

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 № 3 2023

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.18 no. 3 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 Абдулгамид Абулхасумович, Институт экологии
и устойчивого развития, Дагестанский государственный
университет (Махачкала, Россия)

Технический редактор

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

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

EDITORIAL BOARD**Editor-in-Chief**

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

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

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

Scientific Editor

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

Editorial Executive Secretaries

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

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

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

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

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

Technical Editor

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL COUNCIL

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

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

Федотова З.А., Нахлебашева Г.М., Мухтарова Г.М., Бекшоков К.С., Гасангаджиева А.Г. К изучению комплексов галлообразующих насекомых и клещей фауны Дагестана.....	8-27
Беседина Е.Н., Киль В.И. Генетическая изменчивость грушевой кружевницы <i>Stephanitis pyri</i> F. (Heteroptera: Tingidae) в Краснодарском крае.....	28-38
Игнатъева Т.Н., Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Хетагурова Е.В. Пополнение видового состава биоресурсной коллекции энтомоакарифагов.....	39-49
Оганесян Р.Л., Рухкян М.Я., Арутюнова Л.Д., Магомедова М.З., Магомедова П.Д. Гельминтофауна рыб озера Севан в период изменения уровня воды.....	50-59

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Гусейнова З.А. Изменчивость морфологических признаков <i>Salvia canescens</i> (Lamiaceae) в природных популяциях Дагестана.....	60-68
Литвинская С.А., Горбов С.Н., Дзигунова Ю.В. Ruderalophyton трансформированных местообитаний Ростовской урбозоосистемы.....	69-80
Мусаев А.М., Раджабов Г.К., Алиев А.М., Исламова Ф.И. Экспериментальное изучение структуры изменчивости природных популяций <i>Origanum vulgare</i> L. из Горного Дагестана.....	81-94

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Филиппова А.Ю., Федотова М.С., Кононова Ю.В., Шестопалова Л.В., Гуляева М.А. Изучение течения инфекционного процесса в легких кошек при экспериментальном заражении коронавирусом SARS-CoV-2.....	95-102
Казачинская Е.И., Кононова Ю.В., Иванова А.В., Зибарева Л.Н., Чепурнов А.А., Романюк В.В., Гуляева М.А., Шестопалов А.М. Способ получения водной вытяжки и сухих этанольных экстрактов травы (смесь цветков с листьями) и стебля зверобоя продырявленного (<i>Hypericum perforatum</i> L.), обладающих ингибирующей активностью на репликацию коронавируса SARS-CoV-2 <i>in vitro</i>	103-117
Пилип Л.В., Сырчина Н.В., Ашихмина Т.Я., Колеватых Е.П. Колиформные бактерии как компоненты биопленок навозных стоков.....	118-125
Осипова И.П., Тотменин А.В., Берсенева П.Г., Ильина Е.Ю., Ломакина Е.А., Гашикова Н.М. Актуальность использования методов молекулярной эпидемиологии ВИЧ для характеристики территориальных эпидемий: Сахалинская область.....	126-132
Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю., Востоков С.В. Микропластон искусственных полимеров в р. Миасс и оз. Турояк (Южный Урал, Российская Федерация) на ранних стадиях колонизации.....	133-143

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Фаттахова Л.А., Решетников М.В., Кузина Д.М. Особенности распределения подвижных форм тяжёлых металлов и магнитных свойств почв рекреационной зоны «Дубравный лес» города Казань.....	144-152
Бекмурзаева Р.Х., Булаева Н.М. Мониторинг выбросов парниковых газов на карбоновом полигоне «WAY CARBON» методом регенеративного животноводства.....	153-160
Идзиев Г.И., Ахмедова Л.Ш., Бекшокова П.А., Атаев З.В. Новая региональная промышленная политика и проблемы экологии.....	161-169

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Савва А.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А. Агроэкологическая оценка применения гербицидов на посевах сои в центральной зоне Краснодарского края.....	170-178
Нековаль С.Н., Маскаленко О.А. Влияние биологической системы защиты на состав почвенной микробиоты и качество картофеля в условиях центральной агроклиматической зоны Краснодарского края.....	179-189
Гаджиев З.К., Суржикова Е.С., Евлагина Д.Д., Суворов А.И., Шумаенко С.Н. Оценка полиморфизма генов GDF9, BMP15 и их взаимосвязь с репродуктивными функциями овец разных пород.....	190-195
Оздемиров А.А., Хожиков А.А., Гусейнова З.М., Даветеева М.А. Анализ полиморфизмов в генах, ассоциируемых с молочной продуктивностью у районированных пород крупного рогатого скота, выращиваемых в условиях Республики Дагестан.....	196-200

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ И РЕКРЕАЦИЯ

Корнеевец В.В., Семенова Л.В., Яковенко Н.В. Моделирование социальной ответственности гостиничного бизнеса как фактора устойчивого развития туристской дестинации Калининградской области.....	201-209
--	---------

Hosseini S.S., Taghvaei M., Ataev Z.V.

An elaboration of obstacles and perspectives of medical tourism development taking the approach of integrated service provision (Case study: Isfahan Province, Iran).....210-225

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ*Алиев С.А., Гасангусейнова Ж.А., Омаров К.Х.*

Эффект теломераз. Онкологические аспекты рака культи желудка (Методология и литературный обзор).....226-233

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....234

ECOLOGY OF ANIMALS

- Fedotova Z.A., Nakhibasheva G.M., Mukhtarova G.M., Bekshokov K.S., Gasangadzhieva A.G.*
On the study of complexes of gall-forming insects and mites of the fauna of Dagestan, Russia.....8-27
- Besedina E.N., Kil V.I.*
Genetic variability of the pear lace bug *Stephanitis pyri* F. (Heteroptera: Tingidae) in Krasnodar Territory, Russia.....28-38
- Ignatieva T.N., Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Khetagurova E.V.*
Replenishment of the species composition of the bioresource collection of Entomoacariphages.....39-49
- Hovhannisyan R.L., Rukhkyan M.Ya., Harutyunova L.D., Magomedova M.Z., Magomedova P.D.*
The fish helminth fauna of Lake Sevan during a period of water level change.....50-59

ECOLOGY OF PLANTS

- Guseynova Z.A.*
Variability of morphological traits of *Salvia canescens* (Lamiaceae) in natural populations of Dagestan, Russia.....60-68
- Litvinskaya S.A., Gorbov S.N., Dzigunova Yu.V.*
Ruderal vegetation (Ruderalophyton) of transformed habitats of the Rostov-on-Don urban ecosystem, Russia.....69-80
- Musaev A.M., Radzhabov G.K., Aliyev A.M., Islamova F.I.*
Experimental study of the structure of variability of natural populations
of *Origanum vulgare* L. from mountainous Dagestan, Russia.....81-94

ECOLOGY OF MICROORGANIZMS

- Filippova A.Yu., Fedotova M.S., Kononova Yu.V., Shestopalova L.V., Gulyaeva M.A.*
The study of the course of the infectious process in lungs of cats during experimental infection with SARS-CoV-2.....95-102
- Kazachinskaia E.I., Kononova Yu.V., Ivanova A.V., Zibareva L.N., Chepurinov A.A., Romanyuk V.V., Gulyaeva M.A., Shestopalov A.M.*
A method for obtaining aqueous and dry ethanol extracts of grass (a mixture of flowers with leaves) and a stalk of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) with inhibitory activity on the replication
of the SARS-CoV-2 coronavirus *in vitro*.....103-117
- Pilip L.V., Syrchina N.V., Ashikhmina T.Ya., Kolevatykh E.P.*
Coliform bacteria as components in biofilm of manure effluents.....118-125
- Osipova I.P., Totmenin A.V., Bersenev P.G., Ilyina E.Yu., Lomakina E.A., Gashnikova N.M.*
The relevance of using methods of molecular epidemiology of HIV to characterize territorial
epidemics: Sakhalin region, Russia.....126-132
- Sapozhnikov Ph.V., Kalinina O.Y., Vostokov S.V.*
Microplaston artificial polymers in the Miass River and Lake Turgoyak (Southern Urals, Russia)
in the early stages of colonization.....133-143

GEOECOLOGY

- Fattakhova L.A., Reshetnikov M.V., Kuzina D.M.*
Distribution features of mobile forms of heavy metals and magnetic properties of soils
in the Dubravniy Forest recreational area of the city of Kazan, Russia.....144-152
- Bekmurzaeva R.H., Bulaeva N.M.*
Monitoring greenhouse gas emissions at the WAY CARBON carbonic polygon through
regenerative animal husbandry.....153-160
- Idziev G.I., Akhmedova L.Sh., Bekshokova P.A., Ataev Z.V.*
New regional industrial policy and environmental problems.....161-169

AGRICULTURAL ECOLOGY

- Savva A.P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A.*
Agroecological assessment of herbicides application on soybean crops in the central zone
of Krasnodar Territory, Russia.....170-178
- Nekoval' S.N., Maskalenko O.A.*
Effect of the biological protection system on the composition of soil microbiota and quality of potatoes
in the central agro-climatic zone of Krasnodar Territory, Russia.....179-189
- Gadzhiev Z.K., Surzhikova E.S., Evlagina D.D., Surov A.I., Shumaenko S.N.*
Evaluation of the polymorphism of the GDF9 and BMP15 genes and their relationship with the reproductive
functions of sheep of different breeds.....190-195
- Ozdemirov A.A., Khozhokov A.A., Huseynova Z.M., Daveteeva M.A.*
Analysis of polymorphisms in genes associated with milk productivity in red steppe and Caucasian brown cow
breeds in two natural-climate zones (mountains and plain) of Dagestan, Russia.....196-200

ECOLOGICAL TOURISM AND RECREATION

- Korneevets V.S., Semenova L.V., Yakovenko N.V.*
Modeling the social responsibility of the hospitality industry as a factor of sustainable development
of a travel destination of the Kaliningrad region, Russia.....201-209

Hosseini S.S., Taghvaei M., Ataev Z.V.

An elaboration of obstacles and perspectives of medical tourism development taking the approach of integrated service provision (Case study: Isfahan Province, Iran).....210-225

GENERAL PROBLEMS

Aliev S.A., Gasanguseinova Zh.A., Omarov K.H.

The telomerase effect. Oncological aspects of gastric stump cancer (methodology and literature review).....226-233

CONTACT INFORMATION.....234

Оригинальная статья / Original article

УДК 595.771

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-8-27



К изучению комплексов галлообразующих насекомых и клещей фауны Дагестана

Зоя А. Федотова¹, Гюльнара М. Нахибашева^{2,3}, Гюльнара М. Мухтарова²,
Керим С. Бекшоков², Азиза Г. Гасангаджиева²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург-Пушкин, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Зоя А. Федотова, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский институт защиты растений Российской академии наук (ФГБНУ ВИЗР); 196608 Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, д. 3.

Тел. +79313821113

Email zoya-fedotova@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8888-5979>

Формат цитирования

Федотова З.А., Нахибашева Г.М., Мухтарова Г.М., Бекшоков К.С., Гасангаджиева А.Г. К изучению комплексов галлообразующих насекомых и клещей фауны Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 8-27. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-8-27

Получена 6 июля 2023 г.

Прошла рецензирование 14 августа 2023 г.

Принята 21 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Выявить в фауне Дагестана комплексы галлообразующих насекомых и клещей, которые совместно с другими обитателями галлов эволюционно связаны с общими для них видами и родами растений.

Материалы и методы. Материалы собраны в равнинном и горном Дагестане. Использовались стандартные методы: осмотр растения, поиск и массовый сбор галлов; выведение имаго; изготовление препаратов личинок и имаго.

Результаты. Доминируют комплексы галлиц (Diptera, Cecidomyiidae), орехотворок (Hymenoptera, Cynipidae), псиллид, тлей (Hemiptera, Aphalaridae, Psyllidae, Aphididae) и галловых четырехногих клещей (Acari, Eriophyidae). Дополнительно для фауны Дагестана выявлены 7 видов 5 родов Eriophyidae и 24 вида 12 родов насекомых, среди которых 16 видов 7 родов Cecidomyiidae. Новые для фауны России – 3 вида 2 родов клещей и 13 видов 8 родов галлиц: *Aceria labiatiflorae* Thomas, *A. thomasi* Nalepa, *Paraphytoptus chondrillae* Canestrini, *Contarinia cardariae* Fedotova, *C. desertorum* Marikovskij, *Arthrocnodax chondrillaphylus* Fedotova, *A. saliciphilus* Fedotova, *A. origani* Fedotova, *A. thymiphilus* Fedotova, *Ozirhincus longicollis* Rondani, *Dasineura scorzonrifloris* Fedotova, *Jaapiella chondrillae* Skuhravá, *Spurgia seguierianae* Fedotova, *Euphorbomyia loewii* Mik, *Marikovskiana dentipes* Marikovskij. Личинки хищных галлиц почти всегда встречаются в галлах клещей.

Заключение. Сведения о разнообразии комплексов галлообразователей Дагестана будут полезны для оценки эволюционных связей между ними и растениями и дадут представление о богатстве фауны при организации охраняемых природных территорий и рекреационных зон.

Ключевые слова

Комплексы галлообразователей, галлицы, растение-хозяин, биоценоз галла, распространение, Дагестан, Кавказ, Cecidomyiidae, Eriophyidae.

On the study of complexes of gall-forming insects and mites of the fauna of Dagestan, Russia

Zoya A. Fedotova¹, Gulnara M. Nakhibasheva^{2,3}, Gulnara M. Mukhtarova²,
Kerim S. Bekshokov² and Aziza G. Gasangadzhieva²

¹All-Russian Institute for Plant Protection, Pushkin, Saint Petersburg, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Precaspian Institute of Biological Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Zoya A. Fedotova, Dr Sci., Professor, Senior Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, Russian Academy of Agricultural Sciences, 3 Podbelskogo Hwy, Pushkin, Saint Petersburg, Russia 196608.

Tel. +79313821113

Email zoya-fedotova@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8888-5979>

How to cite this article

Fedotova Z.A., Nakhibasheva G.M., Mukhtarova G.M., Bekshokov K.S., Gasangadzhieva A.G. On the study of complexes of gall-forming insects and mites of the fauna of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 8-27. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-8-27

Received 6 July 2023

Revised 14 August 2023

Accepted 21 August 2023

Abstract

Aim. To identify complexes of gall-forming insects and mites in the fauna of Dagestan, which, together with other inhabitants of galls, are evolutionarily associated with common plant species and genera.

Materials and Methods. The materials were collected in the plains and mountains of Dagestan. Standard methods were used: inspection of plants, search and mass collection of galls; breeding imago and production of preparations of larvae and adults.

Results. Assemblages of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae), gall wasps (Hymenoptera, Cynipidae), psyllids, aphids (Hemiptera, Aphalaridae, Psyllidae, Aphididae) and gall four-legged mites (Acari, Eriophyidae) dominate. Additionally, for the fauna of Dagestan, 7 species of 5 genera Eriophyidae and 24 species of 12 genera of insects were identified, including 16 species of 7 genera Cecidomyiidae. Newly recorded for the fauna of Russia are 3 species of 2 genera of mites and 13 species of 8 genera of gall midges: *Aceria labiatiflorae* (Thomas), *A. thomasi* (Nalepa), *Paraphytoptus chondrillae* (Canestrini), *Contarinia cardariae* Fedotova, *C. desertorum* Marikovskij, *Arthrocnodax chondrillaphylus* Fedotova, *A. saliciphilus* Fedotova, *A. origani* Fedotova, *A. thymiphilus* Fedotova, *Ozirhincus longicollis* Rondani, *Dasineura scorzonrifloris* Fedotova, *Jaapiella chondrillae* Skuhravá, *Spurgia seguierianae* Fedotova, *Euphorbomyia loewii* (Mik), *Marikovskiana dentipes* Marikovskij. Larvae of predatory gall midges are almost always found in mite galls.

Conclusion. Information about the diversity of gall-forming complexes in Dagestan will be useful for assessing evolutionary relationships between them and plants and will give an idea of the richness of the fauna in the organisation of protected natural areas and recreational zones.

