны, что, несомненно, будет способствовать воспитанию веротерпимости, толерантности и взаимопониманию представителей разных вероисповеданий и сделает Дагестан еще более привлекательным для гостей.

Ключевые слова

Дагестан, религиозный туризм, мусульманские святыни, христианские святыни, зиярат, паломничество, Армянская апостольская церковь.

On the issue of the development of religious tourism in the Republic of Dagestan

Aniyat A. Abasova

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Aniyat A. Abasova, Docent, Department of Theory and History of Religion and Culture, Dagestan State University; 12 Dzerzhinsky St, Makhachkala, Russia 367001.

Tel. +79886455081

Email abasova65@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0007-9843-071X>

How to cite this article

Abasova A.A. On the issue of the development of religious tourism in the Republic of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 161-167. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-161-167

Received 25 November 2022

Revised 27 January 2023

Accepted 6 February 2023

Abstract

Aim. The article deals with the development of religious tourism in the Republic of Dagestan as excursions, educational and religious studies and pilgrimage tours.

Discussion. The recreational potential of the republic includes numerous places of worship, monuments of spiritual culture and cultural and historical complexes, favourable natural and climatic conditions, the warm Caspian Sea and sandy beaches and unique natural objects, such as the Sulak Canyon, the Sary-Kum dune, the Saltinsky underground waterfall, the Samur forest, the Tobotsky waterfall, majestic mountains, which have attracted a large number of guests to Dagestan in recent years. During 2022, more than one and a half million people visited the republic, while the population in the republic itself is three million. In view of the fact that paganism, Zoroastrianism, Judaism and Christianity were practiced on the territory of modern Dagestan before the spread of Islam, cult objects associated with these religions have been preserved. Of course, the largest group of places of worship is associated with Islam.

Conclusion. The presence in Dagestan of shrines associated not only with Islam, but also with Christianity, makes it possible to develop religious tourism in the republic not only in the form of excursions and educational and religious studies, but also pilgrimage tours for believing citizens of the country, which will undoubtedly contribute to the education of religious tolerance and mutual understanding of representatives of different religions.

Key Words

Dagestan, religious tourism, Muslim shrines, Christian shrines, ziyarats, pilgrimage, Armenian Apostolic Church.

ВВЕДЕНИЕ

Дагестан богат уникальным природным и культурным наследием, которое формировалось веками на основе взаимодействия разнообразных природных, экономических, этнокультурных и исторических факторов. В Дагестане проживают более тридцати народностей, говорящих более чем на тридцати языках и семидесяти диалектах, с богатым духовным наследием и самобытной национальной культурой. Наша республика обладает разнообразными бальнеологическими и природно-климатическими ресурсами, и уникальными культурно-историческими комплексами, многие из которых и в настоящее время являются живыми очагами традиционной культуры. На территории Дагестана находятся 6474 памятника архитектуры, истории и культуры, из которых 1994 являются памятниками федерального значения и 40 находятся под охраной ЮНЕСКО [1].

Город Дербент и древние аулы горного Дагестана, богатые уникальной архитектурой, духовным наследием и памятными историческими событиями, и сегодня хранят в себе множество культурных пластов различных эпох.

Многие горные аулы сохранили народные промыслы, свой неповторимый архитектурный облик, традиционные виды землепользования (например, террасированные поля), памятники духовной культуры. И все это богатство можно и нужно использовать для развития туристической индустрии в республике.

В настоящее время в республике много внимания уделяется развитию различных видов туризма: горного и этнотуризма, культурно-познавательного, приключенческого, охотничьего, экологического, религиозного (экскурсионно-познавательные туры, паломничество к «святым» местам и к памятникам духовной культуры) и т.д. [2].

О том, что Дагестан востребован на внутреннем рынке туризма РФ свидетельствует тот факт, что с каждым годом количество туристов, посещающих нашу республику, все увеличивается. Так, согласно данным Министерства туризма РД, если в 2017 году в Дагестане побывали 608 тысяч человек, то в 2018 году республику посетили уже около 700 тысяч, в 2019 году – 850 тысяч [3], в 2020 году – 840 тысяч, в 2021 году – 1 миллион 85 тысяч туристов [4], а в 2022 году – уже более полутора миллионов человек [5]. По итогам национального туристического рейтинга 2021 года, Дагестан вошел во вторую «серебряную» группу, заняв 57 место в рейтинге [6].

Сегодня гостям республики доступны 45 паспортизированных туристических маршрутов, из которых 13 являются брендовыми. В 2021 году создана Ассоциация туристской индустрии РД, объединившая предприятия туристско-рекреационной и отельно-ресторанной индустрии республики. Правительством Республики Дагестан также предпринимаются меры по развитию инфраструктуры на территориях туристских кластеров [7].

ОБСУЖДЕНИЕ

Мусульманские святыни Дагестана

Традиционно религиозный туризм подразделяется на паломнический туризм, религиозный туризм экскурсионно-познавательной направленности, а также научно-исследовательские экспедиции религиозвед-

ческой направленности [8]. Религиозное паломничество, можно сказать, является самым древним видом туризма.

Развитие религиозного туризма, на наш взгляд, способствовало бы воспитанию толерантности, веротерпимости и взаимопониманию представителей разных культур и конфессий, а также способствовало бы сохранению многообразного историко-культурного и духовного наследия Дагестана.

До распространения и утверждения ислама в республике, на территории Дагестана имели место такие религии, как язычество, иудаизм, зороастризм и христианство, которые оставили отпечаток в материальной и духовной культуре народов Дагестана.

В Республике Дагестан находится более 8,7 тысяч памятников истории и духовной культуры федерального, регионального и муниципального значения (данные за 2010 год), большая часть которых являются культовыми объектами.

Все религиозные объекты, находящиеся на древней земле Дагестана, можно объединить в следующие группы: это святые места, возникшие еще до распространения монотеистических религий в Дагестане, связанные с мифологией и язычеством, святые места и памятники духовной культуры, связанные с распространением христианства и ислама [9].

Самые древние культовые объекты в Дагестане связаны с домонотеистической мифологией и древними историческими событиями. Как считают дагестанские исследователи они «встроены в структуру религиозного самосознания дагестанцев через гипотезированный объект – «священное место», в качестве которого, как правило, выступает какой-нибудь уникальный памятник природы – дерево, гора и пр. [9]. Практически, почти в каждом районе республики имеются такие почитаемые «святые места». Например, гора Шалбуздаг (у лезгин), гора Вацилу (у лакцев), горы Седло и Адалла-Шухгельмеэр (у аварцев), горы Моду и Бахарган (у андийцев), гора Джуфудог (у кайтагцев, агульцев и табасаранцев), природный скальный мост Кужник (для жителей Табасаранского и Кайтагского районов) и др.

Наибольшее количество культовых мест связано с периодом проникновения и утверждения самой молодой мировой религии – ислама в Дагестане.

Места паломничества в Дагестане, связанные с исламом, можно объединить в следующие 3 группы: культовые объекты, связанные с историей становления мусульманства в Дагестане; культовые объекты (зияраты), связанные с именами видных дагестанских мусульманских ученых и шейхов; культовые места, связанные с событиями Кавказской войны 1817–1864 годов.

Культовыми объектами, связанными с историей распространения и утверждения ислама в Дагестане являются: пещера Дюрк, расположенная в Табасаранском районе в окрестностях селения Хустиль, где по преданию хранился меч арабского полководца Масламы, распространявшего ислам в Дагестане; кладбище «Кырхляр» в городе Дербенте, расположенное у северной городской стены, напротив ворот Кырхляр-капы, где захоронены сорок воинов-шахидов, погибших за веру; крепость Кала-Корейш в

Дахадаевском районе, неподалеку от селения Уркарах; зиярат у могилы Абу-Муслима в селении Хунзах и др.

Мест поклонения – зияратов, связанных с именами шейхов, ученых арабистов и устазов, также немало в республике. Паломниками активно посещаются шестьдесят шесть зияратов в Дагестане [9]. В их числе такие, как мазар шейха Гаджиэфенди Рамазана Штульского (19 в.) в селении Штул Курахского района, зиярат в старом Яраге – мечеть и медресе на родине шейха Мухаммада Яраги, а также его могила в селении Согратль, зиярат арабиста Хаджи-Мусы-Хаджи из Кукни, шейха Абдулхаджи в селении Урахи Сергокалинского района, в селении Верхнее Казанище Буйнакского района – шейха Сайфуллах-кади Халид Башларова, шейха Хасана-Хельми афанди и Мухаммада-Арифа афанди, сына Хасана Хилми из Кахиба, в селении Нижнее Казанище – зиярат ученого-арабиста Абдурахмана-Хаджи из Согратля, в селении Кахиб Шамильского района – зиярат трех шейхов: Хасана-Хилми афанди, Хабибула Хаджи и Мухаммада афанди, зиярат шейха М.Согратлинского (19 в.), шейха Ильяса Махмуда из селения Цудахар (19 в.), устازа Абдулхаджи из Гимры и т.д.

Среди культовых мест, связанных с событиями Кавказской войны отметим такие, как зиярат у гробницы первого имама Дагестана Гази Мухаммада в селении Гимры Унцукульского района, зиярат около гимринской башни, зиярат родителей имама Шамиля, зиярат сподвижников и наивов имама Шамиля – Магомедхана, Джабраила Газиява, Инквачил Дибера и др.

Памятными местами, связанными с Кавказской войной являются гора Ахульго с мемориально-историческим комплексом в память о трагических событиях 1839 года, местность Хициб у подножия горы Турчи-даг с мемориальным комплексом «Ватан», окрестности селения Буршаг в Агульском районе, где сохранились два кладбища шахидов – воинов наиба Хаджи Мурата, погибших 11 июля 1851 года в сражении с солдатами князя Аргунтинского, а также Хунзахское и Гунибское плато с находящимися на них остатками оборонительных сооружений и др.

Относительно развития религиозного туризма, то дагестанские исследователи увязывают его с старинными мечетями [9]. В Дагестане расположено немалое число старинных мечетей: например, древнейшая мечеть не только в Российской Федерации, но и на всем постсоветском пространстве – Джума-мечеть в городе Дербенте, построенная в 733–734 годах как кафедральная соборная мечеть аль Масжид-ул-Джамии, для совершения общего пятничного намаза. Также древнейшими являются мечеть «Хьюмизин» в Кумухе, построенная в 778 году, мечеть XIII века в селении Кала-Корейш Дахадаевского района, мечеть в селении Рича Агульского района, разрушенная монголами и в 1239 году восстановленная местными жителями, мечеть в селении Кунки Дахадаевского района, построенная в 1662–1663 годах мастером Кавтаром и др. [10, с.58].

Немалый интерес представляет расположенный в Южном Дагестане в селении Цахур Рутульского района медресе университетского типа «Низамия», основанный в 1075 году и являющийся не только самым древним мусульманским религиозным учебным заведением на Северном Кавказе, но и на территории

Российской Федерации [11]. Несмотря на коллизии времени, которые разрушали здание медресе и меняли его предназначение (так, в советский период, в 1936 году в ней располагалась местная общеобразовательная школа), в настоящее время она восстановлена жителями селения, которые открыли в стенах старинного медресе мечеть. Сохранилась также часть библиотеки медресе, в том числе и очень редкие экземпляры рукописных Коранов, самый древний из которых датируется 16 веком [12].