Key Words

Gall forming complexes, gall midges, plant-host, gall biocenosis, distribution, Dagestan, Caucasus, Cecidomyiidae, Eriophyidae.

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие галлообразователей, эволюционно связанных с растениями, чрезвычайно велико, но очень плохо изучено. Вероятно, это связано с коротким периодом развития их личинок на растении, фенологическими особенностями и формированием органов растений, специфических для развития галлов данного хозяина только в определенный период вегетации растения. Очень часто на растениях можно обнаружить пустые галлы или ещё неразвитые. По этой причине сбор сведений о галлах, хозяин которых остаётся неизвестным, является актуальным. Указания о неизвестных видах галлообразователей, с описанием галлов и их строения, всегда приводятся в списках потенциально опасных вредителей хозяйственно важных групп растений и при изучении фауны фитофагов определенных групп растений.

В настоящее время сведения о галлообразователях чрезвычайно скудны, но по форме галла, который отличаются специфическим строением и образуется только на растениях, относящихся к определенным видам и родам, возможно определение вида галлообразователя. Эти сведения являются основными при определении вида галлообразователя и широко используются на практике. В настоящее время в мире широко изучаются комплексы галлообразователей, состоящие из представителей различных систематических групп. Огромное разнообразие галлов выявлено в тропиках и субтропиках Южной Америки, Африки и Юго-Восточной Азии, хотя галлообразователи их остаются неизвестными, или имаго – не выведены или не описаны. В настоящее время наиболее крупным является обзор галлообразователей Средней и Северной Европы [1].

Насекомые–галлообразователи занимают ведущее место среди различных групп галлогенов (вирусы, бактерии, низшие грибы, нематоды, насекомые, клещи). Для фауны Палеарктики известны представители шести отрядов: полужесткокрылые, жесткокрылые, равнокрылые, чешуекрылые, перепончатокрылые, двукрылые. Их общее число составляет свыше 2000 видов. Наиболее богаты по видовому составу и широко распространены галлообразователи из отрядов двукрылых и перепончатокрылых [2].

Галлицы одно из наиболее крупных семейств двукрылых. Согласно каталогу мировой фауны [3], в настоящее время известен 6651 вид из 832 родов. Принято считать, что большинство видов галлиц являются галлообразователями. Галлицы, развивающиеся на растениях, могут быть также негаллообразующими фитофагами, хищниками в колониях тлей, кокцид и клещей, а также мицетофагами или инквилинами в галлах галлиц или других насекомых и клещей.

Очень часто галлицы образуют галлы на общих видах растений или являются специфическими по отношению к их родам и семействам [4; 5], что, вероятно, объясняется сходными тенденциями в их эволюции и определенным периодом в эволюции растений, возможным для комплексного освоения их галлообразователями.

В данной статье мы продолжаем публикацию данных о галлообразователях Дагестана. В первом сообщении [6] впервые представлен видовой состав галлиц Дагестана, включающий 67 видов 39 родов, которые повреждают растения 56 видов из 46 родов и 23 семейств. Дополнительно в фауне Дагестана выявлены следующие галлообразователи: клещи

(Eriophyidae) – 7 видов из 5 родов и насекомые – 24 вида из 12 родов, среди которых 16 видов из 7 родов – галлицы (Diptera, Cecidomyiinae), 3 вида из 2 родов – полужесткокрылые (Hemiptera, Tingidae, Aphididae), 5 видов из 3 родов – перепончатокрылые (Hymenoptera, Cynipidae). Уточнены данные по их трофическим связям, биологии и распространению.

На Северном Кавказе ранее проводилось изучение комплексов членистоногих, повреждающих лесные растения, в том числе и в рекреационных зонах, с целью выявления их разнообразия, вредоносности и управления численностью [7]. В Дагестане исследования проводились в окрестностях Махачкалы, относящейся к Дербентскому рекреационному подрайону Северного Кавказа. Всего на лесных насаждениях Северного Кавказа были отмечены членистоногие 326 видов, из них 16 – галлообразующие галлицы, повреждающие ель, пихту, тис, можжевельник, березу, бук, дуб, самшит, липу, осину и иву. На этих же растениях были выявлены галлы, образованные клещами, орехотворками, листоблошками, бабочками и галлообразующими перепончатокрылыми (Eulophidae).

В настоящее время активное изучение биоразнообразия галлообразователей, их биологии и распространения также преимущественно направлено на выявление комплексов фитофагов, повреждающих парковые и декоративные растения в крупных городах в связи с их благоустройством и установлением влияния на растения возможных последствий их загрязнений вблизи промышленных предприятий и автомобильных трасс. Например, по отдельным публикациям, в которых приводятся сведения о разнообразных галлообразователях, выявленных в регионах, где они ранее почти не изучались, удалось уточнить их трофические связи, распространение и оценить опасность инвазий [8–10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор галлов и иных повреждений, вызываемых галлицами на растениях, проводился нами в нескольких районах Низменного и Внутригорного Дагестана в июле 2021 и июне 2022 гг. Видовой состав галлиц был определен по имаго, выведенным из личинок, которые питались в галлах, а также по морфологии личинок или по форме галлов, если они были уже пустыми или недостаточно развитыми. Сбор галлов и изготoвление препаратов проводилось по общепринятым и усовершенствованным методикам [4; 5]. Полноценный материал для изучения галлиц можно получить только при сборе галлов со зрелыми личинками и последующем выведении имаго.

Для получения личинок хищных галлиц из большого количества галлов клещей, в которых личинки обычно немногочисленны, применяют целофановые пакеты. Галлы выдерживают в плотно завязанных пакетах, удобны также зип-пакеты. Вскоре или через 1–2 дня личинки галлиц выползают на стенки пакетов. Личинок нужно поместить на почву в садок. Часть личинок-хищников обычно окукливаются в галлах, поэтому их необходимо проветривать от запотевания и гниения в пакетах.

Изучение комплексов галлообразователей и их разнообразия

Существование системы растение–хозяин – фитофаг насчитывает более 400 млн лет. Это означает, что она сформировалась практически сразу после выхода растений на сушу [11].

В большинстве публикаций, посвященных галлообразователям, их разнообразие, трофические связи, характер формирования галлов и особенности биологии рассматриваются в сравнении с представителями той же систематической группы, к которой принадлежит хозяин. Выявлены крупные комплексы галлообразователей, образующих галлы на одном виде растения или близких видах. Например, широко известно обилие галлов орехотворок, связанных с дубом [12]. Такое же разнообразие галлов галлиц развивается на видах дубов, также предпочитаемых орехотворками [13]. Обе группы хозяев образуют комплексы, состоящие из видов, освоивших специфические для них органы растений. Их галлы в процессе коэволюции с растениями приобрели характерное строение и форму, по которым они отличаются от галлов других видов, принадлежащих к одному или близким родам. В случае выявления всего комплекса галлообразователей, развивающегося на растениях одного вида, можно определить последовательность перехода видов одного рода к новому галлообразованию, как было показано ранее на примере галлиц, развивающихся на солянках (*Salsola*, *Amaranthaceae*) [5].

При огромном количестве видов галлообразователей, развивающихся, например, на видах дуба, саксаула и других растениях, разнообразие их галлов значительно меньше. Часто форма галла оказывается сходной у видов насекомых из различных отрядов. Отсутствие бесконечного разнообразия галлов, специфических для вида галлообразователя, вероятно, определяется сходной ответной реакцией растения, возникающей на воздействие галлообразователя, которое возникает при откладке яиц и питании личинок, а также однообразными особенностями тканеобразования у растений и его последующей адаптацией к химизму растения-хозяина [4]. Известно, что виды растений, на которых выявлено массовое галлообразование, особенно богаты по содержанию танинов [14], ауксинов и цитокининов [15]. Выявлены особенности галлогенеза, происходящего в процессе роста галла [2; 16].

В настоящее время крупные комплексные исследования по изучению фитофагов связаны с растениями, имеющими важное хозяйственное значение. Например, виды рода *Populus* (тополь), подвергаются нападению по крайней мере 300 видов насекомых и клещей в Северной Америке [17] и около 525 видов в Европе. Интерес к изучению этого комплекса вредителей вызван ценностью древесины тополя, которая является топливным и строительным материалом, а растения широко используются для озеленения населенных пунктов и создания защитных насаждений. Тополь представляет собой среду для обитания, богатую разнообразием различных видов грибов и насекомых. Большая численность, разнообразие и способы воздействия насекомых на развитие тополей приводит к угнетению их роста, что создает экологические проблемы [18].

В связи с особенностями эволюционного формирования секций тополей и приобретенных признаков, входящие в них виды имеют различную устойчивость к заболеваниям и комплексу вредителей. Представители видов наиболее древней секции *Leucoides* (Левкоидные тополя) наименее устойчивы к повреж-

дению насекомыми и грибковыми заболеваниями. Основными вредителями тополей секций *Aigeiros*, в числе которых *Populus nigra* L., и *Tacamahaca* являются различные насекомые – листогрызущие и листовые минеры. В отличие от других представителей рода тополь почки и листья осины (*Populus tremula* L.) не выделяют клейкого вещества, что может являться причиной плохой устойчивости видов тополей, входящих в секцию *Populus*, к грибным заболеваниям и комплексу вредителей [19].

Выявлены крупные группы родов и видов галлиц, специфических по отношению к под родам и секциям растений из родов эфедра (*Ephedra*) [20], полынь (*Artemisia*) [4] таволга (*Spiraea*) [21], слива (*Prunus*) [22] и др. Специфичность по отношению к растению-хозяину также влияет на особенности развития галлиц при их совместном обитании в галлах [23].

Группы галлообразователей, повреждающие саксаулы (*Haloxylon* spp.) и гребенщики (*Tamarix* spp.), также отличаются очень большим разнообразием галлов, форма которых строго специфична по отношению к виду галлицы. Ценность саксаулов заключается в использовании его в качестве топлива, а также при проведении работ по закреплению песков [24]. Многие виды гребенщиков являются инвайдерами, которые широко распространяются в мире и быстро осваивают свободные территории, являясь сорными растениями [25]. В естественных условиях обитания эти растения встречаются в зоне пустынь, где галлообразование носит почти массовый характер. Доля растений, на которых обнаружены крупные комплексы галлиц, в аридных местообитаниях значительно выше, по сравнению с видами растений из гумидных местообитаний [4]. Вероятно, галлообразование эволюционно способствовало выживанию их хозяев. По обилию галлов, связанных с видом или родом растения, можно судить об условиях, в которых происходило освоение их галлообразователями и формировались коэволюционные связи с растениями.

Возможно, даже единичные случаи, связанные с галлообразованием, делают растение доступным для его освоения другими галлообразователями, а также ослабляют иммунитет растения при его массовом поражении галлами.

Среди обилия и разнообразия насекомых, освоивших растения одного или нескольких близких видов, галлицы по разнообразию видов обычно доминируют в комплексах галлообразователей, являются преимущественно узкими олигофагами, реже монофагами. Иногда являются инквилинами или хищниками в галлах других галлообразователей.

Большое разнообразие видов галлообразователей, принадлежащих к неродственным систематическим группам, часто образуют комплексы, специфичные по отношению к определенному растению-хозяину. Одновременно они приобретают устойчивость к соседству других групп галлообразователей, которые ранее освоили это растение. Причины, по которым возможно такое соседство без видимых признаков конкуренции между разными хозяевами галлов, ещё не изучены. Вероятно, это объясняется общностью эволюционных связей в системе растение-хозяин, возникших в процессе взаимных адаптаций между всеми членами комплекса. Сходные взаимные связи между его

членами были отмечены в комплексах галлиц, образующих однообразные паренхимные галлы, которые возникают на растениях на начальных этапах галлообразования [26], а также в комплексах: растение – хозяин–галлообразователь – галл – инквилин, когда инквилинами могут быть представители разных систематических групп [27].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе приведены видовые очерки галлообразователей, обнаруженных в Дагестане, которые дополняют обзор видов галлиц, приведённый в нашей предыдущей статье, а также сведения о галлах, образованных представителями галлообразующих клещей и насекомыми из отрядов полужесткокрылых и перепончатокрылых. Для всех видов представлены сведения по биологии, трофическим связям и распространению. На примере галлообразователей, найденных в Дагестане, выявлены случаи совместного освоения ими общих растений хозяев, принадлежащих к одному или нескольким близким видам одного рода.

Класс Arachnida – Паукообразные

Подкласс Acari – Клещи

Отряд Trombidiformes Reuter, 1909 – Тромбидиформные клещи

Подотряд Prostigmata Kramer, 1877

Надсемейство Eriophyoidea Nalepa, 1898

Семейство Eriophyidae Nalepa, 1898 – Галловые четырёхногие клещи

Подсемейство Eriophyinae Nalepa, 1898

Триба Aceriini Amrine et Stasny, 1994

***Aceria labiatiflorae* (Thomas, 1872)**

Материал. Дагестан, Гумбетовский район, окр. с. Мехельта, 42°80'4190"N / 46°46'6774"E, на душице (*Origanum vulgare* L., Lamiaceae), 24.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг. Развивается в почковидных, округлых, сильно опушенных галлах, которые состоят из плотно сомкнутых расширенных листьев, образующихся вместо соцветий (рис. 1 а, b). Опушение галла короткое, полностью покрывает наружные и внутренние листья галлов. Иногда края отдельных листьев загнуты на верхнюю сторону и сильнее опушены. Галлы снаружи окрашены в бордовые и светло-зеленые тона, в основании слегка утолщены и кажутся хрящевидными. Изнутри листья галла часто преобразованы в темно-зеленую губчатую ткань. В галлах развиваются хищные личинки галлиц *Arthrocnodax origani* Fedotova, 1995. В Европе выявлен на 3 видах душицы (*O. vulgare* L., *O. majorana* L., *Origanum puberulum* Klokov) [10; 12].

Распространение. Европейский вид, известен из Австрии, Бельгии, Боснии и Герцеговины, Великобритании, Венгрии, Италии, Франции и Швейцарии. Отмечен в Донецкой Народной Республике [10]. Новый для Кавказа, для фауны Дагестана приводится впервые.

Замечание. Одновременно, во время сбора образцов галлов клеща, на том же и соседних растениях были обнаружены галлы *Asphondylia hornigi* Wachtl, 1880 и *Contarinia* sp. В настоящее время в Дагестане на душице выявлен комплекс фитофагов, состоящий из трех видов галлиц, 1 вида клеща, обитающих в галлах, и 1 вида хищной галлицы, которая развивается в галлах клеща.

***Aceria thomasi* (Nalepa, 1889)**

Материал. Дагестан, Ботлихский район, Андийский перевал, 4 км восточнее с. Гагатли, 42°80'2372"N / 46°33'4241"E, 2400 м над ур. м., на тимьяне (*Thymus serpyllus* L., Lamiaceae), 24.07.2021.

Экология. Широкий олигофаг. Развивается в розовидных сильно опушенных галлах, образующихся на верхушках побегов, повреждая почки (рис. 1 с, d). Опушение состоит из крепких коротких серебристо-беловатых волосков, которые покрывают красноватые листья. Часто на поврежденных растениях соцветия не образуются.

В Европе выявлен на 11 видах растений, принадлежащих 4 родам: *Thymus* L. *Thymbra* L., *Micromeria* Benth., *Satureja* L. (Lamiaceae) [12]. В галлах развиваются личинки–хищники галлиц *Arthrocnodax thymiphilus* Fedotova, 1995.

Распространение. Австрия, Финляндия, Германия, 2003), Исландия, Италия, Черногория, Польша, Сербия [28]. Ранее был отмечен в Казахстане [4] и Среднем Поволжье. Новый для фауны Кавказа.

Замечание. В Дагестане на растениях рода *Thymus* в специфических галлах развиваются галлица *Asphondylia serpylli* Kieffer, 1898 [6] и клещ, численность которого регулирует хищная галлица *Arthrocnodax thymiphilus* Fedotova, 1995 [33].

Род *Paraphytoptus* Nalepa, 1896

***Paraphytoptus chondrillae* (Canestrini, 1891)**

= *Aceria chondrillae*

Материал. Дагестан, Буйнакский район, 10 км юго-западнее перевала «Буйнакский», 42°91'3675"N / 47.2'1759"E, на хондрилле ситниковидной (*Chondrilla juncea* L.), 20.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг. В Европе развивается на *Ch. juncea*. В Южном Казахстане (Таласский Алатау) галлы были выявлены на *Ch. canescens* Kar. et Kir., в которых развивались личинки хищных галлиц *Arthrocnodax chondrillaphylus* Fedotova, 1998 [29]. Галлы в виде бесформенных наростов 1–1,5 см, состоящих из мелких, чешуевидных деформированных частей почки или соцветия, которые возникают на главном и боковых побегах. Реже галлы развиваются вместо боковых почек и тогда меньше в размерах – 5–8 мм в диаметре. Галлы обычно ярко-желтые или серовато-зеленые, не отличаются по цвету от здоровых тканей растения. Галлы на *Ch. canescens* слегка опушены жесткими волосками. Вид недавно был переописан из Крыма [30].

Распространение. Австрия, Финляндия, Германия, Исландия, Италия, Черногория, Польша, Сербия [28], Казахстан [4]. Вид был интродуцирован в Северную Америку с целью контроля численности семян данного сорняка [31]; Россия: Крым [30]. Новый для фауны Кавказа.

Триба Eriophyini Nalepa, 1898

Род *Eriophyes* von Siebold, 1851

***Eriophyes tiliae* (Pagenstecher, 1857)**

Материал. Дагестан, в парках и в озеленении улиц [4]. Махачкала, парк, на липе (*Tilia dasystyla* subsp. *caucasica* (V. Engl.) Pigott, = *Tilia begoniifolia* Steven, Malvaceae), 42°98'2970"N / 47°51'2900"E, галлы, 23.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг, вызывает образование конусовидных или рожковидных галлов длиной до

8–10 мм, расположенных на верхней стороне листовых пластинок; входное отверстие расположено на нижней стороне листа (рис. 1 е). Галлы однокамерные, гладкие или волосистые, окраска от желтоватой до ярко-красной. Полость галла в длинных цилиндрических заостренных волосках. После созревания галлы падают на землю. Встречается в массе. Ранее в Европе был отмечен на 6 видах и подвидах липы [12], наиболее часто встречается на *Tilia cordata* Mill., *T. platyphyllos* Scop. В галлах встречаются личинки галлиц-хищников (*Arthrocnodax* sp.).

Распространение. Восточная Палеарктика (Германия, Польша, Босния и Герцеговина, Хорватия, Франция, Греция, Италия, Португалия, Сицилия, Испания, Югославия), Ближний Восток, Северная Африка, интродуцирован в Неарктическую и Неотропическую области [32].

Eriophyes sp.

Материал. Дагестан, близ пос. Кривая балка, на гребенчике Мейера (*Tamarix meyeri* Boiss., Tamaricaceae), 43°18'1109"N / 47°47'2409"E, 11.06.2022.

Ранее был отмечен в Казахстане, как *Eriophyes* sp. 2. Описаны галлы, особенности биологии и вредоносности [25].

Экология. Узкий олигофаг, Галлы в виде шаровидно-удлиненных разрастаний на концах ассимилирующих веточек, 1–5 мм в длину, 1–3 мм в диаметре (рис. 1 f, g). Стенки галла образованы из плотно прилегающих друг к другу небольших твердых чешуек. Внутри галла овальная полость, в которой обитают имаго, яйца и личинки. Численность вида в целом невысокая. Распространение очаговое. В очагах численность на отдельных кустах бывает очень высокой. В таких случаях клещики поселяются и на цветах, которые превращаются в уродливые шишковидные вздутия.

Распространение. Казахстан, Южное Прибалхашье, где отмечен на *T. ramosissima* Ledeb., *T. gracilis* Willd. и *T. leptostachya* Bunge [25]. Новый для фауны Дагестана.

Подсемейство Phyllocoptinae Nalepa, 1892

Триба Anthocoptini Amrine and Stasny, 1994

Aculus tetanothrix (Nalepa, 1889)

Материал. Дагестан, Махачкала, близ берега моря, на иве белой (*Salix alba* L.), 14.05.2022.

Экология. Узкий олигофаг. Галлы округлые или со слегка суженной вершиной, обычно зеленовато-желтоватые или розовато-красноватые, покрыты очень мелким тонким сероватым опушением, 2–3 мм в диаметре (рис. 1 h). Они в массе рассеяно расположены на верхней стороне листа, на нижней стороне – также заметно опущенное светлое вздутие, расположенное в небольшой ямке. Внутри галла – единственная камера с гладкими стенками, в которой большими скоплениями развиваются оранжевые клещи. В Европе повреждает 26 видов ивы [12]. В галлах развиваются личинки-хищники галлицы *Arthrocnodax saliciphilus* Fedotova, 1995 [33].

Распространение. Палеарктическое. Австрия, Польша [34]. Россия: широко в Европейской части; Якутия. Для фауны Дагестана приводится впервые.

Триба Phyllocoptini Nalepa, 1892

Род *Phyllocoptes* Nalepa, 1887

Phyllocoptes sorbeus (Nalepa, 1926)

Материал. Дагестан, Махачкала, близ берега моря, на рябине (*Sorbus* sp.), 14.05.2022.

Экология. Узкий олигофаг. Галлы округлые, иногда сглаженные, почти цилиндрические или бочонковидные с уплощенной вершиной, красные, зеленоватые или пятнистые, покрыты короткими волосками (рис. 1 i). Галлы в массе рассеяны на верхней стороне листа, но не привязаны к его жилкам, 3–4 мм в диаметре. На нижней стороне листа также заметно опущенное светлое вздутие, расположенное в небольшой ямке. Внутри галла – единственная камера с гладкими стенками, в которой большими скоплениями развиваются оранжевые клещи. В Европе повреждает 4 вида ивы [12].

Распространение. Палеарктическое. Австрия, Польша [34], Беларусь [35]. Для фауны Дагестана приводится впервые. Россия: Республика Коми [9]. Новый для Дагестана.

Класс Insecta – Насекомые

Отр. Hemiptera Linnaeus, 1758 –

Полужесткокрылые

Подотряд Sternorrhyncha Amyot et Serville, 1843 –

Грудохоботные

Надсемейство Miroidea Chandler, 1957

Семейство Tingidae Laporte, 1832 – Кружевницы

Род *Copium* Thunberg, 1822

Copium teucarii subsp. *teucarii* (Host, 1788)

Материал. Дербентский р-он, 2 км сев. пос. им. Мичурина, побережье, 42°21'5166"N / 48°18'5217"E на *Teucrium polium* L. (Lamiaceae), 17.07.2021, выход имаго 20.07–7.08; Кайтагский р-он, пос. Родниковый, 7 км с.-в. с. Маджалис, 42°15'9054"N / E 47°98'9374"E, на *T. chamaedrys* L., 18.07.2021; выход имаго 19–20.07; Кумторкалинский район, 2 км юго-западнее пер. Буйнакский, на *T. canum* Fisch. et C.A. Mey, 42°94'1438"N / 47°36'6706"E, 20.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг. По 1–2 личинки развиваются в тонкостенном светло-зеленом галле, 5–6 мм в длину и ширину, с суженной вершиной и боковой ложбинкой вдоль боковой стороны (рис. 2 а, b). Наружная сторона галла почти бархатная, внутренняя – сочная, ярко-зелёная. Галлы развиваются вместо цветков и хорошо заметны, по 1–5 по краю или в центре соцветия. Выход имаго сильно растянут, происходит во второй половине июля. Одновременно в соцветии развиваются личинки плодовых галлиц, повреждения которых в соцветии почти не заметны [36].

Распространение. Западная Палеарктика (Германия, Австрия, Бельгия, Швейцария, Польша, Босния и Герцеговина, Болгария, Венгрия, Чешская Республика, Хорватия, Сербия, Румыния, Украина, Югославия, Франция, Греция, Кипр, Италия, Португалия, Сицилия, Испания, Армения, Азербайджан, Турция, Иран, Ирак, Иордания, Ливан, Сирия), Северная Африка (Алжир, Марокко, Тунис, Египет, Израиль, Саудовская Аравия). Россия: север и северо-запад европейской части. Новый для фауны Дагестана [32].



Рисунок 1. Галлы клещей, найденных в Дагестане: а, б – почковые и цветочные галлы *Aceria labiatiflorae* на *Origanum vulgare*; с, д – почковые галлы *Aceria thomasi* на *Thymus serpyllus*; е – листовые галлы *Eriophyes tiliae* на *Tilia* sp.; ф, г – почковые галлы *Eriophyes* sp. на *Tamarix meyeri*; h – листовые галлы *Aculus tetanotrix* на *Salix alba*; i – листовые галлы *Phyllocoptes sorbeus* на *Sorbus* sp.

Figure 1. Gall mites found in Dagestan: а, б – bud and flower galls of *Aceria labiatiflorae* on *Origanum vulgare*; с, д – bud galls of *Aceria thomasi* on *Thymus serpyllus*; е – leaf galls of *Eriophyes tiliae* on *Tilia* sp.; ф, г – bud galls of *Eriophyes* sp. on *Tamarix meyeri*; h – leaf galls of *Aculus tetanotrix* on *Salix alba*; i – leaf galls of *Phyllocoptes sorbeus* on *Sorbus* sp.

Семейство Aphididae Latreille, 1802
Подсемейство Eriosomatinae Baker, 1920
Триба Pemphigini Herrich-Schaeffer, 1854
Род *Pemphigus* Hartig, 1839

Pemphigus bursarius (Linnaeus, 1758) – Тля
тополево-салатная или обыкновенный черешковый
пемфиг
= *Pemphigus lactacarius* Passerini, 1856

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, левобережье р. Шураозень, Бархан Сарыкум, 43°01'2887"N / 47°25'6758"E, на тополе черном (*Populus nigra* L. (Salicaceae), 22.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг. Галлы развиваются на черешке листа, почти округлые, кошельковидные, с открытым выходом. Зимуют яйца тли в трещинах коры многолетних побегов и ствола. Из них выходят личинки, превращающиеся в самок. В июне среди их потомства появляются крылатые самки-переселенцы, перелетающие на корни сложноцветных. Часть вредителей зимует на этих растениях, а часть возвращается на тополь, где появляется обоеполое поколение. Самки этого поколения откладывают яйца.

Растения-хозяева. Развивается на тополях двух секций: *Aigeiros* Duby (Дельтовидные тополя или Тополя трёхгранные и Тополя чёрные) и *Tacamahaca* Sprach (Тополя бальзамические). В Европе повреждает 5 видов и 1 подвид тополя [1; 12]. Вторичными растениями-хозяевами в Европе являются 12 видов из 9 родов семейства Asteraceae.

Распространение. Евразийский полизональный вид (естественный ареал), субкосмополит (современный ареал): Европа; Кавказ; Азия; Северная Африка: Марокко; завезен в Австралию, Новую Зеландию и Канаду [37]. Россия: Нижнее Поволжье [2], Восточная Сибирь (Республика Хакасия, юг Красноярского края, Иркутская область, Забайкальский край), европейская часть; Западная Сибирь, Дальний Восток России [37].

***Pemphigus spirothecae* Passerini, 1860 – Пемфиг поздний или тля спиральная тополевая**

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, левобережье р. Шураозень, Бархан Сарыкум, 43°01'2887"N / 47°25'6758"E, на тополе черном (*Populus nigra* L. (Salicaceae), 22.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг. Галлы развиваются на черешке листа, который спиралевидно закручивается. Число спиралей 3–4, редко 5. Витки спирали плотно примыкают друг к другу, образуя полностью закрытую поначалу полость, в которой находится самка. Размеры зрелого галла – от 8 до 18 мм в длину и от 6 до 15 мм в ширину. Чередования хозяев, в отличие от большинства родственных видов, нет. Галлы обычно зеленые, иногда розовые, полностью развиваются в августе, сентябре. За год развивается 3–4 поколения. В сентябре появляются самцы и самки. Самки живут несколько дней, в ходе которых откладывают по одному крупному яйцу, которое зимует в трещинах коры, укрытое белой «ватой» – выделениями восковых желез. Пораженные листья преждевременно желтеют и опадают [38].

Растения-хозяева. Развивается на тополях двух секций: *Aigeiros* Duby (Дельтовидные тополя или Тополя трёхгранные и Тополя чёрные) и *Tacamahaca* Sprach (Тополя бальзамические). В Европе повреждает 6 видов тополя [2; 38].

Распространение. Западнопалеарктический полизональный вид (ареал обитания), голарктический (современный ареал). В Европе известен из Польши, Венгрии, Болгарии, Румынии, Сербии, Хорватии, Греции, Украины, России, в азиатских странах – Грузии, Армении, Азербайджана, Казахстана и Ирана. Идет на восток через

Казахстан до Алтая; Кавказ; Азия; Северная Африка: Марокко, Тунис; интродуцирован в Канаду и на юг США [37]. Россия: европейская часть; Кавказ; Нижнее Поволжье [2], Алтай, Западная Сибирь, Восточная Сибирь (Красноярский край, Красноярск и пригород), Дальний Восток России [38]. Новый для Дагестана.

Надсемейство Psylloidea Latreille, 1807 – Листоблошковые

Семейство Aphalaridae Löw, 1879

Род Colposcena Enderlein, 1929

***Colposcena aliena* (Löw, 1881)**

Материал. Дагестан, близ пос. Кривая балка, на гребенщике Мейера (*Tamarix meyeri* Boiss., Caprifoliaceae), 43°18'1109"N / 47°47'2409"E, 11.06.2022.

Экология. Зимуют взрослые листоблошки. Отродившиеся личинки поселяются в пазухи молодых листьев (рис. 2 с). Последние в процессе питания личинок разрастаются в метельчатые галлы длиной от 2 до 5 см.

Растения-хозяева: *Tamarix africana* Poir., *T. aphylla* (L.) H.Karst., *T. gallica*, *T. hispida* Willd., *T. nilotica* (Ehrenb.) Bunge, *T. ramosissima*, *T. senegalensis* DC [25].

Распространение. Палеарктика, в том числе: Марокко, Алжир, Египет, Израиль, Эфиопия, Иран, Афганистан, Турция, Таджикистан, Туркменистан, Испания, Италия, Франция, юго-восток европейской части России, Кавказ (Армения, Нахичевань), Узбекистан, юг, юго-восток Казахстана, Монголия, Китай, Оман, Йемен, Пакистан [25, 39, 40]. Новый для Дагестана.

Отряд Hymenoptera Hymenoptera Linnaeus, 1758 – Перепончатокрылые

Надсемейство Cynipoidea Latreille, 1802 – Орехотворки

Семейство Cynipidae Latreille, 1802

Род Andricus Hartig, 1840

***Andricus curvator* Hartig, 1840**

Материал. Дагестан, Махачкала, парк, на дубе (*Quercus robur* L., Fagaceae), галлы, 14.05.2022.

Экология. Узкий олигофаг, у которого отмечено чередование полового и бесполого поколений. Галлы полового поколения развиваются в апреле на верхушках побегов. Галлы листовые, округлые, светло-зеленые, помещены в характерных вырезках и изгибах листа или на черешках листа (рис. 2 d, e). На верхней стороне листа галлы гладкие, с расплывчатыми лопастевидными краями. Обычно вместе сливаются 2–3 галла. На нижней стороне листа галлы сильно выступающие, иногда с ребристыми краями. Взрослые особи появляются в мае–июне. Партеногенетическая генерация образует галлы размером 2–3 мм в августе–сентябре в почках на молодых побегах, которые перед зимой опадают на землю. Взрослые особи появляются следующей весной. В Европе данный вид повреждает 7 видов дубов [12]. Встречается редко.