Минтуризмом Республики Дагестан разработаны маршруты для гостей и ее жителей, имеющих целью ознакомиться с памятниками духовной культуры. Это такие, как «Древние свидетели распространения ислама в Дагестане», «Древний Дербент», «По местам Кавказской войны» и др.

Туризм религиозной направленности имеет некоторые особенности, которые следует учитывать при организации религиозного паломничества [13]. Необходимо благоустраивать религиозные достопримечательности и культовые объекты, учитывая потребности верующих людей. Например, нужны специально отведенные и благоустроенные места для совершения ритуального омовения и молитвы, еда должна быть приготовлена согласно нормам шариата, учитывать особенности приема пищи в месяц Рамазан (для мусульман) и во время соблюдения христианского поста и т.п.

Христианские святыни Дагестана

Рекреационный потенциал Дагестана, на наш взгляд, позволяет организовывать экскурсионно-познавательные религиозные и паломнические туры не только для экскурсантов, являющихся мусульманами, но и для тех, кто исповедует христианство.

Распространение христианства в Дагестане происходило в течение многих веков, большую роль в котором сыграли Албания, Армения, Византия и Иберия.

Наиболее ранние сведения о распространении христианства в прикаспийских районах Дагестана содержатся в произведении Фавстоса Бузанда «История Армении» [10, с.39].

Христианство стало распространяться во всей Кавказской Албании, куда входила часть территории Дагестана, а также в город Дербент с середины I века. По некоторым источникам, албанский царь Урнайр вместе со своим войском и другими албанскими князьями в 313 году принял крещение от Святого Григория Просветителя. В V–VII веках город Дербент уже выступает главным центром распространения христианства в приморском Дагестане. Именно в Дербенте, по свидетельству раннесредневекового албанского автора Моисея Каланкатуйского, вплоть до середины VI века находилась резиденция патриархов Албанской церкви.

Огромный интерес представляет расположенный в Южном Дагестане, в селении Нюгди, расположенном в тридцати километрах от древнего города Дербента, церковь Святого Григориса, который является одним из древнейших памятников христианства не только в Дагестане, но и, смеем предположить, на территории Российской Федерации.

Храм возведен на месте мученической гибели в первой половине IV века святого Григориса – внука Григория Просветителя, который был первым католи-

косом Армянской апостольской церкви. По некоторым данным, он был воздвигнут в 337 году. Согласно источникам, по просьбе албанских правителей пятнадцатилетний Григорис был рукоположен в епископы Иверии и Албании в тридцатые годы IV века. Приехав в Прикаспийскую область, населенную маскутами-язычниками, он начал проповедническую миссию. Однако вскоре юного Григориса привязали к хвосту коня и обрекли на мучительную смерть. Точная дата его мученической смерти неизвестна. Впоследствии, место его гибели стало святым местом и не только для христиан.

Первое письменное упоминание о храме (часовне) Святого Григориса относятся к 1857 году, когда свои впечатления о ней оставил армянский публицист Ростов-бек Ерзинкян.

До начала XX века она сохранилась в виде небольшой часовни, на которой у входа была надпись, сообщавшая, что она была отреставрирована армянским купеческим родом в 1879 году.

В начале XX века, а точнее в 1916 году, два брата – Григор и Лазарь из армянского рода Ванецянц, построили на месте часовни небольшую церковь. Об этом гласит надпись над входом в церковь на армянском языке: «Храм построен на месте мученичества св.Григориса, внука отца нашего Григория Просветителя, отреставрирован на средства родных братьев Ванецянц, Григора и Лазаря Петросовичей, в год Господень 1916».

В 2004 году Союз армян России при непосредственной поддержке местных органов власти разобрали храм и заново отстроили.

В настоящее время ежегодно в день поминовения Святого Григориса, в предпоследнее воскресенье августа, в селение Нюгди приезжают паломники. В основном это армяне. Уже более пятнадцати лет в Нюгди для совершения службы в храме Святого Григориса приезжает настоятель кисловодской армянской церкви Тер Саркис. Впервые за сто лет – в 2019 году, в храме совершили литургию. В настоящее время в храме Святого Григориса совершают такие христианские таинства, как крещение и венчание [14].

Нельзя не отметить тот факт, что данный храм сохранился благодаря местному населению, которое всегда почитало это место как святое. Ключ от храма хранится в местной мусульманской семье.

С VII века в Горном Дагестане начинается распространение христианства из Грузии. Археологические раскопки в Верхне-Чирюртовском городище (керамические и золотые кресты, остатки часовен и др.) свидетельствуют о проникновении христианства в V–VI веках среди гуннов и других племен равнинного Дагестана. В этот же период христианство начинает проникать в Горный Дагестан.

Благодаря дагестанской археологической экспедиции 1955–1959 годов в Хунзахском, Гунибском, Цумадинском и Шамильском районах республики были обнаружены находки, подтверждающие распространение христианства среди жителей этих районов. Это каменные кресты и погребальный инвентарь, датируемый IX веком, погребальные сооружения, ориентированные на юго-восток, представляющие собой узкие каменные гробницы с деревянными гробами [10, С.38–39].

Особый интерес для развития религиозного туризма представляет, на наш взгляд, христианский храм Датун, расположенный в Шамильском районе республики, вблизи селения Датун. Это небольшая христианская церковь построена в конце X – начале XI веков в живописнейшем месте, внутри скального каньона в ущелье Хатан-Бучер-Хол, по форме напоминающая грузинскую церковь в Спети. Храм построен из местного камня. Возможно, там жили монахи, так как в одной из частей постройки имеются двойные стены, в которых расположены кельи. Церковь имеет три входа. По некоторым данным, еще в начале XX века на стенах можно было разглядеть фрески. Несколько лет назад храм Датун был отреставрирован. В настоящее время он является одним из посещаемых мест во время экскурсионных поездок в Горный Дагестан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в Дагестане, кроме значительного количества святынь, связанных с исламом, находятся и древнейшие святыни христианского мира.

Что касается паломничества к мусульманским святыням, то их можно разделить на святые места, связанные с распространением ислама в Дагестане; святые места, связанные с именами известных религиозных деятелей, ученых-арабистов, шейхов и, наконец, святые места, связанные с событиями Кавказской войны 1817–1864 годов [9].

В Дагестане достаточно сильно развито религиозное паломничество, как один из видов внутреннего религиозного туризма. Это посещение дагестанцами, как группами, семьями, так и индивидуально, зияратов, святых мест и памятников религиозной культуры. Наиболее посещаемыми, не только дагестанцами, но и гостями республики являются: кладбище «Кырхляр» и старинная Джума мечеть в древнем Дербенте, гора Шалбуздаг с пиром (так называются святые места в районах Южного Дагестана) святого Сулеймана, зиярат на горе Ахульго в Унцкульском районе, зиярат первого имама Дагестана Газимагомеда в Гимринском ущелье, пещера Дюрк около селения Хустиль Табасаранского района, зиярат в селении Калакорейш и др. В целом, в республике около трех тысяч зияратов, шестьдесят шесть из которых являются наиболее посещаемыми. Ко многим зияратам и святым местам, расположенным в различных районах и селах Дагестана, приходят жители местного аула или окрестных сел.

На наш взгляд, следует также более тщательно разработать и широко рекламировать туристские маршруты, связанные с посещением древнейших христианских святынь – храма Святого Григориса в селении Нюгди Дербентского района и Храма Датун в Шамильском районе республики.

Благодаря наличию в республике большого разнообразия культовых памятников, религиозных объектов и памятников истории, уникальных культурно-исторических комплексов, у Дагестана имеются практически все условия для развития религиозного туризма, как экскурсионно-познавательной и религиозно-направленной, так и религиозного паломничества к святыням двух монотеистических религий – христианства и ислама.

Таким образом, развитие религиозного туризма в Дагестане способствовало бы увеличению туристиче-

ческого потока в республику Дагестан, сохранению историко-культурного и духовного наследия дагестанцев, воспитанию веротерпимости, толерантности, а также взаимопониманию представителей разных конфессий и культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абасова А.А. К вопросу о возрождении древних аулов Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 21–29. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-21-29>
2. Постановление Правительства РД от 16 июля 2019г. №163 об утверждении государственной программы Республики Дагестан «Развитие туристско-рекреационного комплекса и народных художественных промыслов в Республике Дагестан». URL: <https://www.e-dag.ru/2013-05-27-06-54-30/postanovleniya-pravitelstva-rd/postanovlenie-pravitelstva-rd-ot-16-iyulya-2019-g-163-ob-utverzhdenii-gosudarstvennoj-programmy-respubliki-dagestan-razvitie-turistsko-rekreatsionnogo-kompleksa-i-narodnykh-khudozhestvennykh-promyslov-v-respublike-dagestan.html> (дата обращения: 27.03.2022)
3. Турпоток в Дагестан за девять месяцев 2021 года на 34% превысил прошлогодние показатели. Общество – ТАСС. URL: https://tass.ru/obschestvo/12678329?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 12.03.2022)
4. Более миллиона туристов посетили Дагестан в 2021 году. URL: https://tass.ru/obschestvo/13450855?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 12.03.2022)
5. Более 1,5 млн туристов посетили Дагестан. Информационный портал РИА "Дагестан". URL: https://riadagestan.ru/news/the_government_of_the/bole_1_5 mln_turistov_posetili_dagestan/?ysclid=lav7lhk9o259357072 (дата обращения: 23.11.2022)
6. Национальный туристический рейтинг – 2021. Национальный рейтинг. // URL: <http://russia-rating.ru/info/20156.html> (дата обращения: 01.04.2022)
7. 52 участка дорог, ведущих к туристическим объектам, реконструируют в Дагестане. URL: <http://www.e-dag.ru/novosti/novosti-pravitelstva/52-uchastka-dorog-vedushchikh-k-turisticheskimi-obektam-rekonstruiuyut-v-dagestane.html> (дата обращения: 01.04.2022)
8. Байнова М.С., Рудзе О.В. Религиозный туризм: понятие и виды // Сборник трудов государственного, муниципального управления и социальной инженерии. Москва, 2016. С. 6–10.
9. Гусенова Д.А., Курбанова А.М. Основные контуры потенциала развития религиозного туризма в Дагестане // Исламоведение. 2012. N 3. С. 46–51.
10. Курбанов М.Р., Курбанов Г.М. Религия в культуре народов Дагестана. Махачкала: ИПЦ ДГУ. 1996. 110 с.
11. Джабраилов К. Цахурское медресе – старейшее учебное заведение университетского типа. МК Дагестан. URL: <https://mkala.mk.ru/articles/2015/08/04/cakhurskoe-medrese-stareyshee-uchebnoe-zavedenie-universitetskogo-tipa.html> (дата обращения: 01.04.2022)
12. Медресе аула Цахур – уникальный памятник мемориальной и духовной культуры горцев. URL: <https://rgvktv.ru/kultura/41731> (дата обращения: 01.04.2022)
13. Гранкина С.В., Кожеватова А.С. Современное состояние развития религиозного туризма // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2021. N 2-1. С. 148–152. <https://doi.org/10.46554/ScienceXXI-2021.10-2.1-pp.148>

14. Шихкеримова Г. Дом с историей. Армянский храм в Дагестане – место гибели христианского святого. URL: <http://etokavkaz.ru/istoriya/dom-s-istoriei-armyanskii-khram-v-dagestane-mesto-gibeli-khristianskogo-svyatogo> (дата обращения: 16.03.2022)