Распространение. Широко встречается в Европе, Грузии, Армении, Азербайджане, Малой Азии и Иране. Россия: северо-запад, центр, Северный Кавказ, Крым, Урал [41]. Впервые отмечен для фауны Дагестана.

***Diplolepis fructuum* (Rübsaamen, 1896)**

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, 2 км юго-западнее пер. Буйнакский, 42°94'1438"N / E 47°36'6706"E, на шиповнике (*Rosa canina*), галлы, 20.07.2021.

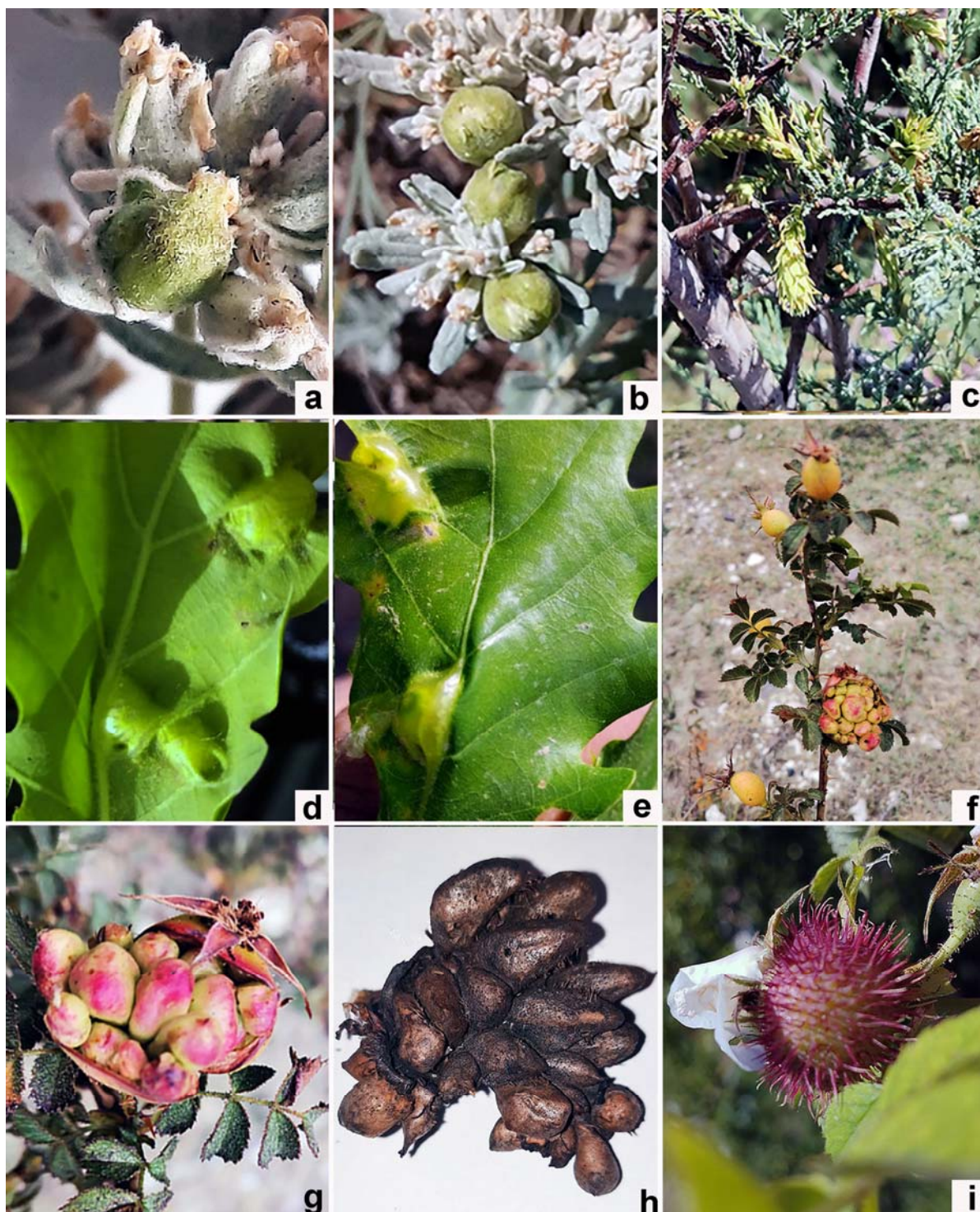


Рисунок 2. Галлы насекомых: а, б – цветочные и почковые галлы *Copium teucryi* (Hemiptera, Tingidae) на *Teucrium polium*; с – почковые галлы *Colposcения aliena* (Hemiptera, Aphalaridae) на *Tamarix meyeri*; d, e – листовые галлы *Andricus curvator* (Hymenoptera, Cynipidae и далее) на *Quercus robur*; f, g, h – плодовые галлы *Diplosis fructuum* на *Rosa canina*; i – почковые галлы *Diplosis rosae* на *R. canina*

Figure 2. Insect galls: a, b – flower and bud galls of *Copium teucryi* (Hemiptera, Tingidae) on *Teucrium polium*; c – bud galls of *Colposcения aliena* (Hemiptera, Aphalaridae) on *Tamarix meyeri*; d, e – leaf galls of *Andricus curvator* (Hymenoptera, Cynipidae and beyond) on *Quercus robur*; f, g, h – *Diplosis fructuum* fruit galls on *Rosa canina*; i – bud galls of *Diplosis rosae* on *R. canina*

Экология. Монофаг. Галлы состоят из скоплений множества (10–50) гладкостенных овальных вздутий, которые после зимовки долго сохраняются на растении в виде бесформенных коричневых образований, каждое с

единственным летным отверстием (рис. 2 f, g, h). Скопления отдельных вздутий образуются на плодах, которые разрываются, а их остатки сохраняются в основании большого сборного галла. Галлы созревают к

середине лета; взрослые особи появляются в следующем году в мае. Генерация одногодичная. В Европе данный вид отмечен на *Rosa canina* [12]. В Дагестане наиболее массовый вид.

Распространение. Отмечен в Восточной Европе, Армении, Турции, Иране, Туркменистане, Таджикистане и Узбекистане. Россия: центр европейской части, Северный Кавказ [41]. Впервые отмечен для фауны Дагестана.

Diplolepis rosae (Linnaeus, 1758)

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, 2 км. юго-западнее пер. Буйнакский, 42°94'1438"N / 47°36'6706"E, на шиповнике (*Rosa canina*), галлы, 20.07.2021.

Экология. Монофаг. Многокамерные галлы появляются на верхушках побегов и листовых почках в начале лета, созревают в середине осени; взрослые особи отрождаются в следующем году в мае–июне. Галлы почти округлые, белые, густо покрыты длинными тонкими зеленоватыми или красноватыми сочными тонкими отростками, каждый из которых несёт боковые нежные игловидные отростки (рис. 2 i). В Европе данный вид отмечен на растениях 21 вида рода *Rosa* [12]. Встречается редко.

Распространение. Широко отмечен в Европе, Кавказ, Иран, Центральная Азия, Казахстан, Индия, инвазивный вид в Северной Америке. Россия: север, северо-запад, центр, Северный Кавказ, Крым [41]. Впервые отмечен для фауны Дагестана.

Neuroterus anthracinus (Curtis, 1838)

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, 2 км. юго–западнее пер. Буйнакский, 42°94'1438"N / Е 47°36'6706"E, на дубе (*Quercus robur*), галлы, 20.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг, у которого отмечено чередование полового и бесполого поколений. Галлы полового поколения округлые, гладкие, 3–4 мм, развиваются в мае–июне на коре, побегах, старых ветках и почках, на месте отпавших чешуек (рис. 3 а). Взрослые особи появляются в мае–июне. Галлы бесполого поколения образуются на нижней стороне листа, в виде плоских светло-коричневых, почти квадратных пластинок 3–4 мм длины, чередующихся с двух сторон вдоль средней жилки. На верхней стороне листа галлы не видны. Галлы созревают в сентябре; взрослые особи появляются в октябре. В Европе данный вид повреждает 7 видов дуба [12]. Встречается редко.

Распространение. Широко встречается в Европе, Кавказ, Израиль, Иран. Россия: повсеместно в европейской части, Урал [41]. Впервые отмечен для фауны Дагестана.

Neuroterus quercusbaccarum (Linnaeus, 1758)

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, 2 км. юго-западнее пер. Буйнакский, 42°94'1438"N / Е 47°36'6706"E, на дубе (*Quercus robur*), галлы, 20.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг, у которого отмечено чередование полового и бесполого поколений. Галлы бесполого поколения на нижней стороне листа, плоские, блестящие, розовые круглые наросты 4–6 мм, покрытые едва заметными прозрачными ворсинками (рис. 3 b, c, d). На верхней стороне листа небольшое полупрозрачное вздутие в центре галла. Галлы полового поколения появляются в мае–июне. Они сочные, гладкие, ягодообразные, 4–8 мм, образуются на мужских соцветиях-сережках, реже на листьях. Созревшие галлы буреют и падают на землю. Взрослые особи половой генерации появляются в июне; взрослые бесполое особи – следующей весной. В Европе данный вид повреждает 7 видов дуба [12]. Встречается редко.

тиях-сережках, реже на листьях. Созревшие галлы буреют и падают на землю. Взрослые особи половой генерации появляются в июне; взрослые бесполое особи – следующей весной. В Европе данный вид повреждает 7 видов дуба [12]. Встречается редко.

Распространение. Широко встречается в Европе, Северная Африка, Грузия, Армения, Азербайджан, Турция, Сирия, Ливан, Иран, Казахстан. Россия: северо-запад и центр европейской части, Северный Кавказ, Крым, Урал [41]. Впервые отмечен для фауны Дагестана.

Отряд Diptera

Семейство Cecidomyiidae Newman, 1934

Подсемейство Cecidomyiinae Newman, 1934

Надтриба Asphondylii Rübsaamen et Hedicke,

1925

Триба Asphondylii Rübsaamen et Hedicke, 1925

Род *Asphondylia* Loew, 1850

Asphondylia sp.

Материал. Дербентский р-он, 2 км сев. пос. им. Мичурина, побережье, 42°21'5166"N / 48°18'5217"E на *Teucrium polium* L. (Lamiaceae), 17.07.2021, вылет 20.07–7.08; Кайтагский р-он, пос. Родниковый, 7 км с.–в. с. Маджалис, 42°15'9054"N / Е 47°98'9374"E, на *T. chamaedrys* L., 18.07.2021; вылет 19–20.07; Кумторкалинский район, 2 км. юго-западнее пер. Буйнакский, на *T. canum* Fisch. et C.A. Mey, 42°94'1438"N / 47°36'6706"E, 20.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг. Оранжевые личинки развиваются в отдельных нераскрывшихся цветках дубровника (*Teucrium* spp.), не вызывая заметных повреждений. Окукливание и зимовка в галлах, за год развивается 2 поколения. Часто. Имаго в массе выведены из галлов.

Распространение. Дагестан. Вид не описан.

Надтриба Contarini Rübsaamen et Hedicke, 1925

Триба Contarini Rübsaamen et Hedicke, 1925

Род *Contarinia* Rondani, 1860

Contarinia cardariae Fedotova, 1994

Материал. Дагестан, Ахтинский район, окр. с. Ахты, кресс крупковый (*Lepidium appelianum* Al-Shehbaz (syn. *C. pubescens* (C.A. Mey.) Jarm., Brassicaceae), 43°00'4003"N / 47°23'6751"E, 4.07.2022, галлы и личинки.

Экология. Монофаг. Личинки желтые, развиваются по 2–5 во вздувшемся бутоне, венчик которого становится шаровидным, слегка желтоватым. Окукливание в почве, фаза куколки 9–17 дней. За год развивается 2 поколения. Встречается часто.

Растения-хозяева. *Cardaria draba* (L.) Desv., *Lepidium appelianum*.

Распространение. Вид описан с *Cardaria draba* из Западного Казахстана (п-ов Бузачи и Мангышлак в Каспийском море), Юго-Восточного Казахстана и Туркменистана (Западный Копетдаг) [42]; отмечен в Грузии. Новый для Кавказа и России. Туранский.

Contarinia desertorum Marikovskij, 1955

Материал. Дагестан, близ пос. Кривая балка, на верблюжьей колючке (*Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Desv., Amaranthaceae), 43°18'1109"N / 47°47'2409"E, 11.06.2022, вылет 15–30.VI.2022.

Экология. Монофаг. Личинки молочно-желтоватые, развиваются скоплениями по 5–15 в

листовых стручковидных галлах, которые часто становятся красноватыми. Стенки галла не утолщены. Окукливание в почве. В году отмечено 3–4 поколения. В месте заражения верблюжьей колючки галлы всегда в массе поражают растения. Встречается редко.

Распространение. Описан из Южного Казахстана (пустыня Дарьялык, близ г. Кызылорда), где широко распространен; Киргизия [5], Армения, Грузия, Иран. Впервые отмечен в фауне Дагестана. Ирано-Туранский.

Contarinia sp. 1

Материал. Дагестан, Ахтинский район, окр. с. Ахты, на пузырнике восточном (*Colutea orientalis* Mill., Fabaceae), 43°00'4003"N / 47°23'6751"E, 9.06.2022, галлы и личинки; вылет 22.06.2022. Вид отмечен в Туркменистане [6].

Экология. Монофаг. Белые личинки развиваются скоплениями по 8–15 в нераскрывшихся сильно вздутых бутонах. Чашелистики иногда становятся пёстрыми. Окончив питание, они уходят в почву на окукливание. Стадия куколки продолжается 12–14 дней. Имаго второго поколения также откладывает яйца в цветки в период их формирования. Они остаются закрытыми и сильно увеличиваются в размерах. Личинки развиваются между частями цветка, которые деформируются и постепенно чернеют. Семена не образуются, а после выхода личинок из бутонов галлы опадают.

Распространение. Туркменистан. Новый для России и Дагестана.

Contarinia sp. 2

Материал. Дагестан, Ахтинский район, окр. с. Ахты, на левкое каспийском (*Matthiola caspica* (N.Busch) Grossh., Brassicaceae), 43°00'4003"N / 47°23'6751"E, 9.06.2022, галлы и личинки; вылет 22.06.2022.

Экология. Монофаг. Белые личинки развиваются скоплениями по 4–10 личинок в нераскрывшихся слегка вздутых бутонах (рис. 3 е). Чашелистики остаются белыми, но цветок не раскрывается. Личинки уходят в почву на окукливание, которое происходит в белой колыбельке близ поверхности почвы. Стадия куколки продолжась 18–22 дня. За год, вероятно, развивается 2–3 поколения. Личинки зимуют в почве и окукливаются весной. Поврежденные цветки быстро опадают, семена не образуются. Ранее галлицы на данном растении-хозяине не были известны.

Распространение. Дагестан. Вид не описан.

Contarinia sp. 3

Материал. Дагестан, Гумбетовский район, близ с. Мехельта, 42°80'4190"N / 46°46'6774"E, на душице *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae), 20.07.2021, вылет 10–17.08.2021.

Экология. Монофаг. Личинки белые, развиваются по 1–5 в отдельных цветках, повреждения которых снаружи не заметны. Окукливание и зимовка в почве. Фаза куколки продолжается 20–26 дней. За год развивается 2 поколения. Встречается в массе.

Распространение. Россия. Среднее Поволжье. Новый для Дагестана. Вид не описан.

Замечание. Одновременно на тех же растениях в цветочных галлах развивались личинки галлицы *Asphondylia hornigi* Wachtl, 1880.

Триба Cecidomyiini Newman, 1934

Род *Macrodiplosis* Kieffer, 1895

***Macrodiplosis roboris* Hardy, 1854 – Дубовая узкозагнутая галлица**

Syn. *Macrodiplosis volvens* Kieffer, 1895

Материал. Кумторкалинский район, 2 км, юго-западнее пер. Буйнакский, на дубе (*Quercus robur* L.), 42°94'1438"N / E 47°36'6706"E, 20.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг, в Европе известен на 9 видах дуба [12]. В России встречается на *Q. pubescens* Willd. и *Q. robur*. Личинки оранжевые, развиваются в закрученных плотных узких валиках листа, которые образуются в вырезках, между лопастями листа. Валик галла закручивается на верхнюю сторону листа. Окукливание в почве. Моновольтинный. Встречается редко.

Распространение. Широкое в Европе, Турция, Казахстан, Западная Азия. Россия: широко известен в центре Европейской части (Смоленская, Курская, Воронежская и Пензенская области) и на Кавказе [4]. Недавно выявлен на северо-востоке ареала *Q. robur* L.: Удмуртия, пойменная дубрава р. Сива [43]. Новый для Дагестана.

Под *Arthrocnodax* Rübsaamen, 1895

***Arthrocnodax chondrillaphylus* Fedotova, 1998**

Материал. Дагестан, Буйнакский район, 10 км юго-западнее перевала Буйнакский, 42°91'3675"N / 47.2'1759"E, в галлах клеща на хондрилле ситниковидной (*Chondrilla juncea* L.), 2021, вылет 27.VII–5.VIII.2021.

Экология. Узкий олигофаг. Галлы в виде бесформенных наростов 10–15 мм, состоящих из мелких, чешуевидных деформированных частей почки или соцветия, которые возникают на главном и боковых побегах. Галлы обычно ярко-желтые или светло-зеленые, не отличаются по цвету от здоровых тканей растения. Личинки коричневато-красноватые, с тонкой черной внутренней просвечивающейся полоской на спине. Галлы хозяина – *Aceria chondrillae* (Eriophyidae) описаны выше. Окукливание в почве. Фаза куколки продолжается 7–12 дней. Вероятно, за год развивается 2–3 поколения.

Растения-хозяева. *Chondrilla juncea*, хондриллеа седоватая (syn. *Ch. canescens* Kar. et Kir.).

Распространение. Вид описан из Южного Казахстана (Таласский Алатау), отмечен в галлах клещей на *Ch. canescens*. Вид клеща-галлообразователя не был определен [29]. Новый для Кавказа и России.

***Arthrocnodax origani* Fedotova, 1995**

Материал. Дагестан, Гумбетовский район, окр. с. Мехельта, 42°80'4190"N / 46°46'6774"E, на душице обыкновенной (*Origanum vulgare* L., Lamiaceae) в галлах клеща *Aceria labiatiflorae* (Eriophyidae), 24.07.2021, вылет 7–10.VIII.2021.

Экология. Монофаг. Личинки оранжевые, развиваются в скученных мелкоопушенных мелко-лиственных галлах, образующихся вместо соцветий, верхушечных и боковых вегетативных почек. Галлы образованы клещем *A. labiatiflorae* (Thomas, 1872), снаружи окрашены в бордовые и светло-зеленые тона, в основании слегка утолщены и кажутся хрящевидными. Обычно округлой формы, иногда немного расширены к вершине. Изнутри листья галла плотно сомкнуты, часто преобразованы в темно-зеленую губчатую ткань. Личинки галлиц окукливаются в почве. Зимует предкуколка. За год развивается 2–3 поколения, фаза куколки продолжается 10–25 дней. Один из наиболее часто

встречающихся видов галлиц-хищников в галлах растительных клещей.

Растение-хозяин: *Origanum vulgare* и *O. vulgare* subsp. *gracile* (K.Koch) Ietsw., = *O. tyttanthum* Gontsch.

Распространение. Вид описан из Юго-Восточного Казахстана: Джунгарский, Заилийский Алатау. В Казахстане встречается повсеместно в предгорной и горной зоне. Отмечен от предгорий до 1250 м над ур. м [33]. Россия: Среднее Поволжье. Новый для Кавказа. Впервые найден в Дагестане.

***Arthrocnodax saliciphilus* Fedotova, 1995**

Материал. Дагестан, Махачкала, близ берега моря, на иве белой (*Salix alba* L.), в галлах клещей *Aculus tetanothrix* (Nalepa, 1889), 14.05.2022.

Экология. Личинки оранжевые, развиваются в округлых бородавчатых бордовых галлах, образованных растительным клещом на верхней стороне листа. На нижней стороне листа заметны точковидные выходные отверстия в основании галлов, через которые личинки обычно в массе покрывают лист и окукливаются в почве. Генерация одногодичная. Фаза куколки в лабораторных условиях при температуре 20°C продолжается 26–38 дней. Зимует личинка, которая окукливается весной. За год развивается 2–3 поколения. Встречается часто.

Растения-хозяева. *Salix alba*, ива джунгарская (*S. songarica* Andersson), ива тонкосережчатая (*S. tenuijulis* Ledeb.).

Распространение. Описан из Восточного Казахстана (хр. Саур) из галлов на *S. songarica*. Отмечен в Юго-Восточном Казахстане (хр. Заилийский Алатау) на *S. tenuijulis* [33]. Впервые отмечен в Дагестане. Новый для России.

***Arthrocnodax thymiphilus* Fedotova, 1995**

Материал. Дагестан, Ботлихский район, Андийский перевал, 4 км восточнее с. Гагатли, 42°80'2372"N / 46°33'4241"E, 2400 м над ур. м., на тимьяне (*Thymus serpyllus* L., Lamiaceae) в галлах клеща *Aceria thomasi* (Eriophyidae), 24.07.2021, вылет 7–12.08.2021.

Экология. Личинки светло-оранжевые, развиваются в верхушечных розеточных, мелко-войлочно опушенных галлах клеща *Aceria thomasi* (Nalepa, 1889), сведения о котором приведены выше. Окукливание личинок галлиц в почве. Зимуют личинки, окукливание весной. Фаза куколки продолжается 12–23 дня. За год развивается 2–3 поколения.

Растения-хозяева. *Thymus serpyllus* L., *T. dmitrievae* Gamajun.

Распространение. Вид описан из Юго-Восточного Казахстана, Терской Алатау, где развивается на *T. dmitrievae*; отмечен в северных предгорьях Джунгарского Алатау [33]. Новый для фауны Кавказа и России.

***Arthrocnodax* sp.**

Материал. Дагестан, в парках и озеленении улиц [7]. Махачкала, парк, на липе (*Tilia dasystyla* subsp. *caucasica* (V. Engl.) Pigott, = *Tilia begoniifolia* Steven, Malvaceae), в галлах клеща *Eriophyes tiliacae* (Eriophyidae), 42°98'2970"N / 47°51'2900"E, 23.07.2021.

Экология. Узкий олигофаг. Личинки оранжевые, являются хищниками в галлах растительных клещей, которые вызывают образование конусовидных или рожковидных галлов длиной до 15 мм, расположенных

на верхней стороне листовых пластинок; входное отверстие расположено на нижней стороне листа. Галлы однокамерные, гладкие или волосистые, окраска от желтоватой до ярко-красной. Полость галла в длинных цилиндрических заостренных волосках. После созревания галлы падают на землю. Личинки галлиц развиваются в полости галла, окукливаются в почве, иногда в галлах. За год развивается 2 поколения. Зимует личинка в подстилке или в верхних слоях почвы, окукливание происходит весной. Встречается в массе.

Распространение. Широко встречается в европейской части России. Новый для Дагестана. Вид не описан.

Подсемейство Lasiopterinae Rübsaamen et Hedicke, 1925

Надтриба Lasiopteridi Rübsaamen et Hedicke, 1925

Триба Lasiopterini Rübsaamen et Hedicke, 1925

Род *Ozирhincus* Rondani, 1840

***Ozирhincus millefolii* (Wachtl, 1884) – озириккус тысячелистниковый**

Материал. Дагестан, окрестности г. Махачкала, близ пос. Кривая балка, на тысячелистнике (*Achillea millefolium* L., Asteraceae), 43°18'1109"N / 47°47'2409"E, 11.06.2022, вылет 29.VI.–3.VII.2022; Ахтинский район, окр. с. Ахты, на *A. filipendulina* Lam., 41°43'2342"N / 47°68'0522"E, 9.VI.2022, вылет 20.VI.2022.

Экология. Узкий олигофаг. Оранжевые личинки развиваются по одной в семянках, превращая их в личиночную камеру, которая деформируется и увеличивается в размерах. Окукливание и зимовка в семянках, полностью заполненных телом личинки. За год развивается 2 поколения.

Распространение. Голарктический, инвазивный в Северной Америке; Казахстан, Армения. Россия: Дагестан, Среднее Поволжье, Сибирь, Дальний Восток России [1; 5–8; 17; 26]. Ранее отмечался для фауны Дагестана [6]. Выявлено новое для данного вида кормовое растение (*Achillea filipendulina*).

***Ozирhincus longicollis* Rondani, 1840**

Материал. Дагестан, близ Махачкалы, пос. Кривая балка, выведен из корзинок трехреберника (*Tripleurospermum inodorum*, Asteraceae), 43°18'1109"N / 47°47'2409"E, 11.06.2022, вылет 29.VI.–3.VII.2022.

Экология. Широкий олигофаг, развивается в корзинках 12 видов растений из родов *Tripleurospermum* Sch. Bip., *Anthemis* L., *Leucanthemum* Mill., *Tanacetum* L. (Asteraceae) (Dorchin et al., 2015), которые снаружи выглядят неповрежденными. Личинки желто-оранжевые, развиваются во вздутых семянках, где окукливаются. Семена не формируются. За год развивается 2 поколения, окукливание личинок 2-го поколения происходит после зимовки. Встречается часто. Перспективен для контроля численности сорных растений.

Распространение. Широко распространен в Западной Палеарктике, Африке; иммигрант в Северной Америке, где широко встречается [44]. Россия: центр европейской части [4]; Среднее Поволжье. Впервые отмечен для фауны Кавказа и Дагестана.

Триба Dasineurini Rübsaamen et Hedicke, 1925

Род *Dasineura* Rondani, 1860

***Dasineura bayeri* (Rübsaamen, 1914) – Дазинеура Байера**

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, подножие Бархана Сарыкум, на гулявнике высоком (*Sisymbrium altissimum* L.), 43°00'4003"N / 47°23'6751"E, 14.06.2022.

Экология. Узкий олигофаг. Поверхность галлов, образующихся на *S. altissimum*, не покрыта жесткими сероватыми волосками (рис. 3 f), в отличие от галлов, развивающихся на *S. loeselii*. Галлы найдены растениях, произрастающих на бархане. Встречаются редко. Особенности биологии приводились ранее. Галлы почти полностью подавляют цветение и плодоношение на зараженных ими растениях [6].

Распространение. Западная Европа [3], Грузия. Россия: Среднее Поволжье. Евразия-азиатский. Дагестан: г. Махачкала, пойма р. Тарнаирка, на *S. loeselii* L. [6].

***Dasineura scorzonrifloris* Fedotova, 1996**

Материал. Дагестан, Махачкала, побережье, на козеле мелкоцветковом (*Scorzonera parviflora* Jacq., Asteraceae), 43°11'5698"N / 47°46'7042"E, 6.06.2022, вылет 8–17.VI.2022; близ пос. Кривая балка, 43°18'1109"N / 47°47'2409"E, 11.06.2022, вылет 12–14.VI; Кумторкалинский район, Бархан Сарыкум, 43°00'4003"N / 47°23'6751"E, 14.06.2022, галлы и личинки.

Экология. Монофаг. Личинки розовые, развиваются по 3–8 в нераскрывшихся корзинках, среди семян. Повреждения соцветий снаружи не видны. Окукливание в корзинках. Вероятно, личинки зимующего поколения окукливаются в почве. В году отмечено 2 поколения. Почти каждое растение повреждено личинками галлиц, но они встречаются лишь на отдельных соцветиях.

Распространение. Описан из Казахстана (хр. Тарбагатай, близ г. Аягуз) [45]. Впервые выявлен для фауны Кавказа, Дагестана и России. Панноно-казахстанский.

Род *Jaapiella* Rübsaamen, 1915

***Jaapiella chondrillae* Skuhřavá, 2005**

Материал. Дагестан, Буйнакский район, 10 км юго-западнее перевала Буйнакский, 42°91'3675"N / 47.2°1759"E, на хондрилле ситниковидной (*Chondrilla juncea* L.), 20.07.2021.

Экология. Монофаг. Оранжевые личинки развиваются в корзинках, между семян. Снаружи повреждения соцветий не заметны. Окукливание в почве. За год развивается 2–3 поколения.

Распространение. Турция, Франция, Австрия, Греция, Болгария [46]. Новый для России и Дагестана.

Род *Spurgia* Gagné, 1990

***Spurgia seguierianae* Fedotova, 1994**

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, подножие Бархана Сарыкум, на молочае Сегье (*Euphorbia seguieriana* Neck., Euphorbiaceae), 43°01'2887"N / 47°25'6758"E, 22.07.2021, вылет 30.07–9.08.

Экология. Монофаг. Личинки бледно-оранжевые, развиваются по 1–3 в конических галлах, образующихся вместо цветков (рис. 3 g). Части цветков полностью редуцируются, а просторная личиночная камера окружена конически сложенными в один ряд и сросшимися с боков маленькими листьями в форме прицветников. Окукливание в почве. За год развивается 2 поколения. Фаза куколки после зимовки продолжается

27–35 дней. Вылет 1-го поколения в конце июня, второго – в начале августа. Встречается в массе.

Распространение. Описан из Западного Казахстана, п-ов Бузачи в Каспийском море, 10 км северо-восточнее пос. Шебир [47]. Новый для России и Дагестана.

Триба Oligotrophini Rübsaamen et Hedicke, 1925

Род *Euphorbomyia* Fedotova, 1994

***Euphorbomyia loewii* (Mik, 1882)**

Материал. Дагестан, Кумторкалинский район, подножие Бархана Сарыкум, на молочае Сегье (*Euphorbia seguieriana* Neck., Euphorbiaceae), 43°00'4003"N / 47°23'6751"E, 14.06.2022, галлы.

Замечание. Вид переописан из Казахстана: Западный Казахстан, Приаральские Каракумы, 65 км с.-з. г. Новоказалинска; там же, близ г. Челкар [47].

Экология. Монофаг. Личинки светло-оранжевые, развиваются по 3–8 в конических или округлых створчатых галлах, образующихся вместо цветков. Створки галла напоминают прицветники, сходящиеся вместе на его верхушке и охватывающие единственную просторную личиночную камеру, в основании которой заметна деформированная недоразвитая завязь. По цвету галлы не отличаются от неповрежденных цветков. За год развивается 2 неполных поколения. Созревание галлов первого поколения наблюдается к концу мая, второго к концу июня. Окукливание в почве. Фаза куколки продолжается 9–25 дней. Встречается в массе.

Распространение. Широко отмечен в Европе: Франция, Германия, Республики Чехия и Словакия, Австрия, Венгрия, Румыния, Болгария, Украина, Казахстан. Новый для России и Дагестана.

Род *Marikovskiana* Fedotova, 1992

***Marikovskiana dentipes* (Marikovskij, 1961)**

Материал. Дагестан, Буйнакский район, 10 км юго-западнее перевала Буйнакский, в стеблевых галлах на *Tamarix ramosissima* Ledeb. (Tamaricaceae), 42°91'3675"N / 47°2'1759"E, 20.07.2021.

Экология. Оранжевые личинки образуют стеблевой вздутый галл на молодых побегах в виде маленького утолщения 12–15 мм длины, 6–8 мм ширины, покрытого маленькими светло-зеленоватыми и красноватыми листочками (рис. 3 h, i). Галл тонкостенный, с единственной камерой внутри. Окукливание в галле. За год развивается 2 поколения.

Распространение. Описан из Казахстана [5]. Выявлен в Армении, Китае [6; 8]. Новый для Дагестана. Ирано-туранский.

По нашим наблюдениям и сборам, проведенным в Дагестане, основу фауны галлообразователей составляют галлицы. Галлы большинства видов других галлообразователей, приведенных в данной статье, были обнаружены вместе с галлами галлиц на растениях, относящихся к одному или нескольким общим видам (табл. 1). Развитие на растениях галлов, принадлежащих галлицам, является индикатором возможного присутствия на них (тех же видов и родов) галлов других видов галлиц и иных представителей разнообразных систематических групп.