REFERENCES

1. Abasova A.A. On the question of the revival of the ancient mountain villages (auls) of Daghestan. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 21–29. (In Russian) <https://doi.org/DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-21-29>
2. *Postanovlenie Pravitel'stva RD ot 16 iyulya 2019g. №163 ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy Respubliki Dagestan «Razvitie turistsko-rekreatsionnogo kompleksa i narodnykh khudozhestvennykh promyslov v Respublike Dagestan»* [Decree of the Government of the Republic of Dagestan dated July 16, 2019 No. 163 on approval of the state program of the Republic of Dagestan "Development of the tourist and recreational complex and folk art crafts in the Republic of Dagestan"]. Available at: <https://www.e-dag.ru/2013-05-27-06-54-30/postanovleniya-pravitelstva-rd/postanovlenie-pravitelstva-rd-ot-16-iyulya-2019-g-163-ob-utverzhdenii-gosudarstvennoj-programmy-respubliki-dagestan-razvitie-turistsko-rekreatsionnogo-kompleksa-i-narodnykh-khudozhestvennykh-promyslov-v-respublike-dagestan.html> (accessed 27.03.2022)
3. *Turpotok v Dagestan za devyat' mesyatsev 2021 goda na 34% prevysil proshlogodnie pokazateli. Obshchestvo – TASS* [The flow of tourists to Dagestan in the first nine months of 2021 exceeded last year's figures by 34% – Society – TASS]. Available at: https://tass.ru/obschestvo/12678329?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (accessed 12.03.2022)
4. *Bolee miliona turistov posetili Dagestan v 2021 godu* [More than a million tourists visited Dagestan in 2021]. Available at: https://tass.ru/obschestvo/13450855?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (accessed 12.03.2022)
5. *Bolee 1,5 mln turistov posetili Dagestan. Informatsionnyi portal RIA "Dagestan"* [More than 1.5 million tourists visited Dagestan. Information portal of RIA "Dagestan"]. Available at: https://riadagestan.ru/news/the_government_of_the/bole_1_5 mln_turistov_posetili_dagestan/?ysclid=lav7lhk9o259357072 (accessed 23.11.2022)
6. *Natsional'nyi turisticheskii reiting – 2021. Natsional'nyi reiting* [National Tourism Rating – 2021. National rating]. Available at: <http://russia-rating.ru/info/20156.html> (accessed 01.04.2022)
7. *52 uchastka dorog, vedushchikh k turisticheskimi ob'ektam, rekonstruiuyut v Dagestane* [52 sections of roads leading to tourist sites are being reconstructed in Dagestan]. Available at: <http://www.e-dag.ru/novosti/novosti-pravitelstva/52-uchastka-dorog-vedushchikh-k-turisticheskimi-obektam-rekonstruiuyut-v-dagestane.html> (accessed 01.04.2022)
8. Baynova M.S., Rudze O.V. Religious tourism: concept and types. In: *Sbornik trudov gosudarstvennogo, munitsipal'nogo upravleniya i sotsial'noi inzhenerii* [Collection of works of state, municipal management and social engineering]. Moscow, 2016, pp. 6–10. (In Russian)
9. Gusenova D.A., Kurbanova A.M. The main contours of the potential for the development of religious tourism in Dagestan. *Islamovedenie* [Islamovedenie]. 2012, no. 3, pp. 46–51. (In Russian)
10. Kurbanov M.R., Kurbanov G.M. *Religiya v kul'ture narodov Dagestana* [Religion in the culture of the peoples of Dagestan]. Makhachkala, CPI DSU Publ., 1996, 110 p. (In Russian)
11. Dzhabrailov K. *Tsakhurskoe medrese – stareyshee uchebnoe zavedenie universitetskogo tipa. MK Dagestan* [Tsakhur Madrasah – the oldest educational institution of the university

type. MK Dagestan]. Available at:

<https://mkala.mk.ru/articles/2015/08/04/cakhurskoe-medrese-stareyshee-uchebnoe-zavedenie-universitetskogo-tipa.html> (accessed 01.04.2022)

12. *Medrese aula Tsakhur – unikal'nyi pamyatnik memorial'noi i dukhovnoi kul'tury gortsev* [The madrasah of the village of Tsakhur is a unique monument of the memorial and spiritual culture of the highlanders]. Available at:

<https://rgvktv.ru/kultura/41731> (accessed 01.04.2022)

13. Grankina S.V., Kozhevato A.S. The current state of development of religious tourism. *Science of the XXI century:*

actual directions of development, 2021, no. 2-1, pp. 148–152.

(In Russian) <https://doi.org/10.46554/ScienceXXI-2021.10-2.1-pp.148>

14. Shikhkerimova G. *Dom s istoriei. Armyanskii khram v Dagestane – mesto gibeli khristianskogo svyatogo* [House with history. The Armenian temple in Dagestan is the place of the death of a Christian saint]. Available at:

<https://etokavkaz.ru/istoriya/dom-s-istoriei-armyanskii-khram-v-dagestane-mesto-gibeli-khristianskogo-svyatogo> (accessed 16.03.2022)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Аният А. Абасова собрала материал и проанализировала. Автор написала рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Aniyat A. Abasova collected the material and analysed. The author wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

Аният А. Абасова / Aniyat A. Abasova <https://orcid.org/0009-0007-9843-071X>

Оригинальная статья / Original article
УДК 619.616.993.192:636.5
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-168-174

Экологически безопасный способ обеззараживания ооцист кокцидий во внешней среде

Умалат М. Сайпуллаев, Магомедзапир С. Сайпуллаев

Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ "ФАНЦ РД", Махачкала, Россия

Контактное лицо

Умалат С. Сайпуллаев, старший лаборант-исследователь, соискатель, Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт (Прикасп.ЗНИВИ) – филиал ФГБНУ «ФАНЦ РД»; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 88.
Тел. +79280549287
Email strong.alialiev@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0354-2932>

Формат цитирования

Сайпуллаев У.М., Сайпуллаев М.С. Экологически безопасный способ обеззараживания ооцист кокцидий во внешней среде // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 168-174.
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-168-174

Получена 20 сентября 2022 г.
Прошла рецензирование 12 декабря 2022 г.
Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. Испытание эффективности и экологичности нового способа биотермической обработки подстилочного помета птиц и дезинфицирующего средства «Пенокс-2» в отношении ооцист кокцидий птиц.

Материал и методы. Испытание биотермического обеззараживания подстилочного помета и дезинвазии помещений для содержания ремонтного молодняка кур – несушек, в количестве 6000 голов, проводили в КФХ «Мугутдинова» Буйнакского района РД.

Исследование на наличие ооцист кокцидий проводили по методу Вайда и Дарлинга согласно «Методы лабораторной диагностики кокцидиоза птиц». Качество дезинвазии растворов средства «Пенокс-2» контролировали путем исследований смывов и соскобов с опытных и контрольных поверхностей помещений согласно «Правил проведения дезинфекции и дезинвазии объектов государственного ветеринарного надзора». Изучение биотермических процессов в подстилочном помете проводили каждые 5 дней с измерением температуры в буртах, с взятием проб подстилки на наличие ооцист кокцидий.

Результаты. Проведенными исследованиями установлено, что наиболее экологически безопасный способ обеззараживания помещений от ооцист кокцидий биотермический способ там, где содержалось поголовье ремонтного молодняка кур – несушек. При этом температура в буртах высотой 1,5 и 2,0 м, шириной 2–2,5 м достигает на 20–25-ый день 65–75°C, что обеспечивает уничтожение ооцист кокцидий. Производственные испытания показали, что растворы нового средства «Пенокс-2» уничтожают ооцист кокцидий во внешней среде после орошения поверхностей помещения с содержанием 3,0% хлорамина Б при однократном нанесении из расчета 0,5 л/м², экспозиция – 3 часа.

Заключение. Проведенные испытания нового способа биотермической обработки подстилочного помета внутри помещения и дезинвазия растворами средства «Пенокс-2» показали высокую эффективность и экологическую безопасность для окружающей среды в уничтожении ооцист кокцидий во внешней среде.

Ключевые слова

Концентрация, экспозиция, расход дезраствора, ооцист кокцидий, биотермическая обработка, дезинвазия, орошение.

Environmentally friendly disinfection method of coccidia oocysts in the environment

Umalat M. Saipullaev and Magomedzahir S. Saipullaev

Caspian Zonal Research Veterinary Institute, Federal Agrarian Scientific Centre of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

Principal contact

Umalat S. Saipullaev, Senior laboratory assistant-researcher, doctoral researcher, Federal Agrarian Scientific Centre of the Republic of Dagestan; 88 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79280549287

Email strong.alialiev@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0354-2932>

How to cite this article

Saipullaev U.M., Saipullaev M.S. Environmentally friendly disinfection method of coccidia oocysts in the environment. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 168-174. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-168-174

Received 20 September 2022

Revised 12 December 2022

Accepted 6 February 2023

Abstract

Aim. To test the effectiveness and environmental friendliness of a new method of biothermal treatment of bird litter and disinfectant – Penox-2 – in relation to bird coccidia oocysts.

Material and Methods. A test of biothermal disinfection of bedding manure and disinfestation of premises for rearing young laying hens (6000 birds), was carried out in the Mugutdinova farm of the Buynaksky district of the Republic of Dagestan. The detection of coccidia oocysts was carried out according to the method of Void and Darling, Methods for the Laboratory Diagnosis of Avian Coccidiosis". The quality of the disinfestation using Penox-2 solutions was controlled by examining swabs and scrapings taken from the experimental and control surfaces of the premises in accordance with the Rules for Disinfection and Disinfestation of Objects of State Veterinary Supervision. The study of biothermal processes in the litter manure was carried out every 5 days with temperature measurement of piles, while taking samples of the litter for detecting the presence of coccidia oocysts.

Results. The studies conducted established that the most environmentally safe method of disinfecting premises is biothermal where the population of replacement laying hens is kept. The temperature in piles 1.5 and 2.0 m high and 2–2.5 m wide reached 65–75°C on the 20–25th day, which ensures the destruction of coccidia oocysts. Production tests have shown that solutions of the new Penox-2 agent destroy coccidia oocysts in the external environment after irrigation of room surfaces with a content of 3.0% chloramine B through a single application at the rate of 0.5 l/m² and 3 hours exposure.

Conclusion. Tests of a new method of biothermal treatment of litter manure and disinfestation with solutions of Penox-2 showed high efficiency and environmental safety in the destruction of coccidia oocysts.

Key Words

Concentration, exposure, disinfectant consumption, coccidia oocysts, biothermal treatment, disinfestation, irrigation.

ВВЕДЕНИЕ

В промышленном и индивидуальном птицеводстве наиболее опасным заболеванием, которое может нанести большой экономический ущерб, исчисляющийся падежом птиц (50–70%) и потерей живой массы является кокцидиоз, охватывающий все виды домашних, диких птиц, и человека. Для достижения более результативных показателей в борьбе с кокцидиозом птиц необходима разработка комплексных мер, направленных на уничтожение экзогенных стадий во внешней среде экологически безопасным способом.