В Дагестане выявлено 29 видов растений из 23 родов и 12 семейств, на которых образуются разнообразные по форме и расположению на растении

галлы, принадлежащие разным систематическим группам галлообразователей. Всего выявлено 23 вида растений, на которых в Дагестане выявлено более 1 вида галлообразователей. Наибольшее разнообразие комплексов образовано галлами галлиц, которые представлены видами из одного или нескольких родов, повреждающими разные органы растений, например, из семейства *Amaranthaceae*.

Или встречаются на нескольких видах полыней (*Artemisia*, *Asteraceae*), шиповника и рябины (*Rubus*, *Sorbus*, *Rosaceae*). Также на ольхе (*Alnus*, *Betulaceae*) пока обнаружены только галловые клещи. В некоторых случаях галлообразователи из других систематических групп на этих растениях в Дагестане ещё не обнаружены, но обычны в других местообитаниях.



Рисунок 3. Галлы Cynipidae и Cecidomyiidae, найденные в Дагестане: а – листовые галлы *Neuroterus anthracinus* (Cynipidae) на *Quercus robur*; б, с, д – листовые галлы *N. quercusbaccarum* на *Quercus robur*; е – цветочные галлы *Contarinia* sp.1 (Cecidomyiidae) на *Matthiola caspica*; ф – *Dasineura bayeri* на *Sisymbrium altissimum*; г – цветочный галл *Spurgia seguierianae* на *Euphorbia seguieriana*; h, i – почковые галлы *Marikovskiana dentipes* на *Psectrosema ramosissima*

Figure 3. Galls of Cynipidae and Cecidomyiidae found in Dagestan: а – leaf galls of *Neuroterus anthracinus* (Cynipidae) on *Quercus robur*; б, с, д – leaf galls of *N. quercusbaccarum* on *Quercus robur*; е – flower galls of *Contarinia* sp.1 (Cecidomyiidae) on *Matthiola caspica*; ф – *Dasineura bayeri* on *Sisymbrium altissimum*; г – flower gall of *Spurgia seguierianae* on *Euphorbia seguieriana*; h, i – bud galls of *Marikovskiana dentipes* on *Psectrosema ramosissima*

Таблица 1. Комплексы насекомых и клещей, совместно развивающихся на растениях в Дагестане**Table 1.** Complexes of insects and mites developing together on plants in Dagestan

Семейство и род растения Family and genus of plants	Растение-хозяин Plant-host	Вид галлицы Species of gall midges	Виды других галлообразователей Species of other gall-formers
Amaranthaceae <i>Bassia</i>	<i>B. prostrata</i>	<i>Pseudokochiomyia mesasiatica</i> П, <i>P. viciae</i> П	
<i>Camphorosma</i>	<i>C. monspeliaca</i>	<i>Pseudokochiomyia camphorosmae</i> П, С; <i>Stefaniola</i> sp.	
<i>Kalidium</i>	<i>K. caspicum</i>	<i>Asiodiplosis hodukini</i> П, <i>Stefaniola harenosa</i> С, <i>Careopalpis harenosa</i> Л	
Asteraceae <i>Artemisia</i>	<i>A. austriaca</i>	<i>Dracunculomyia saissanica</i> П, <i>Seriphidomyia butakovi</i> П, <i>Navasiella</i> sp. П	Aphalaridae, Psyllidae
	<i>A. campestris</i>	<i>Boucheella artemisiae</i> Ц, <i>Dracunculomyia</i> sp. П	
<i>Chondrilla</i>	<i>C. juncea</i>	<i>Jaapiella chondrillaе</i> Ц, <i>Arthrocnodax chondrillaе</i>	<i>Aceria chondrillaе</i> (Eriophyidae, Trombiformes, Acari) Ц, П
Betulaceae <i>Alnus</i>	<i>A. glutinosa</i> Caern.		<i>Eriophyes brevitaris</i> Nal. Л, <i>E. laevis</i> Nal. Л
Euphorbiaceae <i>Euphorbia</i>	<i>E. seguieriana</i>	<i>Euphorbomyia loewii</i> Ц, П, <i>Spurgia seguierianaе</i> Ц	
Fagaceae <i>Fagus</i>	<i>F. orientalis</i> Lipsky	<i>Hartigiola annulipes</i> Л, <i>Mikiola fagi</i> Л, <i>Mikiola</i> sp. Л	<i>Aceria nervisequa</i> (Canestrini, 1891) Л
<i>Quercus</i>	<i>Q. robur</i>	<i>Macrodiplosis pustularis</i> Л, <i>M. roboris</i> Л	<i>Andricus curvator</i> Л, <i>Neuroterus anthracinus</i> Л, <i>N. baccarum</i> Л (Cynipidae)
Lamiaceae <i>Origanum</i>	<i>O. vulgare</i>	<i>Asphondylia hornigi</i> Ц, <i>Contarinia</i> sp. Ц, <i>Arthrocnodax origami</i> в галлах <i>Aceria labiatiflorae</i>	<i>Aceria labiatiflorae</i> (Eriophyidae) Ц
<i>Thymus</i>	<i>T. marschallianus</i> , <i>T. serpyllus</i>	<i>Asphondylia serpylli</i> Ц, <i>Arthrocnodax thymiphilus</i> Ц, П, Л	<i>Aceria thomasi</i> (Eriophyidae) Ц, П, Л
	<i>T. serpyllum</i>	<i>Janetiella thymi</i> Ц, П, Л; <i>Arthrocnodax thymiphilus</i> в галлах <i>Aceria thomasi</i>	<i>Aceria thomasi</i> (Eriophyidae)
<i>Teucrium</i>	<i>T. canum</i> , <i>T. chamaedrys</i> , <i>T. polium</i>	<i>Asphondylia</i> sp. Ц	<i>Copium teucrii</i> subsp. <i>teucrii</i> (Hemiptera, Tingidae) Ц
Oleaceae <i>Fraxinus</i>	<i>F. excelsior</i>	<i>Dasineura fraxini</i> Л	<i>Aceria fraxinivora</i> (Nalepa, 1909) (Eriophyidae) Л, <i>Psyllopsis fraxinicola</i> (Förster, 1848) (Hemiptera, Psyllidae) Л
Malvaceae <i>Tilia</i>	<i>Tilia dasystyla</i> subsp. <i>caucasica</i>	<i>Didymomyia reamuriana</i> ; <i>Contarinia tiliarum</i> , <i>Arthrocnodax</i> sp. в галлах <i>E. tiliae</i>	<i>Eriophyes tiliae</i> (Eriophyidae)
	<i>T. dasystyla</i>	<i>Contarinia tiliarum</i>	
Rubiaceae <i>Galium</i>	<i>Galium aparine</i>	<i>Dasineura aparine</i> П, С, Ц	
Rosaceae <i>Rosa</i>	<i>Rosa canina</i>	<i>Dasineura</i> , <i>Macrolabis</i>	<i>Diplolepis fructuum</i> Пл, <i>Diplolepis rosae</i> (Cynipidae) П
<i>Rubus</i>	<i>Rubus caesius</i>	<i>Lasioptera rubi</i> С, <i>Dasineura plicatrix</i> Л	
<i>Spiraea</i>	<i>Spiraea hypericifolia</i>	<i>Rosomyia spiraeae</i> Л, <i>Spiromyia cystiphorae</i> Л, <i>Tavolgomomyia karelini</i> Л <i>Cecidomyiidae</i> sp. П	
	<i>Sorbus</i> sp.		<i>Phyllocoptes sorbeus</i> (Eriophyidae) Л
Salicaceae <i>Salix</i>	<i>Salix alba</i>	<i>Iteomyia caprea</i> (Winnertz, 1853) Л, <i>Arthrocnodax saliciphilus</i> в галлах <i>A. tetranotrix</i> Л	<i>Aculus tetranotrix</i> (Eriophyidae) Л
<i>Populus</i>	<i>P. nigra</i>	<i>Harmandiola</i> sp. Л	<i>Pemphigus spirothecae</i> Л, <i>Pemphigus bursarius</i> (Hemiptera, Aphididae) Л
Tamaricaceae <i>Tamarix</i>	<i>T. ramosissima</i>	<i>Dasineura tamaricicarpa</i> Пл, <i>Marikovskiana dentipes</i> С, <i>Psectrosema</i>	<i>Eriophyes</i> sp. (Eriophyidae, Acari) П, <i>Colposcenia aliena</i>

	<i>barbatum</i> C, <i>P. turkmenicum</i> П	(Hemiptera, Aphalaridae)
<i>T. mayeri</i>	<i>Dasineura tamaricicarpa</i> Пл	<i>Colposcenia aliena</i> (Aphalaridae) П, <i>Eriophyes</i> sp. (Eriophyidae) П

Примечание: Типы галлов: Л – листовые, П – почковые, Пл – плодовые, С – стеблевые, Ц – цветочные

Note: Types of galls: Л – leafy, П – bud, Пл – fruit or seed, С – stem, Ц – flower

В комплексах галлообразователей, представленных видами клещей и насекомых разных отрядов, галлицы также широко встречаются и часто по разнообразию видов стоят на первом месте. Например, в комплексе галлообразователей липы (*Tilia*), гребенщика (*Tamarix*), таволги (*Spiraea*).

К доминирующим комплексам хозяев, галлы которых обычно соседствуют на растениях из общих, родственных и неродственных систематических групп, можно отнести галлиц, орехотворок, псиллид и клещей, которые вместе встречаются на тамариске, саксауле, дубе, иве и тополе.

Обилие галлов орехотворок и галлиц, образующихся на дубах, представлено преимущественно видами из родов, которые являются специфическими по отношению к родам растений-хозяев. В Дагестане среди галлообразователей, поражающих дубы, доминируют орехотворки. В меньшей степени эта связь прослеживается на примере их общего комплекса, отмеченного на шиповниках. Орехотворки здесь представлены видами из рода *Diplolepis*, характерного преимущественно для шиповников, тогда как виды галлиц, связанных с шиповником, относятся к неспецифическим крупным родам (*Dasineura*, *Macrolabis*, *Contarinia*). Данный пример свидетельствует о большей специфичности орехотворок по отношению к шиповникам, по сравнению с галлицами, т.к. специфические роды галлиц, развивающиеся на шиповниках, являются исключением.

Особый интерес представляет изучение трофических связей галлиц-хищников и инквилинов, а также паразитических перепончатокрылых, которых мы также рассматриваем в составе комплексов обитателей, которые образуют общее население галла, т. е. его биоценоз.

Более тесные эволюционные связи прослеживаются между галлообразователем-хозяином и личинками хищных галлиц, встречающихся в галлах клещей из сем. Eryophyidae. Виды клещей и галлиц рода *Arthrocnodax*, специфических по отношению к клещам, являются преимущественно узкими олигофагами по отношению к растению-хозяину. В свою очередь, хищные галлицы являются монофагами по отношению к видам Eryophyidae, и почти всегда встречаются в их галлах, часто образующихся на разных видах растений одного рода. Например, на разных видах подмаренника, ивы, липы, гребенщика и многих видах яснотковых (Lamiaceae). Особенности комплексного освоения растений специфическими видами из неродственных систематических групп перспективно для понимания коэволюционных связей, возникающих между разными галлообразователями и другим населением галлов в биоценозе одного вида растения.

Жизненные циклы галлиц-хищников ассоциированы с периодом галлообразования и их развития в галлах хозяина. Развитие происходит в 2-х или 3-х поколениях. Личинки незимующего поколения окукливаются в почве или в галлах, зимующего – в почве.

Примером полной зависимости развития личинок хищных галлиц от развития галлов клещей на растении является связь галлиц рода *Arthrocnodax* sp. с хозяином галла – липовым листовым клещем (*Eriophyes tiliae*), галлы которого в середине лета опадают на землю. Происходит завершение жизненных циклов галлообразователя и хищника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фауна галлиц и других галлообразователей в Дагестане очень слабо изучена. Выявление видового разнообразия населения галлов перспективно для изучения эволюционных связей между растениями и галлообразователями, с учетом данных по их общему распространению, трофическим связям, особенностям биологии и галлообразования. Необходимы дополнительные исследования по изучению фауны галлообразователей, развивающихся на редких и эндемичных растениях, и выявление дополнительных видов растений-хозяев кавказской флоры для широко распространенных фитофагов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы искренне признательны Р.А. Муртазалиеву за определение растений-хозяев галлиц; М.А. Мухтарову, С.М. Нахибашеву за организацию полевых поездок и помощь в сборе материала (г. Махачкала) и А.В. Каплиной (г. Санкт-Петербург) за помощь в сборе галлов и выведении имаго.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are sincerely grateful to R.A. Murtazaliev for identification of host plants for gall midges, M.A. Mukhtarov, S.M. Nakhbashev for organizing field trips and assistance in collecting material (Makhachkala) and A.V. Kaplina (St. Petersburg) for help in collecting galls and breeding adults.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Roskam J.C. Plant galls of Europe. Revision and translation of Herbert Bühr: keys to plant galls (Zoo- and Phytocecidia) of Central and Northern Europe. With revised references to Clodomir Houard: Zoocercidia of Europe and the Mediterranean Basin. 2019. V. 3, P. 2292.
2. Аникин В.В. Насекомые-галлообразователи Нижнего Поволжья и галлогенез растений // Бюллетень Самарская Лука. 2001. N 11. С. 262–271.
3. Gagné R.J., Jaschhof M. A Catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the World. 5th Edition. Digital. Copyright 2021. 813 p. URL: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80420580/Gagne_Jasc_hhof_2021_World_Cat_5th_Ed.pdf (дата обращения 30.07.2022)
4. 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. Двукрылые. Киев: Наукова думка, 1989. 168 с.