В статье представлены результаты исследований по обеззараживанию ооцист кокцидий птиц новым способом – утилизации подстилочного помета и дезинвазии птицеводческих помещений – новым экологически безопасным, средством «Пенокс-2». Исследования проводили согласно «Методам лабораторной диагностики кокцидиоза (утв. Госветнадзором СССР 27.05.19 87)», «Правилам проведения дезинфекции и дезинвазии объектов государственного ветеринарного надзора» (М.2002), Инструкции «О мероприятиях по борьбе с кокцидиозом птиц», Утв. Главным управлением ветеринарии МСХ СССР от 16 мая 1969 г.) [1–3].

Исследованиями установлено, что наиболее оптимальным методом биотермического обеззараживания подстилочного помета от ооцист кокцидий является сбор внутри помещения (цеха) в бурты, высотой 1,5–2,0 м, шириной 2–2,5 м, длина произвольная. При этом бурты сверху и по бокам засыпали опилками, толщиной 10–15 см, сверху накрывали двумя слоями целлофановой пленки (герметично). Установлено, что средняя температура в буртах на 20–25 сутки достигала 65–75°C, при которой ооцисты кокцидий птиц полностью были обеззаражены. После биотермической обработки подстилочного помета проводили дезинвазию поверхностей помещения, где содержалось птице – поголовье, растворами нового дезинфекционного и побелочного средства «Пенокс-2». Испытания показали, что растворы нового средства «Пенокс-2» обеззараживают поверхности помещения, оборудования и инвентаря от ооцист кокцидий птиц за 3 часа экспозиции, при расходе 0,5 л/м² дезраствора.

В промышленном и индивидуальном птицеводстве в борьбе с кокцидиозом птиц для достижения положительных результатов должны строго соблюдаться ветеринарно-санитарные правила [4–6].

Утилизация птичьего подстилочного помета и дезинвазия объектов птицеводства превратились в трудноразрешимую проблему для многих хозяйств, фермеров, индивидуальных предпринимателей, поскольку требуют больших затрат материально-технических и денежных средств, а также наличия значительных площадей сельхозугодий [7].

Птичий помет является источником неприятных запахов, с выделением ядовитых газов (аммиака, сероводорода), в нем могут содержаться в значительном количестве семена сорных растений, яйца гельминтов, ооцист кокцидий, является благоприятной средой для развития патогенных микроорганизмов. При несвоевременной обработке он становится источником заражения окружающей среды (атмосферы, водоемов, почв, подземных и наземных вод и т.д.). Без переработки тем или иным способом свежий

подстилочный помет не рекомендуется использовать в качестве удобрения [8].

В настоящее время естественное биологическое обеззараживание навоза, помета животных и птиц осуществляется путем выдерживания в секционных навозохранилищах или прудах от нескольких месяцев до одного года.

Недостатком указанного биотермического обеззараживания является то, что не исключается возможность попадания самого продукта и жидких стоков в подземные воды и открытые водоемы, потери аммиака, который служит в качестве удобрения, распространения неприятных запахов на территории населенных пунктов, патогенных микроорганизмов, яиц гельминтов, ооцист кокцидий, семян сорняков, а также отсутствия у фермерских хозяйств и индивидуальных предпринимателей достаточных площадей для переработки и хранения помета [9; 10].

Сложность уничтожения возбудителей заболевания состоит в том, что ооцисты защищены от влияния внешних факторов двойной оболочкой в состав, который входят: 67% белка, 14% жира и 19% углеводов. В наружном слое оболочки ооцист содержатся липиды, во внутреннем, в основном гликопротеин, который является надежным защитником от высоких температур и барьером от проникновения в ооцист различных по составу химических веществ

Обычные химические дезинфицирующие средства, применяемые для обеззараживания бактериальной и вирусной инфекции – формалин, хлорная известь, кальциевые и натриевые щелочи, креолин, а также современные дезинфектанты не оказывают губительного действия на ооцист [11–13].

В настоящее время из литературных источников известно, что для дезинвазии объектов птицеводства методом орошения применяют 7%-ный раствор аммиака, 10%-ный горячий (70°C) раствор однохлористого йода, 2%-ную эмульсию технического ортохлорфенола, горячую воду и пар (не ниже 80°C).

Недостатком указанных дезинвазионных средств является то, что многие из них исчерпали свой потенциал (разработаны в 55–60 гг. прошлого века), являются токсичными, обладают канцерогенными и сильно раздражающими свойствами, а также высокой коррозией металлов.

Из отмеченных выше литературных источников очевидно, что разработка экологически безопасного обеззараживания подстилочного помета и средств для дезинвазии объектов ветеринарного надзора является актуальной задачей ветеринарной науки и практики.

Особый интерес представляет разработанный сотрудниками лаборатории ветеринарной санитарии, гигиены и экологии новый способ биотермической обработки подстилочного помета внутри помещения при напольном содержании птиц, с последующей дезинвазией помещения растворами нового дезинфицирующего средства «Пенокс-2», в состав которого входят: 20,0%-ный раствор гашеной извести с содержанием 3,0%-ного хлорида натрия, 0,5–3,0%-ного хлорамина Б и 5,0%-ного пенообразователя [13].

Цель работы: испытать эффективность и экологичность нового способа биотермической обработки подстилочного помета и средств, для обеззараживания ооцист кокцидий птиц во внешней среде.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Производственное испытание разработанного нами нового способа биотермической обработки подстилочного помета птиц внутри помещения с последующей дезинвazией новым средством «Пенокс-2» проводили в помещении для содержания и выращивания ремонтного молодняка кур-несушек, в количестве 6000 голов, КФХ ИП «Мугутдинова» Буйнакского района, Республики Дагестан.

Для исследования на наличие ооцист кокцидий пробы подстилочного помета отбирали в зависимости от размера помещения не меньше, чем из 10 разных мест.

Исследования на наличие ооцист кокцидий проводили методом Дарлинга и Фюллеборна. После перевода ремонтного молодняка кур-несушек в другое помещение подстилочный помет собирали в бурты 1,0; 1,5 и 2,0 м высотой, 2–2,5 м шириной, длина произвольная. Бурты со всех сторон накрывали опилками, толщиной 10–15 см и застилали целлофановой пленкой в 2 слоя (герметично). Изучение биотермических процессов и средней температуры внутри бурта проводили каждые 5 дней, с взятием проб подстилки (снизу, с середины, сверху) на наличие ооцист кокцидий.

По завершении биотермической обработки, подстилочный помет перевели в поле для исполь-

зования на удобрения, с последующим проведением дезинвazии помещения для обеззараживания ооцист кокцидий.

Дезинвazию проводили методом орошения гладких и шероховатых поверхностей растворами средства «Пенокс-2», из расчета 0,25–0,3 л/м² – для гладких и 0,5 л/м² – шероховатых поверхностей, при однократном орошении, экспозиции 3 и 6 часов. Все исследования проводили в 3-х кратной повторности.

Качество дезинвazии растворов средства «Пенокс-2» контролировали, путем исследования смывов и соскобов с опытных и контрольных поверхностей согласно "Правилам проведения дезинфекции и дезинвazии объектов государственного ветеринарного надзора (2002 г.). Об эффективности дезинвazии судили по наличию или отсутствию ооцист кокцидий.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения распространения и загрязнения ооцистами кокцидий объектов внешней среды пробы и соскобы брали через каждые 5 дней в количестве 15–25 гр в отдельные пакеты.

В таблице 1. приведены результаты исследований на наличие и количество ооцист кокцидий в 1 гр в пробах подстилочного помета.

Таблица 1. Результаты исследований на наличие и количество ооцист в 1 гр. подстилочного помета в помещении для содержания ремонтного молодняка кур-несушек в КФХ ИП «Мугутдинова»

Table 1. Results of studies of the presence and number of oocysts in 1 g. litter in premises for rearing young laying hens in the Mugutdinova Peasant Farm Enterprise

Возраст цыплят (дней) Chick age (days)	Обнаружение ооцист кокцидий Detection of coccidia oocysts	
	Обнаружено ооцист Oocysts detected	Количество ооцист в 1гр. подстилки (тыс.) Number of oocysts in 1g. bedding (thousand)
15	–	–
20	–	–
25	–	–
30	+	2,8±1,4
35	+	6,3±2,2
40	+	21,5±2,8
45	+	53,3±2,4
50	+	66,6±3,2
55	+	23,4±2,6
60	+	10,2±1,8

Примечание: (–) – ооцисты не обнаружены; (+) – ооцисты обнаружены

Note: (–) – oocysts not found; (+) – oocysts found

Из таблицы следует, что в помещении, где содержали ремонтный молодняк кур – несушек, ооцист кокцидий обнаружили на 30-ый день выращивания в количестве 2,8 тыс. в 1 гр. подстилки. Через 5 дней количество ооцист кокцидий выросло до 6,3 тыс., т.е. более чем в 2 раза, к 40-дневному возрасту количество ооцист кокцидий увеличилось почти в 7 раз. Падеж цыплят в самом начале болезни – 15–20 голов, к 30–40 дневному возрасту – 30–40.

Для прекращения падежа цыплят и снижения привесов на 50-ый день применяли кокцидиостатики, через 5 дней количество ооцист резко снизилось до 23,4 тыс. в 1 гр. и сократился падеж цыплят до 20–25 голов.

В таблице 2 приведены результаты опытов по биотермическому обеззараживанию подстилочного помета цыплят от ооцист кокцидий.

Из таблицы следует, что наиболее оптимальная высота буртов для активных биотермических процессов – 1,5–2,0 м. При такой высоте средняя температура на 20–25-ый дни достигла 65–75°C. В буртах высотой 1 м средняя температура на 20-ый день доходила до 54°C, только на 25-ый температура достигла 69°C, что обеспечило полное обеззараживание ооцист кокцидий.

Влажность подстилочного помета во всех буртах до опыта была 68%, после опыта снизилась до 45%. Опыты показали, что при влажности ниже 65% необходимо добавлять воду, в количестве 10–12 л на 1 м³.

Наши исследования показали, что повышение температуры в процессе биотермической обработки подстилочного помета проходит постепенно, с помощью термофильных микроорганизмов, заканчивается на 25-ый день, путем снижения температуры в буртах.

Таблица 2. Результаты опытов по изучению биотермических процессов при обеззараживании ооцист кокцидий
Table 2. Results of experiments on the study of biothermal processes during the disinfection of coccidia oocysts

Сравнение биотермических процессов (дни)										Сроки исслед. (дни)							
№ буртов / Number of collars		Высота буртов (см) Collar height (cm)	Влажность Humidity		Comparison of biothermal processes (days)						Количество исследованных проб Number of samples examined	Research periods (days)					
					5	10	15	20	25	30		5	10	15	20	25	30
				Температуры Temperatures													
1	100	68	45	22±2,3	2,8±2,1	3,6±2,7	54,6±2,6	69,2±2,5	50±1,7	18	+	+	+	+	-	-	
2	150	68	45	29±2,6	35±2,7	46±2,5	65±2,1	72±2,0	56±2,1	18	+	+	+	-	-	-	
3	200	68	45	32±2,3	42±2,5	58±2,0	70±2,0	75±2,2	60±2,4	18	+	+	+	-	-	-	

Примечание: (+) – ооцисты не обнаружены; (-) – ооцисты обеззаражены

Note: (+) – oocysts not found; (-) – oocysts disinfected

После обеззараживания подстилочного помета от ооцист кокцидий была испытана дезинвазионная эффективность растворов средства «Пенокс-2», для уничтожения ооцист кокцидий на поверхности помещения и оборудования.

В таблице 3 приведены результаты производственного испытания растворов средства «Пенокс-2» в отношении ооцист кокцидий в зависимости от концентрации хлорамина Б.

Результаты опытов по производственному испытанию показали (табл. 3), что ооцисты кокцидий

очень устойчивы к растворам средства «Пенокс-2». Орошение гладких и шероховатых поверхностей с содержанием 0,5...1,0%-ного хлорамина Б, из расчета 0,5 л/м², не привело к обеззараживанию ооцист за 3 и 6 часов экспозиции.

Обеззараживание гладких поверхностей (оборудование, кормушки, поилки) наступало после орошения раствором средства «Пенокс-2» с содержанием 2,0%-ного хлорамина Б, при норме расхода 0,5 л/м², экспозиция – 3 часа.

Таблица 3. Результаты опытов по производственному испытанию растворов средства «Пенокс-2» в помещении для содержания ремонтного молодняка кур-несушек в отношении ооцист кокцидий

Table 3. Results of experiments on the testing of solutions of Penox-2 agent in premises for young laying hens in relation to coccidia oocysts

Экспозиция (час) Exposure (hour)	Концентрация хлорамина Б % Chloramine B concentration %	Расход дез.раствора, л/м ² Consumption of disinfectant solution, l/m ²	Поверхности помещения / Room surfaces				
			Пол Floor	Стены Walls	Оборудова ние Equipment	Кормушки Feeders	Поилки Drinkers
3	0,5	0,25–0,3	+	+	+	+	+
		0,5	+	+	+	+	+
	1,0	0,25–0,3	+	+	+	+	+
		0,5	+	+	+	+	+
	2,0	0,25–0,3	+	+	+	+	+
		0,5	+	+	-	-	-
	3,0	0,25–0,3	+	+	-	-	-
		0,5	-	-	-	-	-

6	0,5	0,25–0,3	+	+	+	+	+
		0,5	+	+	+	+	+
	1,0	0,25–0,3	+	+	+	+	+
		0,5	+	+	+	+	+
	2,0	0,25–0,3	+	+	–	–	–
		0,5	+	+	x	x	x
	3,0	0,25–0,3	+	+	x	x	x
		0,5	–	–	–	x	x
Контроль	Вода	0,25–0,3	+	+	+	+	+
Control	Water	0,5	+	+	+	+	+

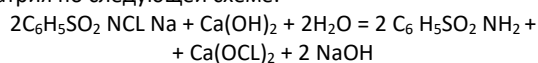
Примечание: (+) – ооцисты не обеззаражены; (–) – ооцисты обеззаражены; (x) – исследование не проведено

Note: (+) – oocysts not disinfected; (–) – oocysts disinfected; (x) – study not conducted

Обеззараживание шероховатых поверхностей происходило после добавления 3,0%-ного хлорамина Б, через 3 часа экспозиции, из расчета 0,5 л/м², 0,25–0,3 л/м² – для гладких поверхностей. При экспозиции 6 часов обеззараживание ооцист кокцидий на гладких поверхностях наступало с добавлением 2,0%-ного хлорамина Б, из расчета 0,25–0,3 л/м².

Таким образом, обеззараживание всех поверхностей помещения (гладких и шероховатых) происходило после орошений раствором средства «Пенекс-2», за 3 часа экспозиции, при норме расхода 0,5л/м².

Следует отметить, что при добавлении в раствор 20,0%-ной гашеной извести с содержанием 3,0%-ного хлорида натрия, 5%-ного пенообразователя 0,5...3,0%-ного хлорамина Б (натриевая соль хлорамина бензолсульфокислоты) происходит реакция с образованием гипохлорита кальция, бензолсульфамида и гидроксида натрия по следующей схеме:



В результате образуется дезинвазионная смесь, состоящая из избытка гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, гипохлорита кальция $\text{Ca}(\text{OCL})_2$, бензолсульфамида ($\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{NH}_2$) и гидроксида натрия (NaOH).

Дезинвазионная активность полученного средства, в основном, обусловлена гипохлоритом кальция и гидроксидом кальция, которая усиливается с присутствием бензолсульфамида (производное аммиака) и гидроксида натрия (едкая щелочь).

Гипохлорит кальция действует как окислитель, выделяя атомарный кислород как средство, хлорирующее amino- и аминокислоты белка. Имеющийся в растворе пенообразователь, как поверхностно-активное вещество (ПАВ) выступает как синергист, смывая с поверхности ооцист жировое вещество (липиды), увеличивая поступление дезсредства внутрь ооцист, а также служит ингибитором коррозии металлов.

ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных производственных испытаний установлено, что уничтожение ооцист кокцидий во внешней среде включает строгое выполнение всех ветеринарно-санитарных и зоогигиенических правил.
2. Наиболее экологически безопасный способ обеззараживания ооцист кокцидий – биотермический метод – можно применять внутри помещения, где содержалось поголовье птиц. При этом на 20–25-ый дни температура в герметично закрытых буртах высотой 1,5–2,0 м, шириной – 2–2,5 м достигает 65–75°C, что способствует полному уничтожению ооцист кокцидий.

3. Растворы средства «Пенекс-2» полностью отвечают требованиям к дезинвазии и обеззараживанию всех поверхностей птицеводческих помещений от ооцист кокцидий за 3–6 часов экспозиции, при норме расхода – 0,5л/м².

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методы лабораторной диагностики кокцидиоза птиц. Утв. ГВУ МС СССР. 1987.
2. Правила проведения дезинфекции и дезинвазии объектов государственного ветеринарного надзора. М., 2002. 74 с.
3. Инструкция "О мероприятиях по борьбе с кокцидиозом птиц". Утв. Главным управлением ветеринарии МСХ СССР от 16. 09. 1969. 6 с.
4. Краснобаев Ю.В., Хуряков А.А. Победим кокцидиоз вместе // Ветеринария. 2011. N 11. С. 14–16.
5. Сафиуллин Р.Т., Яблонский С.А. Олейников В.П. Эффективность Делеголя против ооцист кокцидий птиц // Ветеринария. 2016. N 9. С. 35–37.
6. Дагаева А.Б., Алиев А.А., Бакриева Р.М., Гаджимурадова З.Т. Меры борьбы с эймериозом птиц в Дагестане // Ветеринария и кормление. 2017. N 5. С. 47–49.
7. Сайпуллаев М.С., Койчурев А.У., Каспарова М.А., Батырова А.М., Гаджимурадова З.Т. Сравнительная дезинфекционная активность растворов препарата "Пенекс-1" и "Пенекс-2" // Агронаука. 2022. N 1. С. 11–14.
8. Лысенко В. Птичий помет – критерии санитарно-ветеринарной оценки // Птицеводство. 2012. N 2. С. 46–50.
9. Decissem M. Coccidiosis control in poultry importance of the quality of anticoccidial premixes. M. De Cussem // Proceedings of the ix international Coccidiosis Conference Foz do Iduassu. September. 2015. P. 19–23.
10. Marien M. Differences between generic and brand specific aporover (BSA) anticoccidials M. Marien. D. Vaucraevnest P. Van Der Meren? MDL Ciussevn // 16-th European Symposium of Poliry Nutricoon. 2018. P. 291–292.
11. Краснобаев Ю. Новый препарат против кокцидиоза птиц // Птицеводство. 2010. N 5. С. 41–44.
12. Киселев А., Краснобаев Ю., Новиков Н. Гербаккок против кокцидиоза кур // Птицеводство. 2010. N 10. С. 30–34.
13. Таширбулатов А.А. Как избавиться от кокцидиоза и красного куриного клеща в помещениях // Птицеводство. 2014. N 2. С. 11–14.

REFERENCES

1. Metody laboratornoi diagnostiki koktsidioza ptits [Methods for laboratory diagnosis of avian coccidiosis]. 1987. (In Russian)
2. Pravila provedeniya dezinfeksii i dezinvaizii ob'ektov gosudarstvennogo veterinarnogo nadzora [Rules for

- disinfection and disinfestation of objects of state veterinary supervision]. Moscow, 2002, 74 p. (In Russian)
3. *Instruktsiya "O meropriyatiyakh po bor'be s koktsidiozom ptits"* [Instruction "On measures to combat coccidiosis of birds"]. 1969, 6 p. (In Russian)
4. Krasnobaev Yu.V., Huryakov A.A. Let's defeat coccidiosis together. *Veterinariya* [Veterinary]. 2011, no. 11, pp. 14–16. (In Russian)
5. Safiullin R.T., Yablonsky S.A., Oleinikov V.P. Efficiency of Delekol against oocysts of coccidia of birds. *Veterinariya* [Veterinary]. 2016, no. 9, pp. 35–37. (In Russian)
6. Dagaeva A.B., Aliev A.A., Bakrieva R.M., Gadzhimuradova Z.T. Measures to combat avian eimeriosis in Dagestan. *Veterinariya i kormlenie* [Veterinary and feeding]. 2017, no. 5, pp. 47–49. (In Russian)
7. Saipullaev M.S., Koychuev A.U., Kasparova M.A., Batyrova A.M., Gadzhimuradova Z.T. Comparative disinfection activity of solutions of the preparation "Penoks-1" and "Penoks-2". *Agronauka* [Agricultural science]. 2022, no. 1, pp. 11–14. (In Russian)
8. Lysenko V. Poultry droppings – criteria for sanitary and veterinary assessment. *Ptitsevodstvo* [Poultry farming]. 2012, no. 2, pp. 46–50. (In Russian)
9. Decissem M. Coccidiosis control in poultry importance of the duality of anticoccidial premixes. M. De Ciussem. Proceedings of the ix international Coccidiosis Conference Foz do Iduassu, September, 2015, pp. 19–23.
10. Marien M. Differences between generic and brand specific aporover (BSA) anticoccidials M. Marien. D. Vaucraevvnest P. Van Der Meren? MDL Ciussevn. 16th European Symposium of Poliry Nutricoon, 2018, pp. 291–292.
11. Krasnobaev Yu. A new drug against coccidiosis of birds. *Ptitsevodstvo* [Poultry farming]. 2010, no. 5, pp. 41–44. (In Russian)
12. Kiselev A., Krasnobaev Yu., Novikov N. Herbacox against chicken coccidiosis. *Ptitsevodstvo* [Poultry farming]. 2010, no. 10, pp. 30–34. (In Russian)
13. Tashirbulatov A.A. How to get rid of coccidiosis and red chicken tick indoors. *Ptitsevodstvo* [Poultry farming]. 2014, no. 2, pp. 11–14. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Умалат М. Сайпуллаев собрал материал, провел исследование. Магомедзапир С. Сайпуллаев проанализировал данные исследований, написал 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

Umalat M. Saipullaev collected material and conducted research. Magomedzapir S. Saipullaev analysed the research 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

Умалат М. Сайпуллаев / Umalat M. Saipullaev <https://orcid.org/0000-0003-0354-2932>
 Магомедзапир С. Сайпуллаев / Magomedzapir S. Saipullaev <https://orcid.org/000-0003-0664-6585>

Обзорная статья / Review article

УДК 343: 349.6

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-175-182

Роль региональной экологической криминологии в эпоху цифровых технологий

Дуря З. Зиядова^{1,2}, Майя Г. Диева², Артур Э. Гусейнов¹, Надира О. Гусейнова¹¹ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Махачкала, Россия²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

Контактное лицо

Дуря З. Зиядова, доктор юридических наук, профессор, профессор кафедры «Гражданский процесс» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», заведующая Лабораторией уголовно-правовых и криминологических исследований ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»; 367000 Россия, Махачкала, ул. Коркмасова, 8. Тел. +79894669085

Email Zijadova@yandex.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-7088-4997>

Формат цитирования

Зиядова Д.З., Диева М.Г., Гусейнов А.Э., Гусейнова Н.О. Роль региональной экологической криминологии в эпоху цифровых технологий // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 175-182. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-175-182

Получена 29 марта 2023 г.