5. Федотова З.А. Галлицы-фитофаги (Diptera, Cecidomyiidae) пустынь и гор Казахстана: морфология, биология, распространение, филогения и систематика. Самара: Самарская ГСХА, 2000. 803 с.
6. Федотова З.А., Нахитбаева Г.М., Мухтарова Г.М., Гасангаджиева А.Г. Галлицы-фитофаги (Diptera, Cecidomyiidae) Дагестана: фауна, биология и распространение // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3. С. 35–53. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-35-53.
7. Ширяева Н.В. Членистоногие лесных насаждений Северного Кавказа и управление их численностью. Сочи, 2004. 253 с.
8. Белицкая М.Н., Грибуст И.Р., Блюм К.Я. Инвазивные вредители древесных растений сем. Fabaceae в насаждениях Нижневолжского региона // Научно агрономический журнал. 2019. N 3. С. 19–23. DOI: 10.34736/FNC.2019.106.3.006
9. Юркина Е.В., Пестов С.В. Возможности применения галлообразующих представителей членистоногих животных в качестве биоиндикаторов условий урбанизированной среды (на примере г. Сыктывкар) // Лесной вестник. 2017. Т. 21. N 3. С. 49–60.
10. Мартынов В.В., Никулина Т.В., Губин А.И., Левченко И.С. Новые и интересные находки членистоногих-фитофагов в зеленых насаждениях Донбасса. Сообщение VI // Промышленная ботаника. 2021. Вып. 21. N 1. С. 19–27.
11. Bruce T.J.A. Interplay between insects and plants: dynamic and complex interactions that have coevolved over millions of years but act in milliseconds // Journal of Experimental Botany. 2015. V. 166. N 2. С. 455–465.
12. Ellis W.N. Leafminers and plant galls of Europe. Plant Parasites of Europe – leafminers, galls and fungi. 2022, Amsterdam, The Netherlands. URL: <https://bladmineers.nl> (дата обращения: 21.07.2022).
13. Skuhravá M., Skuhravý V., Dengler K. Gall inducing and other gall midge species (Cecidomyiidae, Diptera) associated with oaks (*Quercus* spp.) (Fagaceae) in the Palaearctic Region. P. 1–11. In: Csóka G., Mattson W., Stone G., Price W. (editors): The biology of gall inducing arthropods. Gen. Tech. Rep. NC-199. St. Paul, MN: U.S. Dep. Agric., Forest Service, North Central Research Station, 1998. 329 p.
14. Федотова З.А. Формирование комплексов галлиц-фитофагов (Diptera, Cecidomyiidae) в соответствии с химизмом растений-хозяев // Труды Русского энтомологического общества. СПб. 2003. Т. 74. С. 81–94.
15. Веселова С.В., Нужная Т.В., Бурханова Г.Ф., Румянцев С.Д., Касимова А.Р., Максимов И.В. Роль фитогормонов в регуляции взаимодействий между растениями и патогенами, насекомыми-вредителями, вирусами // Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием «Экобиотех 2021», Уфа, 4–7 октября, 2021. С. 124–128. URL: <http://ib.anrb.ru/ebt2021/ecobiotech2021.pdf> (дата обращения: 30.07.2022)
16. Слепян Э.И. Патологические новообразования и их возбудители у растений. Галлогенез и тератогенез. Л.: Наука, 1973. 502 с.
17. Mattson W.J. Insect pests of Populus: coping with the inevitable. Poplar culture in North America // National Research Council of Canada Research Press. 2001. Chapter 7. P. 219–248.
18. Синчук Н.В., Курченко В.П. Устойчивость различных видов тополей (*Populus* spp.) к заболеваниям и комплексу вредителей. Роль фитогормонов в регуляции взаимодействий между растениями и патогенами, насекомыми-вредителями, вирусами // Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием «Экобиотех 2021», Уфа, 4–7 октября, 2021. С. 155–160.
19. Фёдорова О.А., Савчук Д.А. Влияние экологических факторов на радиальный прирост тополя бальзамического в г. Томске // Вестник КрасГАУ. 2013. N 3. С. 84–90.
20. Федотова З.А. Фауна, трофические связи и распространение галлиц (Diptera, Cecidomyiidae), развивающихся на растениях класса гнетовых (Gnetopsida) // Промышленная ботаника. 2019. Вып. 19. N 3. С. 27–39.
21. Федотова З.А. Фауна, трофические связи и распространение галлиц (Diptera, Cecidomyiidae), развивающихся на таволгах (*Spiraea*, Rosaceae) // Материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции 30 октября 2019. К 15-летию Ставропольского отделения Русского энтомологического общества РАН. Ставрополь: Параграф, 2019. С. 4–19.
22. Федотова З.А. Фауна, трофические связи и распространение галлиц (Diptera, Cecidomyiidae), развивающихся на сливах (*Prunus*) // Труды Ставропольского отделения Русского энтомологического общества. Ставрополь: Параграф, 2020. Вып. 16. С. 5–25.
23. Федотова З.А. Формирование комплексов галлиц (Diptera, Cecidomyiidae) при их совместном развитии в галлах // Труды Ставропольского отделения Русского энтомологического общества. Ставрополь: Параграф, 2020. Вып. 16. С. 25–33.
24. Виб Е.П., Федотова З.А., Крекова Я.А. Саксауловые насаждения Кызылкумов: методология, галлообразователи и вопросы селекционной оценки. Практическое пособие. Костанай: Принт Центр, 2022. 108 с.
25. Митяев И.Д., Яценко Р.В. Насекомые вредители тамариска в Юго-Восточном Казахстане. Алматы, «Thethis», 2007. 184 с.
26. Федотова З.А. Фауна, трофические связи и морфо-функциональные адаптации галлиц (Diptera, Cecidomyiidae), образующих паренхимные листовые галлы на древесно-кустарниковых растениях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 228. С. 146–188. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.228.146-188.
27. Федотова З.А. Разнообразие, трофические связи, распространение и эволюционные особенности галлиц-инквилинов (Diptera, Cecidomyiidae) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 236. С. 69–100. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.236.69-100.
28. Kadono F., Takei M., Kubota K., Hörweg C., Kagiwada S. Supplementary descriptions of seven eriophyoid mite species (Acari: Eriophyoidea) recovered from the Viennese Nalepa collection and comparison with Japanese species // Acarologia. 2022. V. 62. N 2. P. 273–301. DOI: 10.24349/z3ie-bf78
29. Федотова З.А. Новые виды галлиц (Diptera, Cecidomyiidae) со сложноцветных (Asteraceae) из Казахстана // Бюлель МОИП. Отделение биологическое. 1998. Т. 103. Вып. 1. С. 28–37.
30. Chetverikov Ph.E., Desnitskiy A.G., Letukhova V.Yu., Ozman-Sullivan S.K., Romanovich A.E., Sarratt J.V., Sukhareva S.I. A new species, new records, and DNA barcodes of eriophyine mites (Eriophyidae, Eriophyinae) from southeast Crimea and remarks on ability to form galls in conspecific eriophyoids // Systematic and Applied Acarology. 2021. V. 26. N 9. P. 1721–1734.
31. Skuhravá, M.; Sobhian, R. *Jaapiella chondrillae* sp. nov. (Diptera: Cecidomyiidae), a new gall midge species developing in flower heads of *Chondrilla juncea* (Asteraceae) in Turkey // Acta Societatis Zoologicae Bohemicae. 2004. V. 68. N 3. P. 235–240.
32. Fauna Europaea. URL: <https://fauna-eu.org> (дата обращения: 21.06.2023).
33. Федотова З.А. Новые виды галлиц рода *Arthrocnodax* Rübsaamen (Diptera, Cecidomyiidae) из Казахстана // Selevinia. 1995. N 1. С. 10–26.

34. Skoracka A., Lewandowski M., Boczek J. A catalogue of eriophyoid mites (Acari: Eriophyoidea) of Poland // *Catalogus faunae Poloniae*. New series. 2005. N 1. 199 p.
35. Петров Д.Л. Эриофиоидные клещи (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) Беларуси: аннотированный список. Глобальная база данных по биоразнообразию // Сборник материалов I Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития в Беларуси, Латвии и Литве» / ответственный редактор Бородин О.И. Минск: А.Н. Вараксин, Минск, 16–19 ноября, 2021. С. 163–187.
36. Garcia-Guinea J., Jorge A., Tormo L., Furio M., Crespo-Feo E., Correcher V., Prado-Herrero P., Soria A.C., Sanz J., Nieves-Aldrey J.L. Ossification vesicles with calcium phosphate in the eyes of the insect *Copium teucii* (Hemiptera: Tingidae) // *The Scientific World Journal*. 2011. N 11. P. 186–198. DOI 10.1100/tsw.2011.9.
37. Babichev N., Kirichenko N. Diversity and distribution of gall-forming aphids of the genus *Pemphigus* (Sternorrhyncha: Aphididae, Pemphigini) in Eastern Siberia // *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 2020. V. 13. N 1. P. 339–348. DOI: 10.1016/j.japb.2020.07.002
38. Баранчиков Ю.Н., Бабищев Н.С. Особенности развития тли *Pemphigus spyrothecae* Passerini (Homoptera: Aphididae) в тополевых насаждениях г. Красноярск // *Лесной вестник*. 2006. N 2. С. 59–63.
39. Drohojowska J., Burckhardt D. The jumping plant-lice (Hemiptera: Psyllodea) of Turkey: a checklist and new records // *Turkish journal of zoology*. 2014. V. 38. P. 559–568. DOI: 10.3906/zoo-1307-15
40. Lauter P., Burckhardt D. Contribution to the knowledge of Algerian jumping plant-lice (Homoptera, Psyllodea) // *Archs Sci. Geneve*. 1994. V. 47. N 1. P. 9–14.
41. Белокобыльский С.А., Самарцев К.Г., Ильинская А.С. (Ред.). Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России. Том II, Наездники-паразитиды (Aparicita: Parasitica) // *Труды Зоологического института РАН*, 2019. Вып. 323 (Приложение 8). 594 с. DOI: 10.31610/trudyzin/2019.supl.8.5
42. Федотова З.А. Галлицы (Diptera, Cecidomyiidae) с крестоцветных (обзор фауны Палеарктики с описанием новых видов из Казахстана). Сообщение 2 // *Зоологический журнал*. 1994. Т. 73. Вып. 4. С. 79–90.
43. Ермолаев И.В., Пономарев В.И., Васильев А.А., Кумаева М.С. Насекомые-фитофаги дуба черешчатого (*Quercus robur*) на северо-востоке его ареала // *Зоологический журнал*. 2021. Т. 100. Вып. 6. С. 640–651. DOI: 10.31857/S0044513421040048
44. Dorchin N., Freidberg A. The gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Apiaceae in Israel // *Zootaxa*. 2011. V. 3044. N 1. P. 28–48. DOI: 10.11646/zootaxa.3044.1.2
45. Федотова З.А. Новые виды цветочных галлиц (Diptera, Cecidomyiidae) из Казахстана // *Вестник зоологии*. 1996. N 4–5. С. 8–15.
46. Skuhravý M., Sobhian, R. *Jaapiella chondrillae* sp. nov. (Diptera: Cecidomyiidae), a new gall midge species developing in flower heads of *Chondrilla juncea* (Asteraceae) in Turkey // *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 2004. V. 68. N 3. P. 235–240.
47. Федотова З.А. Галлицы (Diptera, Cecidomyiidae), повреждающие молочай (*Euphorbia* spp.) в Казахстане // *Энтомологическое обозрение*. 1994. Т. 73. Вып. 2. С. 447–464.
2. Anikin V.V. Gall-forming insects of the Lower Volga region and plant halogenesis. Byulleten' Samarskaya Luka [Bulletin Samarskaya Luka]. 2001, no. 11, pp. 262–271. (In Russian)
3. Gagné R.J., Jaschhof M.A. Catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the World. 5th Edition. Digital. Copyright 2021, 813 p. Available at: https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/80420580/Gagne_Jasc_hhof_2021_World_Cat_5th_Ed.pdf (accessed 30.07.2022)
4. Kolomojets T.P., Mamayev B.M., Zerova M.D., Narchuk E.P., Yermolenko V.M., D'yakonchuk L.A. *Nasekomye – galloobrazovately kul'turnykh i dikorastushchikh rastenii evropeiskoi chasti SSSR. Dvukrylye* [Insects are gall formers of cultivated and wild plants in the European part of the USSR. Diptera]. Kiev, Scientific opinion Publ., 1989. 168 p. (In Russian)
5. Fedotova Z.A. *Gallitsy-fitofagi (Diptera, Cecidomyiidae) pustyn' i gor Kazakhstana: morfologiya, biologiya, rasprostraneniye, filogeniya i sistematika* [Gall midges-phytophages (Diptera, Cecidomyiidae) of deserts and mountains of Kazakhstan: morphology, biology, distribution, phylogeny and systematics]. Samara, Samara State Agricultural Academy Publ., 2000, 803 p. (In Russian)
6. Fedotova Z.A., Nakhibasheva G.M., Mukhtarova G.M., Gasangadzheva A.G. Phytophagous gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) of Dagestan: fauna, biology and distribution. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 35–53. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-35-53>
7. Shirayeva N.V. *Chlenistonogiye lesnykh nasazhdeniy Severnogo Kavkaza i upravleniye ikh chislennost'yu* [Arthropods of forest plantations of the North Caucasus and their populations management]. Sochi, 2004. 253 p. (In Russian)
8. Belitskaya M.N., Gribust I.R., Blyum K.Ya. Invasive plants of woody plants family Fabaceae in the plantations of Lower Volga region. *Scientific agronomic journal*, 2019, no. 3, pp. 19–23. DOI: 10.34736/FNC.2019.106.3 (In Russian)
9. Yurkina Ye.V., Pestov S.V. Possibilities of using gall-forming representatives of arthropods as bioindicators of urban environment conditions (on the example of Syktyvkar). *Forest bulletin*, 2017, vol. 21, no. 3, pp. 49–60. (In Russian)
10. Martynov V.V., Nikulina T.V., Gubin A.I., Levchenko I.S. New and interesting findings of arthropod-phytophages in the green spaces of Donbass. Report VI. *Promyshlennaya botanika* [Industrial botany]. 2021, iss. 21, no. 1, pp. 19–27. (In Russian)
11. Bruce T.J.A. Interplay between insects and plants: dynamic and complex interactions that have coevolved over millions of years but act in milliseconds. *Journal of Experimental Botany*. 2015, vol. 166, no. 2, pp. 455–465.
12. Ellis W.N. Leafminers and plant galls of Europe. Plant Parasites of Europe – leafminers, galls and fungi. 2022, Amsterdam, The Netherlands. Available at: <https://bladmineerders.nl> (accepted 21.07.2022)
13. Skuhravý M., Skuhravý V., Dengler K. Gall inducing and other gall midge species (Cecidomyiidae, Diptera) associated with oaks (*Quercus* spp.) (Fagaceae) in the Palaearctic Region, pp. 1–11. In: Csóka G., Mattson W., Stone G., Price W. (editors): The biology of gall inducing arthropods. *Gen. Tech. Rep. NC-199*. St. Paul, MN: U.S. Dep. Agric., Forest Service, North Central Research Station. 1998, 329 p.
14. Fedotova Z.A. Formation of gall midge-phytophage complexes (Diptera, Cecidomyiidae) in accordance with the chemistry of host plants. In: *Trudy Russkogo entomologicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Russian Entomological Society]. SPb, 2003, vol. 74, pp. 81–94. (In Russian)
15. Veselova S.V., Nuzhnaya T.V., Burkhanova G.F., Rumyantsev S.D., Kasimova A.R., Maksimov I.V. Rol' fitogormonov v regulatsii vzaimodeistvii mezhdu rasteniyami i patogenami, nasekomymi-vreditel'nyami, virusami [The role of phytohormones in the regulation of interactions between plants and pathogens,

REFERENCES

1. Roskam J.C. Plant galls of Europe. Revision and translation of Herbert Buhr: keys to plant galls (Zoo- and Phytocecidia) of Central and Northern Europe. with revised references to Clodomir Houard: Zooecidia of Europe and the Mediterranean Basin. 2019, vol. 3, 2292 p.