Прошла рецензирование 24 апреля 2023 г.

Принята 27 апреля 2023 г.

Резюме

Цель: обозначить усиление значимости экологической криминологии при решении задач экологической безопасности в эпоху цифровых технологий.

Обсуждение. В эпоху цифровых технологий важно формировать экологическое сознание и культуру в системе противодействия экологической преступности. Для достижения данной цели следует пропагандировать основы экологической безопасности, привлекая новые технологии из цифрового мира. Контент-анализ электронных средств массовой коммуникации показал, что в некоторых регионах Российской Федерации появляются экологические краудсорсинговые проекты, сетевые сообщества, виртуальные гражданские площадки как антипод офлайн- (традиционного) гражданского участия. Респондентам Северного Кавказа необходимо учесть положительный опыт ключевых субъектов России, например, Москвы, по созданию цифровых баз данных по экологическому надзору. Преступления в сфере экологии следует выделить в самостоятельный раздел Особенной части УК РФ, как приоритетного направления уголовно-правовой политики. Авторы предлагают совершенствовать систему исполнения наказаний за совершение преступлений в сфере охраны природной среды путем создания специализированных исправительных центров по исполнению наказания в отношении лиц, совершивших экологические преступления с целью их ресоциализации.

Заключение. Усилению государственного контроля за использованием цифровой среды в регионах Российской Федерации будет способствовать формирование экологической юстиции в рамках совершенствования общей системы противодействия преступности в сфере охраны окружающей среды. Эффективность государственного контроля и системы противодействия высокотехнологичной преступности в сфере охраны окружающей среды зависит и от качества исследований в области защиты природного мира, в связи с чем повышается значимость экологической криминологии в эпоху цифровых технологий.

Ключевые слова

Экологическая криминология, цифровая экология, цифровизация экологии, региональная экология, экологическая безопасность, экологические преступления.

The role of regional environmental criminology in the digital age

Dureya Z. Ziyadova^{1,2}, Maya G. Dieva², Artur E. Guseynov¹ and Nadira O. Guseynova¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Principal contact

Dureya Z. Ziyadova, Doctor of Legal Sciences, Professor of the Chair of Civil Procedure, Tambov State Technical University, & Head of the Laboratory of Criminal Law and Criminological Research, Dagestan State University; 8 Korkmasova St, Makhachkala, Russia 367000

Tel. +79894669085

Email Ziyadova@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7088-4997>

How to cite this article

Ziyadova D.Z., Dieva M.G., Guseynov A.E., Guseynova N.O. The role of regional environmental criminology in the digital age. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 2, pp. 175-182. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-175-182

Received 29 March 2023

Revised 24 April 2023

Accepted 27 April 2023

Abstract

Aim: To highlight the increasing importance of environmental criminology in addressing environmental safety challenges in the digital age.

Discussion. In the digital age, it is important to shape environmental consciousness and culture through the system of countering environmental crime. To achieve this goal, the foundations of environmental safety should be promoted by attracting new technologies from the digital world. Content analysis of electronic mass media showed that in some regions of the Russian Federation there are environmental crowdsourcing projects, network communities and virtual civil platforms as a corollary of offline (traditional) civil participation. The republics of the North Caucasus need to take into account the positive experience of key regions of Russia, for example, Moscow, in creating digital databases for environmental supervision. Crimes in the field of ecology should be singled out in an independent section of the Special Part of the Criminal Code of the Russian Federation as a priority area of criminal law policy. The authors propose the improvement of the system of execution of punishments for committing crimes in the field of environmental protection by creating specialised correctional centres for the implementation of punishment against persons who have committed environmental crimes directed at their resocialization.

Conclusion. Strengthening state control over the use of the digital space in the regions of the Russian Federation will be facilitated by the formation of environmental justice as an element of improving the general system of combating crime. The effectiveness of such an environmental protection countermeasure system also depends on the quality of research in the field of protecting the natural world, which increases the importance of environmental criminology in the digital age.

Key Words

Environmental criminology, digital ecology, digitalization of ecology, regional ecology, environmental safety, environmental crimes.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современного общества стала цифровизация, которая вносит изменения разного рода во все сферы жизни человека. В последнее десятилетие происходит активное разворачивание процесса цифровизации экологии. «Экология и цифровизация тесно связанные понятия, так как экосистема в любой сфере есть саморегулирующаяся, самодостаточная система. Распространение этого понятия на все сферы устойчивого развития: экономику, экологию и социальную сферу, создаёт возможности комплексного применения компьютерных интерфейсов (API-технологии), получившие распространения у нас в стране как цифровизация» [1].

В последние годы информационные системы вошли в сферу охраны окружающей среды. Термином «цифровая экология» (Digital ecology) достаточно активно пользуются сейчас многие исследователи в различных областях знаний и сферах практики. «Развитие цифровых технологий привело к появлению зонтичного понятия “цифровая экосистема”, под которой понимают цифровые артефакты и инфраструктуру передачи данных, их хранения и обработки, пользователей систем, включая социальные, экономические, политические, психологические и иные факторы, влияющие на осуществление взаимодействий» [1].

В то же время влияние цифровизации на окружающую среду носит двунаправленный характер. С одной стороны, если развитие цифровых технологий открывает огромный спектр возможностей по сохранению и размножению флоры и фауны, то с другой стороны она влияет на здоровье человека и окружающую среду. По мнению исследователей, «цифровой сектор порождает несколько различных типов загрязнения: загрязнение от производства IT оборудования; загрязнение от электронных отходов, то есть использованного электрического и электронного оборудования; загрязнение от ежедневного цифрового использования» [2].

Помимо негативного влияния цифровизации на окружающую среду, фактором, вызывающим тревогу, является рост экологической преступности в эпоху цифровых технологий. Существующее разнообразие деяний в сфере экологии, совершаемых с помощью высоких технологий, не позволяет проводить исчерпывающий обзор их состояния и современных тенденций преступности данной категории. Преступниками активно применяются возможности цифровых технологий для преступного обогащения, нанеся непоправимый урон окружающей среде. В цифровом мире открываются новые возможности в криминальной деятельности, совершенствуются приемы и методы совершения экологических преступлений. Разнообразие экологических преступлений связана с наличием организованной преступности в сфере экологии.

В эпоху цифровых технологий получила развитие высокотехнологичная (цифровая) транснациональная организованная преступность, которая способна нанести невосполнимый урон окружающей среде. Как правильно отмечают исследователи, «контрабанда животных и растений, находящихся на грани исчезновения, уступает по масштабу только

обороту наркотиков» [3; 4]. Таким образом, цифровой мир способствует экологическим кризисам, которые представляют реальную угрозу для жизни человека. О такой угрозе пишут ученые, проводившие целевые исследования. По утверждению большинства исследователей, господство цифровых технологий приведет экологическим катастрофам.

Несмотря на негативные стороны развития и использования возможностей цифровых технологий, они позволяют рационально использовать ресурсы и улучшать состояние планеты. В этой связи 28 июля 2017 г. Правительством Российской Федерации утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации (2017–2030 годы)», основной целью которой является совершенствование системы поддержки поисковых, прикладных исследований не только в области цифровой экономики, но и в сфере цифровой экологии [5].

В то же время «важным является и цифровизация самой экологии как деятельности по охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности» [1]. Поэтому одной из важнейших задач экологической криминологии в цифровом мире является комплексный анализ современных тенденций цифровой преступности в сфере экологии, обобщение методов минимизации их негативного влияния на окружающую среду, а также определение направлений использования возможностей цифровых потоков в системе охраны природного мира.

Целью исследования является обозначение усиления значимости экологической криминологии в эпоху цифровых технологий при решении задач экологической безопасности.

МЕТОДЫ

В исследовании использованы сравнительно-правовой анализ; контекст-анализ документов, содержащих информацию о цифровой экологической преступности; опросы в форме анкетирования и интервью, целью которых является исследование факторов, детерминирующих экологическую преступность в эпоху цифровых технологий; уголовно-статистическое наблюдение, направленное на установление криминологической картины экологической преступности; экспертная оценка при выявлении латентности экологических преступлений, а также определении мер их профилактики и роли экологической криминологии в решении задач экологической безопасности в эпоху цифровых технологий.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высокотехнологичная (цифровая) транснациональная организованная преступность в эпоху высоких технологий способствуют стремительной трансформации природной среды, а также повышению радиоактивного фона, возникновению угрозы национальной и экологической безопасности. Эта угроза связана, по мнению исследователей, с экологической агрессией, которая особо актуальна в последнее время. Поэтому региональные исследования показывают, что во многих субъектах Российской Федерации проблемы охраны природы становятся особо актуальными. Республика Дагестан не является исключением.

К примеру, загрязнение воздуха в городах данного субъекта РФ становится началом экологической

катастрофы. В городе Махачкала все заправочные станции построены с нарушением всех санитарно-эпидемиологических правил. Воздух в городах республики загрязняют пожары на мусорных свалках. На территории республики ведутся несанкционированные разработки камня, гравия и песка и т.д. Жителям населенных пунктов, особенно урбанизированных территорий, «приходится “стойко переносить” не только те “жизненные невзгоды”, которые приготовила природа, но и созданные самим человечеством. Это антропогенные воздействия на климат, загрязнение окружающей среды отходами жизнедеятельности человечества и негативное воздействие деятельности человечества на качество окружающей среды и здоровье населения» [1]. При этом нарушаются все нормы, в том числе и права человека, определенные Конституцией Российской Федерации, в статье 42 которой отмечено, что «каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением» [6]. Такое же правило закреплено и в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» [7].

Неблагоприятные с экологической точки зрения ситуации складываются в некоторых регионах Российской Федерации, несмотря на то, что безопасность окружающей среды является приоритетом направлением государственной безопасности. К примеру, загрязнение воды стало глобальной проблемой в городах Республики Дагестан. Как отмечают специалисты, в городе Каспийск питьевая вода не пригодна для потребления, пагубно влияет на здоровье населения. По мнению экспертов, морская вода на побережье городов республики загрязнена многочисленными канализационными отходами.

Несмотря на ощутимый урон природе, официальная статистика показывает низкую выявляемость экологических преступлений. «С учетом существующих оценок латентности экологической преступности в России как аномально высокой (97–99%), можно утверждать, что количество ежегодно регистрируемых преступлений отражает не столько истинную частоту встречаемости преступления, имеющего признаки той или иной статьи гл. 26 УК РФ, сколько наличие действенных механизмов, отлаженных методик и технологий выявления и расследования этих видов преступлений» [8].

Латентность цифровой транснациональной организованной экологической преступности «обусловлена огромным количеством нормативных правовых актов природоохранного законодательства; сложностью разграничения некоторых уголовно-наказуемых и административных правонарушений в экологической сфере» [9]. Как показывают исследования в разных регионах Российской Федерации, ни представители государственной власти, ни общественность не понимает катастрофичность, невосполнимость урона окружающей среде техногенных последствий.

В условиях цифровизации экологические проблемы отодвинуты на дальний план из-за политических и экономических преобразований – политические и экономические интересы преобладают над экологическими. Поэтому, как правильно отмечают ученые, «дефектом в криминализации экологических

преступлений является недооценка законодателем степени общественной опасности этих деяний» [9].

Развитию высокотехнологичной и транснациональной экологической преступности способствуют пробелы в уголовной политике. «Нормы, предусматривающие ответственность за преступления в сфере экологической безопасности, страдают несовершенством диспозиций, избытком неточными и неоднозначными формулировками, смысл которых непонятен как многим теоретикам, так и практикам» [9], в связи, с чем необходим критический анализ уголовного законодательства в сфере охраны окружающей среды.

Современное законодательство провоцирует совершение экологических правонарушений. «Несовершенство законодательства, противоречивые оценки признаков составов экологических преступлений, отсутствие единых теоретических подходов к проблемам разграничения преступлений, а также уголовно-правовых и иных мер ответственности обуславливают снижение эффективности противодействия экологической преступности» [9]. К примеру, постановлением Правительства РФ от 10 марта 2022 г. № 336 «Об особенностях организации и осуществления государственного контроля (надзора), муниципального контроля», по мнению теоретиков и практиков, ограничиваются полномочия контролирующих органов [10]. В соответствии с данным нормативным актом, «внеплановые контрольные (надзорные) мероприятия, внеплановые проверки проводятся при условии согласования с органами прокуратуры исключительно по таким основаниям, как, например, непосредственная угроза причинения вреда жизни и тяжкого вреда здоровью граждан, по фактам причинения вреда жизни и тяжкого вреда здоровью граждан» [10]. Поэтому природоохранные органы не вправе проводить внеплановые проверки, если не наступили последствия, перечисленные в данном постановлении. Возникает необходимость устранения такого пробела в законодательстве. Наоборот, все органы государственной власти, организации, общественные объединения и общественность должны взаимодействовать в рамках охраны окружающей среды от негативного воздействия цифрового мира.

Как показывают целевые исследования, гражданским обществом недооценивается высокая степень общественной опасности экологических преступлений. Опросы среди представителей различных категорий общества, проведенные профессором С.Ф. Милоковым в рамках целевого исследования, показывают, что «многие люди равнодушно относятся к загрязнению воздуха, почвы, вод, угнетению и даже исчезновению многих представителей животного и растительного мира» [11]. По мнению ученого, «такое отношение связано с недооценкой губительного воздействия человека на окружающую среду» [11].

Такая тенденция отмечена и в республиках Северного Кавказа. По данным опроса, проведенного в рамках исследования с целью определения уровня обеспокоенности населения охраной окружающей среды, 67% респондентов не задумываются о влиянии цифровых потоков на состояние природной среды. На такой позиции находятся в том числе и жители горных районов Республики Дагестан, где влияние традиций и

обычаев еще велико. Этические нормы народов республики издавна запрещали вредить природе.

Следует отметить, что недооценка общественной опасности цифровой экологической преступности прослеживается и в пенализации. Целевые исследования показывают, что основным видом наказания, предусмотренного за совершение преступлений в сфере экологии, остается штраф. Следует согласиться с мнением Н.И. Кузнецовой: «выходом из данной ситуации может служить создание нового механизма полного возмещения экологического вреда. Например, применение штрафа по соглашению, при котором суд имеет право назначить виновному лицу выполнение ряда обязанностей, включающих как частичное либо полное возмещение вреда, причиненного преступлением, так и назначение обязательств по заглаживанию вреда любым другим законным способом» [9].

По мнению ученых, превентивное значение имеет включение в систему наказаний таких видов, как ссылка и высылка. Особенно эти виды наказаний эффективны в системе противодействия цифровой экологической преступности. «Ссылка и высылка будут иметь колоссальный предупредительный эффект, поскольку браконьеры в случае их удаления из мест, богатых природными ресурсами (рыба, птица, животные, лес, редкие растения и т.п.), утратят возможность совершения указанных преступлений» [9].

Принудительные работы, отбываемые в исправительных центрах, также являются хорошим подспорьем лишению свободы. Как правильно отмечает Н.И. Кузнецова, «создание специальных исправительных центров именно для экологических преступников видится весьма актуальным. Дело в том, что эти лица обладают рядом особенностей, позволяющих их обособить от других видов преступников» [9]. Осужденным можно поручить высадку и уход за лесными насаждениями, то есть проведение природовосстановительных мероприятий. Следует согласиться с мнением исследователей о возвращении конфискации имущества в систему наказаний и широком применении в рамках противодействия цифровой экологической преступности.

Соглашаясь с мнением практиков и теоретиков [9], считаем целесообразным восстановить административное наказание в виде 15 суток общественно-полезных работ. Такое наказание в виде уборки различных территорий, посадки зеленых насаждений, ухода за ними можно назначать лицам, совершившим правонарушение в сфере экологии.

С целью сохранения нашей планеты в цифровом мире особо актуальна система противодействия экологической преступности. В первую очередь, важно формировать экологическое сознание, экологическую культуру. С этой целью теории и практики предлагают организовывать в детских садах, школах и вузах экологические акции с целью развития у подрастающего поколения экологической грамотности. Для достижения данных задач следует пропагандировать, начиная с первого класса, экологическую безопасность, в том числе походами учащихся в ближайший парк для уборки территорий. «Новые технологии также стали инновационным источником саморазвития граждан, освоения навыков экологического мониторинга и саморефлексии в отношении

полученной информации, повышения экологического знания и осведомленности» [12].

Контент-анализ средств массовой коммуникации показал, что в некоторых регионах Российской Федерации получают развитие экологические краудсорсинговые проекты, сетевые сообщества, виртуальные гражданские площадки как антипод офлайн- (традиционного) гражданского участия. Цифровой мир «предлагают населению принципиально новые возможности для выражения гражданской позиции и осуществления коллективной мобилизации, создавая децентрализованные, сетевые структуры без видимой организационной иерархии» [12].

Во многих странах новые технологии также стали определенным источником саморазвития граждан, «освоения навыков экологического мониторинга и саморефлексии в отношении полученной информации, повышения экологического знания и осведомленности, а сетевые связи цифровых активистов – источниками различных ресурсов в офлайне, способствуя коллективным гражданским действиям, таким, например, как краудсорсинг. Так, активисты используют переносные сенсоры для измерения качества воздуха в городе в реальном времени, выгружают данные об этом в Сеть и визуализируют в гугл-картах» [12]. Правда, в использовании новых технологий и изучение экологических проблем в онлайн формате имеют и негативные последствия. Как правильно отмечают исследователи, цифровизация системы изучения экологических проблем способствует отчуждению населения от реального воздействия на улучшение окружающей среды, ограничиваясь только виртуальными способами. В отличие от реального решения экологических проблем, при котором требуется определенного времени, сил (экологический активизм), такое явление социологической науке называется слактивизмом, то есть ленивым экологическим активизмом. Поддерживаем мнение некоторых ученых, такое поведение людей, особенно молодежного возраста, воспитывает кликтивизм. С точки зрения социологов, которые проводят целевые исследования, «кликтивизм» является «одной из самых низших форм вовлечения граждан в онлайн-активность, потому что он не привлекает их к реальной ответственности и отчасти обезличен, и в некоторых случаях даже считается спорной формой онлайн-активизма, хотя зачастую слактивизм как проявление маленьких дел многих людей приводит к большим результатам – широкому резонансу о проблеме или реальной мобилизации. Активисты, в том числе и экологических движений, призывают пользователей сети делать перепосты для масштабирования поднимаемых ими проблем и ставить лайки под постами в надежде получить видимый индикатор одобрения» [12].

Таким образом, в системе охраны окружающей среды широко используются возможности цифровых технологий. Процесс цифровизации экологии определяется Распоряжением Правительства РФ от 8 декабря 2021 г. № 3496-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования» [13], в рамках которого используются такие основные цифровые технологии, как: а) искусственный интеллект для идентификации представителей флоры и фауны; б) дистанционное зондирование Земли и беспилотные летательные аппараты, то есть

обследование, охрана окружающей среды и природных ресурсов; в) цифровой двойник, то есть создание базы данных нового поколения природных экосистем. Как правильно отмечают теоретики и практики, применение цифровых технологий в системе охраны окружающей среды позволяет в несколько раз увеличить скорость принятия решений, имеющих превентивное значение. Искусственный интеллект, интернет вещей, блокчейн, видеоаналитика и иные цифровые технологии успешно используются и в природоохранных целях. Например, инновационные решения позволяют моделировать изменения климата, контролировать загрязнение окружающей среды, поддерживать экосистемы в здоровом состоянии. Цифровые технологии способствуют торможению глобального потепления и других негативных для планеты процессов; получению информации о состоянии атмосферы и уровне загрязнения воздуха, воды, почвы, сохранению популяции редких видов флоры и фауны; предотвращению распространения лесных пожаров.

В республиках Северного Кавказа, особенно в Республике Дагестан, использование цифровых технологий в системе охраны окружающей среды будет влиять на снижение экологических правонарушений. Положительный опыт имеют ключевые субъекты Российской Федерации. Цифровая трансформация произошла в области экологического нормирования: есть общедоступные по стране ресурсы с информацией обо всех хозяйствующих субъектах. В г. Москва созданы базы данных по экологическому надзору, которые аккумулируют в себе данные по состоянию окружающей среды. «В то же время необходимо автоматизировать сбор данных по выбросам, сбросам и отходам непосредственно на источниках их образования, цифровизировать их централизованное хранение и оперативное использование для целей реализации экологической политики» [1].

С целью пресечения исчезновению видов наземных животных, рыб, микроорганизмов и растений необходимо создание эффективной правовой защиты окружающей среды, прежде всего мерами уголовно-правового характера. Правильная оценка возможностей законодательства в области противодействия высокотехнологичной экологической преступности позволяет совершенствовать предупредительную деятельность. «Количественная оценка и основанный на ней анализ тенденций в области противодействия преступности и уголовно-правового нормотворчества позволяет наметить пути совершенствования методических основ криминологического прогнозирования для целей эффективного противодействия преступности» [14].

В условиях цифровизации необходимо углубленное теоретическое исследование уголовно-правовой политики государства в сфере защиты окружающей среды. Правильное теоретическое разрешение вопросов совершенствования экологического законодательства скажется на состоянии законности и правопорядка в сфере экологии. В этой связи важное значение имеет развитие региональной экологической криминологии, которая изучает экологическую преступность на региональном уровне, занимается выявлением причин и условий экологических преступлений, а также разработкой мер противодействия данному пагубному явлению.

Региональная экологическая криминология вносит весомый вклад в разработку научной проблемы эколого-криминологической безопасности. Как правильно отмечают ученые, «экологическая безопасность – важная составляющая национальной безопасности, которая является состоянием защищенности личности, общества и государства» [5] от экологических катастроф. Экологическая безопасность занимает существенное место в системе национальной безопасности страны в целом и региона в частности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровизация имеет негативные последствия для окружающей среды. В этой связи правильно отмечают исследователи, «государство должно обеспечить необходимую поддержку развития инфраструктуры, которая будет способствовать техногенной экологической безопасности и гарантировать единое информационное пространство в целях эффективного использования различных сервисов и услуг» [15].

Учитывая опасность цифровизации для окружающего мира, важно усилить государственный контроль за использованием цифровой среды, в частности, дальнейшая модернизация этого контроля. Главной задачей Управления федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по субъектам РФ является обеспечение санитарного благополучия человека в цифровом мире. Следует «цифровизировать внутриотраслевую контрольно-надзорную деятельность, усовершенствовать и оцифровать систему индикаторов экологической эффективности» [1]. В этой связи на региональном уровне в рамках организационных мер противодействия экологической преступности существенное значение имеет формирование системы экологической юстиции, в состав которой войдут экологическая полиция, природоохранная прокуратура и другие специализированные субъекты профилактики правонарушений в сфере экологии.

В системе противодействия высокотехнологичной экологической преступности важное значение имеет привлечение населения к проведению природовосстановительных мероприятий. Можно организовать экологические посты общественного надзора. Для этого необходимо проводить эффективную экологическую политику. По мнению исследователей [9; 11; 12] школьные программы, молодежные передачи, посвященные проблемам охраны природы, способствующие формированию экологической культуры у подрастающего поколения, будут иметь существенное превентивное значение.

Одним из направлений совершенствования системы противодействия экологической преступности является изменение уголовно-экологической политики. Соглашаясь с мнением ученых, отметим, что следует выделить преступления в сфере экологии в отдельный раздел Особенной части УК РФ. «Такая позиция законодателя определит приоритетное направление уголовно-правовой политики» [9]. В рамках уголовно-экологической политики наказание становится средством, сдерживающим совершение экологических преступлений.

Справедливым и актуальным видится предложение теоретиков [9; 11] по созданию специализированных исправительных центров по исполнению

наказания в отношении лиц, совершивших экологические преступления. Такие центры способны ресоциализировать лиц, совершивших экологические преступления, учитывая направленность деятельности данных учреждений.

В цифровом мире важно установление уголовной ответственности юридического лица. Можно предусматривать систему штрафов в особо крупном размере для предприятий, не соблюдающих экологические правила, чтобы им были невыгодно их нарушать. Такое новшество приведет к цифровизации экологической деятельности юридических лиц. «Наряду с вышеперечисленным использованием экологии в цифровых интересах представляет интерес и цифровизация экологической деятельности, то есть два развивающихся понятия и сферы деятельности: экология цифровизации и цифровизация экологии. Цифровизация экологической деятельности (ЦЭД) каждого предприятия, концерна, корпорации, является частью общей цифровизации деятельности, которая осуществляется всеми современными предприятиями и организациями» [1].

От правильного построения эффективной системы противодействия экологической преступности в эпоху цифровизации зависит благосостояние будущих поколений, развитие современной цивилизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грачёв В.А. Экология, цифровизация и атомная энергетика // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. N 6. С. 35–43. <https://doi.org/10.7868/S0233361920060051>
2. Дулатова Н.В. Цифровизация и эколого-экономическая безопасность // Вестник ЮУрГУ. Серия: Право. 2020. N 1. С. 29–32. <https://doi.org/10.14529/law200105>
3. Воронин Ю.А., Беляева И.М., Кухтина Т.В. Современные тенденции преступности в цифровой среде // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Право. 2021. Т. 21. N 1. С. 7–12. <https://doi.org/10.14529/law210101>
4. Пилюгина Т.В., Панасенко В.Н. Экологическая безопасность региона: анализ экологической преступности, ее динамика, структура и предупреждение // Экономика. Право. Печать. Вестник КСЭИ. 2017. Т. 75. N 3. С. 69–73.
5. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации Российской Федерации» от 28 июля 2017 г. N 1632-р // <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 09.08.2022)
6. Конституция Российской Федерации <http://www.constitution.ru/> (дата обращения: 11.08.2022)
7. Федеральный Закон Об охране окружающей среды <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?Docbody=&nd=102074303> (дата обращения: 21.08.2022)
8. Воронцов А.М., Никанорова М.Н., Тангиев Б.Б., Чагалидзе Д.Н. Классификационный анализ экологической преступности как метод выявления приоритетных угроз экологической безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций // Гражданин и право. 2009. N 5. С. 80–86.
9. Кузнецова Н.И., Милуков С.Ф. Уголовно-правовая политика в сфере экологии: современные тенденции // Юридический вестник ДГУ. 2022. Т. 42. N 2. С. 140–152. <https://doi.org/10.21779/2224-0241-2022-42-2-140-152>
10. Постановление Правительства РФ от 10.03.2022 N 336 (ред. от 04.02.2023) «Об особенностях организации и осуществления государственного контроля (надзора), муниципального контроля» //

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411233/ (дата обращения: 28.08.2022)

11. Милуков С.В. Научный и прикладной потенциал криминологии должен быть использован в общенациональных интересах // Криминология: вчера, сегодня, завтра. 2017. Т. 47. N 4. С. 26–29.
12. Ермолаева П.О., Ермолаева Ю.В., Башева О.А. Цифровой экологический активизм как новая форма экологического участия населения // Социологическое обозрение. 2020. Т. 19. N 3. С. 376–408. <https://doi.org/10.17323/1728-192x-2020-3-376-408>
13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.12.2021 N 3496-р <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112140019> (дата обращения: 05.09.2022)
14. Максимов С.В., Васин Ю.Г., Утаров К.А. Цифровая криминология как инструмент борьбы с организованной преступностью // Всероссийский криминологический журнал. 2018. Т. 12. N 4. С. 476–484. [https://doi.org/10.17150/2500-4255.2018.12\(4\).476-484](https://doi.org/10.17150/2500-4255.2018.12(4).476-484)
15. Мангасарян А.М., Семенцова И.А. О некоторых теоретических вопросах обеспечения экологической безопасности России в условиях цифровизации общества // Роль науки и высоких технологий в обеспечении социально-экономического развития государства: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 13 сентября 2021 г.: Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2021. С. 47–49.

REFERENCES

1. Grachev V.A. Ecology, digitalization and nuclear energy. *Energy: economics, technology, ecology*, 2020, no. 6. pp. 35–43. (In Russian) <https://doi.org/10.7868/S0233361920060051>
2. Dulatova N.V. Digitalization and environmental and economic security. *Bulletin of SUSU. Series: Law*, 2020, no. 1, pp. 29–32. (In Russian) <https://doi.org/10.14529/law200105>
3. Voronin Yu.A., Belyaeva I.M., Kukhtina T.V. Current trends in crime in the digital environment. *Bulletin of South Ural State University. Series: Law*, 2021, vol. 21, no. 1, pp. 7–12. (In Russian) <https://doi.org/10.14529/law210101>
4. Pilyugina T.V., Panasenkov V.N. Ecological safety of the region: analysis of environmental crime, its dynamics, structure and prevention. *Ekonomika. Pravo. Pechat'. Vestnik KSEI [Economics. Right. Seal. Bulletin of KSEI]*. 2017, vol. 75, no. 3. pp. 69–73. (In Russian)
5. *Programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiiskoi Federatsii Rossiiskoi Federatsii» ot 28 iyulya 2017 g. N 1632-r* [Program "Digital Economy of the Russian Federation of the Russian Federation" dated July 28, 2017 N 1632-r]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (accessed 08.09.2022)
6. *Konstitutsiya Rossiiskoi Federatsii* [Constitution of the Russian Federation]. Available at: <http://www.constitution.ru/> (accessed 08.11.2022)
7. *Federal'nyi Zakon Ob okhrane okruzhayushchei sredy* [Federal Law on Environmental Protection]. Available at: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?Docbody=&nd=102074303> (accessed 21.08.2022)
8. Vorontsov A.M., Nikanorova M.N., Tangiev B.B., Chaglidze D.N. Classification analysis of environmental crime as a method for identifying priority threats to environmental safety and preventing emergencies. *Grazhdanin i pravo [Citizen and Law]*. 2009, no. 5, pp. 80–86. (In Russian)
9. Kuznetsova N.I., Milyukov S.F. Criminal law policy in the field of ecology: modern tendencies. *Law Herald of DSU*, 2022, vol. 42, no. 2, pp. 140–152. (In Russian) <https://doi.org/10.21779/2224-02412022-42-2-140-152>

10. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 10.03.2022 N 336 (red. ot 04.02.2023) «Ob osobennostyakh organizatsii i osushchestvleniya gosudarstvennogo kontrolya (nadzora), munitsipal'nogo kontrolya»* [Decree of the Government of the Russian Federation of 03/10/2022 N 336 (as amended on 02/04/2023) "On the features of the organization and implementation of state control (supervision), municipal control"]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411233/ (accessed 28.08.2022)
11. Milyukov S.V. The scientific and applied potential of criminology should be used in the national interests. *Kriminologiya: vchera, segodnya, zavtra* [Criminology: Yesterday, Today, Tomorrow]. 2017, vol. 47, no. 4, pp. 26–29. (In Russian)
12. Ermolaeva P.O., Ermolaeva Yu.V., Basheva O.A. Digital environmental activism as a new form of environmental participation of the population. *Sociological Review*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 376–408. (In Russian) <https://doi.org/10.17323/1728-192x-2020-3-376-408>
13. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 08.12.2021 N 3496-r* [Decree of the Government of the Russian Federation of December 8, 2021 N 3496-r]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112140019> (accessed 05.09.2022)
14. Maksimov S.V., Vasin Yu.G., Utarov K.A. Digital criminology as a tool to combat organized crime. *All-Russian Criminological Journal*, 2018, vol. 12, no. 4, pp. 476–484. (In Russian) [https://doi.org/10.17150/2500-4255.2018.12\(4\).476-484](https://doi.org/10.17150/2500-4255.2018.12(4).476-484)
15. Mangasaryan A.M., Sementsova I.A. O nekotorykh teoreticheskikh voprosakh obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti Rossii v usloviyakh tsifrovizatsii obshchestva [On some theoretical issues of ensuring the environmental safety of Russia in the context of the digitalization of society]. *Rol' nauki i vysokikh tekhnologii v obespechenii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya gosudarstva: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 13 sentyabrya 2021, Belgorod* [The role of science and high technologies in ensuring the socio-economic development of the state: a collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference, 13 September, 2021, Belgorod]. Belgorod, Agency for Advanced Scientific Research (APNI) Publ., 2021, pp. 47–49. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Дуряя З. Зиядова, Майя Г. Диева, Артур Э. Гусейнов и Надира О. Гусейнова проанализировали проблему, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Dureya Z. Ziyadova, Maya G. Dieva, Artur E. Guseynov and Nadira O. Guseynova analyzed the problem, wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Дуряя З. Зиядова / Dureya Z. Ziyadova <https://orcid.org/0000-0001-7088-4997>

Майя Г. Диева / Maya G. Dieva <https://orcid.org/0009-0006-4617-0082>

Артур Э. Гусейнов / Artur E. Guseynov <https://orcid.org/0000-0003-3979-42933>

Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

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 Орджоникидзена, 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 03.07.2023.
Объем 22,87. Тираж 100. Заказ № 18.
Формат 70х90%. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е