- insect pests, viruses]. *Materialy VII Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Ekobiotech 2021»*, Ufa, 4–7 oktyabrya 2021 [Materials of the VII All-Russian Conference with international participation "Ecobiotech 2021", Ufa, 4–7 October 2021]. Ufa, 2021, pp. 124–128. (In Russian) Available at: <http://ib.anrb.ru/ebt2021/ecobiotech2021.pdf> (accessed 30.07.2023)
16. Slepian E.I. *Patologicheskie novoobrazovaniya i ikh vzbuditeli u rastenii. Gallogenez i teratogenez* [Pathological neoplasms and their pathogens in plants. Gallogenesis and teratogenesis]. Leningrad, Nauka Publ., 1973, 502 p. (In Russian)
17. Mattson W.J. Insect pests of Populus: coping with the inevitable. Poplar culture in North America [National Research Council of Canada Research Press]. 2001, ch. 7, pp. 219–248.
18. Sinchuk N.V., Kurchenko V.P. Ustoichivost' razlichnykh vidov topolei (Populus ssp.) k zabolevaniyam i kompleksu vreditelei. Rol' fitogormonov v regulyatsii vzaimodeistvii mezhdu rasteniyami i patogenami, nasekomymi-vreditelyami, virusami [Resistance of various poplar species (Populus ssp.) to diseases and pest complex. The role of phytohormones in the regulation of interactions between plants and pathogens, insect pests, viruses]. *Materialy VII Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Ekobiotech 2021»*, Ufa, 4–7 oktyabrya 2021 [Materials of the VII All-Russian Conference with international participation "Ecobiotech 2021", Ufa, 4–7 October 2021]. 2021, pp. 155–160. (In Russian)
19. Fedorova O.A., Savchuk D.A. The influence of environmental factors on the radial growth of balsamic poplar in the city of Tomsk. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of the KrasSAU]. 2013, no. 3, pp. 84–90. (In Russian)
20. Fedotova Z.A. Fauna, trophic relations and distribution of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) developing on plants of the Gnetopsida class. *Promyshlennaya botanika* [Industrial Botany]. 2019, iss. 19, no. 3, pp. 27–39. (In Russian)
21. Fedotova Z.A. Fauna, troficheskie svyazi i rasprostranenie gallits (Diptera, Cecidomyiidae), razvivayushchikhsya na tavolgakh (Spiraea, Rosaceae) [Fauna, trophic relationships and distribution of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) developing on meadowsweet (Spiraea, Rosaceae)]. *Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii 30 oktyabrya 2019. K 15-letiyu Stavropol'skogo otdeleniya Russkogo entomologicheskogo obshchestva RAN* [Materials of the XII International Scientific and Practical Internet Conference on October 30, 2019 To the 15th anniversary of the Stavropol Branch of the Russian Entomological Society of the Russian Academy of Sciences]. Stavropol', Paragraf Publ., 2019, vol. 15, pp. 4–19. (In Russian)
22. Fedotova Z.A. Fauna, trophic relations and distribution of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) developing on plum trees (*Prunus*). In: *Trudy Stavropol'skogo otdeleniya Russkogo entomologicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Stavropol Branch of the Russian Entomological Society]. Stavropol', Paragraf Publ., 2020, iss. 16, pp. 5–25. (In Russian)
23. Fedotova Z.A. Formation of complexes of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) during their joint development in galls. In: *Trudy Stavropol'skogo otdeleniya Russkogo entomologicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Stavropol Branch of the Russian Entomological Society]. Stavropol', Paragraf Publ., 2020, vol. 16, pp. 25–33. (In Russian)
24. Vibe Ye.P., Fedotova Z.A., Krekova. *Saksaulovye nasazhdeniya Kyzylkumov: metodologiya, galloobrazovateli i vyzpasy selektsionnoi otsenki* [Saxaul plantings of Kyzylkums: methodology, gallo-formers and selection evaluation issues]. Kostanay, Print Tsentrl Publ., 2022, 108 p. (In Russian)
25. Mityaev I.D., Yashchenko R.V. *Nasekomye vrediteli tamariska v Yugo-Vostochnom Kazakhstane* [Insect pests of tamarisk in South-Eastern Kazakhstan]. Almaty, Thethis Publ., 2007, 184 p. (In Russian)
26. Fedotova Z.A. Fauna, trophic relationships and morphological and functional adaptations of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) forming parenchymal leaf galls on trees and shrubs. *News of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2019, iss. 228, pp. 146–188. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.228. (In Russian)
27. Fedotova Z.A. Diversity, trophic relationships, distribution and evolutionary features of inquiline gall midges (Diptera, Cecidomyiidae). *News of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2021, iss. 236, pp. 69–100. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.236.69-100. (In Russian)
28. Kadono F., Takei M., Kubota K., Hörweg C., Kagiwada S. Supplementary descriptions of seven eriophyoid mite species (Acari: Eriophyoidea) recovered from the Viennese Nalepa collection and comparison with Japanese species. *Acarologia*, 2022, vol. 62, no. 2, pp. 273–301. DOI: 10.24349/z3ie-bf78
29. Fedotova Z.A. New species of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) from Compositae (Asteraceae) from Kazakhstan. *Byullen' MOIP. Otdelenie biologicheskoe* [MOIP Bulletin. Biological department]. 1998, vol. 103, iss. 1, pp. 28–37. (In Russian)
30. Chetverikov Ph.E., Desnitskiy A.G., Letukhova V.Yu., Ozman-Sullivan S.K., Romanovich A.E, Sarratt J.V., Sukhareva S.I. A new species, new records, and DNA barcodes of eriophyine mites (Eriophyidae, Eriophyinae) from southeast Crimea and remarks on ability to form galls in conspecific eriophyoids. *Systematic and Applied Acarology*. 2021, vol. 26, no. 9, pp. 1721–1734.
31. Skuhrová M.; Sobhian R. *Jaapiella chondrillae* sp. nov. (Diptera: Cecidomyiidae), a new gall midge species developing in flower heads of *Chondrilla juncea* (Asteraceae) in Turkey. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 2004, vol. 68, no. 3, pp. 235–240.
32. Fauna Europaea. Available at: <https://fauna-eu.org> (accessed 21.06.2023)
33. Fedotova Z.A. New species of gall midges of the genus *Arthrocnodax* Rübsaamen (Diptera, Cecidomyiidae) from Kazakhstan. *Selevinia*. 1995, no. 1, pp. 10–26. (In Russian)
34. Skoracka A., Lewandowski M., Boczek J. A catalogue of eriophyoid mites (Acari: Eriophyoidea) of Poland. *Catalogus faunae Poloniae*. New series. 2005, no. 1, 199 p.
35. Petrov D.L. Eriofoidnye kleshchi (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) Belarusi: annotirovannyi spisok. Global'naya baza dannykh po bioraznoobraziyu [Eriophyoid mites (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) of Belarus: an annotated list]. *Sbornik materialov I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye tendentsii razvitiya v Belarusi, Latvii i Litve»*, Minsk, 16–19 noyabrya 2021 [Collection of materials of the I International Scientific and Practical Conference "Current development trends in Belarus, Latvia and Lithuania", Minsk, 16–19 November 2021]. Minsk, 2021, pp. 163–187. (In Russian)
36. Garcia-Guinea J., Jorge A., Tormo L., Furio M., Crespo-Feo E., Correcher V., Prado-Herrero P., Soria A.C., Sanz J., Nieves-Aldrey J.L. Ossification vesicles with calcium phosphate in the eyes of the insect *Copium teucarii* (Hemiptera: Tingidae). *The Scientific World Journal*, 2011, no. 11, pp. 186–198. DOI: 10.1100/tsw.2011.9
37. Babichev N., Kirichenko N. Diversity and distribution of gall-forming aphids of the genus *Pemphigus* (Sternorrhyncha: Aphididae, Pemphigini) in Eastern Siberia. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 339–348. DOI: 10.1016/j.japb.2020.07.002
38. Baranchikov Yu.N., Babichev N.S. Peculiarities of development of the aphid *Pemphigus spyrothecae* Passerini (Homoptera: Aphididae) in poplar plantations in Krasnoyarsk. *Lesnoi vestnik* [Forest Herald]. 2006, no. 2, pp. 59–63. (In Russian)
39. Drohojowska J., Burckhardt D. The jumping plant-lice (Hemiptera: Psyllodea) of Turkey: a checklist and new records. *Turkish journal of zoology*, 2014, vol. 38, pp. 559–568. DOI: 10.3906/zoo-1307-15

40. Lauter P., Burckhardt D. Contribution to the knowledge of Algerian jumping plant-lice (Homoptera, Psylloidea). Archs Science. Geneve. 1994, vol. 47, no. 1, pp. 9–14.
41. Belokobyl'skii S.A., Samartsev K.G., Il'inskaya A.S. (ed.). Annotated catalog of hymenopterous insects of Russia. Volume II, Parasitoid Riders (Apocrita: Parasitica). *Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences*, 2019, iss. 323, 594 p. DOI: 10.31610/trudyzin/2019.supl.8.5 (In Russian)
42. Fedotova Z.A. Gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) from Brassicaceae (a review of the Palearctic fauna with a description of new species from Kazakhstan). Report 2. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal]. 1994, vol. 73, iss. 4, pp. 79–90. (In Russian)
43. Ermolaev I.V., Ponomarev V.I., Vasil'ev A.A., Kumaeva M.S. Phytophagous insects of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the northeast of its range. *Zoological journal*, 2021, vol. 100, iss. 6, pp. 640–651. DOI: 10.31857/S0044513421040048 (In Russian)
44. Dorchin N., Freidberg A. The gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Apiaceae in Israel. *Zootaxa*, 2011, vol. 3044, no. 1, pp. 28–48. DOI: 10.11646/zootaxa.3044.1.2
45. Fedotova Z.A. New species of flower gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) from Kazakhstan. *Vestnik zoologii* [Bulletin of zoology]. 1996, no. 4–5, pp. 8–15. (In Russian)
46. Skuhřavá, M., Sobhian, R. *Jaapiella chondrillae* sp. nov. (Diptera: Cecidomyiidae), a new gall midge species developing in flower heads of *Chondrilla juncea* (Asteraceae) in Turkey. [Acta Societatis Zoologicae Bohemicae]. 2004, vol. 68, no. 3, pp. 235–240.
47. Fedotova Z.A. Gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) damaging spurges (*Euphorbia* spp.) in Kazakhstan. *Entomologicheskoye obozreniye* [Entomological Review]. 1994, vol. 73, iss. 2, pp. 447–464. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Зоя А. Федотова, Гюльнара М. Нахибашева, Гюльнара М. Мухтарова, Керим С. Бекшоков и Азиза Г. Гасангаджиева приняли участие в сборе галлов, выведении имаго и провели анализ полученных данных. Зоя А. Федотова определила видовой состав галлиц 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

Zoya A. Fedotova, Gulnara M. Nakhibasheva, Gulnara M. Mukhtarova, Kerim S. Bekshokov and Aziza G. Gasangadzhieva took part in the collection of galls, rearing adults and analysing the data obtained. Zoya A. Fedotova determined the species composition of gall midges and wrote the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Зоя А. Федотова / Zoya A. Fedotova <https://orcid.org/0000-0002-8888-5979>
 Гюльнара М. Нахибашева / Gulnara M. Nakhibasheva <https://orcid.org/0000-0001-9356-9033>
 Гюльнара М. Мухтарова / Gulnara M. Mukhtarova <https://orcid.org/0000-0001-8232-2115>
 Керим С. Бекшоков / Kerim S. Bekshokov <https://orcid.org/0000-0003-0736-1522>
 Азиза Г. Гасангаджиева / Aziza G. Gasangadzhieva <https://orcid.org/0000-0002-7210-6571>

Оригинальная статья / Original article
УДК 632.754.1:575.174
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-28-38



Генетическая изменчивость грушевой кружевницы *Stephanitis pyri* F. (Heteroptera: Tingidae) в Краснодарском крае

Екатерина Н. Беседина¹, Владимир И. Киль²

¹Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

²Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Екатерина Н. Беседина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, сектор биотехнологии, Федеральный научный центр биологической защиты растений; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о 39.
Тел. +79183414083
Email katrina7283@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9976-5614>

Формат цитирования

Беседина Е.Н., Киль В.И. Генетическая изменчивость грушевой кружевницы *Stephanitis pyri* F. (Heteroptera: Tingidae) в Краснодарском крае // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 28-38. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-28-38

Получена 24 июня 2023 г.

Прошла рецензирование 30 июля 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель – изучение генетической изменчивости грушевой кружевницы *Stephanitis pyri* F. в зависимости от географического положения и трофической специализации.

Материал и методы. Объектом исследований являлись выборки насекомых ($n=60$) из природной популяции грушевой кружевницы *Stephanitis pyri* F. (Tingidae: Heteroptera) в Краснодарском крае: гг. Краснодар, Кропоткин, Новороссийск. Сбор клопов *S. pyri* осуществляли на модельных деревьях яблони домашней (*Malus domestica* Borkh) и вишни обыкновенной (*Prunus cerasus* L.). Молекулярно-генетический анализ проводили в несколько этапов: пробоподготовка, экстракция ДНК, диагностика на основе RAPD (random amplified polymorphic DNA)-ПЦР (амплификация ДНК).

Результаты. С помощью молекулярно-генетических маркеров изучена генетическая изменчивость грушевой кружевницы в Краснодарском крае. Рассчитаны показатели генетической дифференциации между географическими ($Gst=0,209$) и трофическими ($Gst=0,049-0,302$) внутривидовыми группами *S. pyri*. Определены уровни изменчивости внутри географических (79,1 %) и трофических группировок (70,0–95,1 %), а также между ними – 20,9 % и 4,9–30 %, соответственно. Показано влияние пищевого фактора на генетическое разнообразие и дифференциацию популяций насекомых на примере кропоткинской трофической группировки клопов, предпочитающих в качестве основного кормового растения вишню обыкновенную *P. cerasus*.

Заключение. Отмечен небольшой эффект изоляции расстоянием, который характеризовался слабой зависимостью географических и генетических расстояний между популяционными группами грушевой кружевницы. Установлено влияние пищевого фактора на генетическую изменчивость популяций фитофагов, что подтверждается другими исследователями.

Ключевые слова

Насекомые, грушевая кружевница *Stephanitis pyri* F., трофическая специализация, ПЦР, генетическое разнообразие, генетическая дифференциация.

Genetic variability of the pear lace bug *Stephanitis pyri* F. (Heteroptera: Tingidae) in Krasnodar Territory, Russia

Ekaterina N. Besedina¹ and Vladimir I. Kil²

¹Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

²Kuban State University, Krasnodar, Russia

Principal contact

Ekaterina N. Besedina, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Sector of Biotechnology, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Russia 350039. Tel. +79183414083

Email katrina7283@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9976-5614>

How to cite this article

Besedina E.N., Kil V.I. Genetic variability of the pear lace bug *Stephanitis pyri* F. (Heteroptera: Tingidae) in Krasnodar Territory, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 28–38. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-28-38

Received 24 June 2023

Revised 30 July 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. Study of the genetic variability of the pear lace bug *Stephanitis pyri* F. depending on geographical location and trophic specialization.

Material and Methods. The object of the study was insect samples (n=60) from the natural population of the pear lace bug *Stephanitis pyri* F. (Tingidae: Heteroptera) in the Krasnodar Territory: in Krasnodar, Kropotkin and Novorossiysk. The collection of *S. pyri* bugs was carried out on model trees of domestic apple (*Malus domestica* Borkh) and sour cherry (*Prunus cerasus* L.). Molecular genetic analysis was carried out in several stages: sample preparation, DNA extraction, and diagnostics based on RAPD (random amplified polymorphic DNA)-PCR (DNA amplification).

Results. With the help of molecular genetic markers, the genetic variability of the pear lace bug in the Krasnodar Territory was studied. The indicators of genetic differentiation between geographic (Gst=0.209) and trophic (Gst=0.049–0.302) intrapopulation groups of *S. pyri* were calculated. The levels of variability were determined within geographic (79.1 %) and trophic groups (70.0–95.1 %), as well as between them – 20.9 % and 4.9–30 %, respectively. The influence of the food factor on the genetic diversity and differentiation of insect populations is shown through the example of the Kropotkin trophic group of bugs that prefer the sour cherry *P. cerasus* as the main food plant.

Conclusion. A small effect of isolation by distance was noted, which was characterized by a weak dependence of geographical and genetic distances between the population groups of the pear lace bug. The influence of the nutritional factor on the genetic variability of phytophages populations has been established, as is confirmed by other researchers.

Key Words

Insects, pear lace bug *Stephanitis pyri* F., trophic specialization, PCR, genetic diversity, genetic differentiation.

ВВЕДЕНИЕ

Грушевый клоп (кружевница грушевая) *Stephanitis pyri* Fabricius, 1775 – палеарктический вид семейства кружковидных (Heteroptera: Tingidae). Клоп повреждает семечковые и косточковые культуры семейства розоцветные (Rosaceae), преимущественно яблоню (*Malus* P. Mill.), айву (*Cydonia* Mill.), грушу (*Pyrus* L.), боярышник (*Crataegus* Tourn. ex L.), сливу (*Prunus domestica* L.), вишню (*Prunus cerasus* L.), абрикос (*Prunus armeniaca* L.), в лесостепной зоне вредит лесным породам деревьев и кустарников [1–4]. Ареал вредителя включает южные районы Восточной Европы, центральные и южные районы Западной Европы, Кавказ,

Среднюю и Малую Азию, Северную Африку [1; 2; 4]. В лесостепной зоне развивается 1 генерация вредителя, в южной степной зоне и Крыму – 2, на юге Украины, в Закавказье и Средней Азии – 2–3 [1; 4].

Питание клопов клеточным соком листьев растений приводит к развитию хлороза и преждевременной дефолиации (рис. 1). Это, в свою очередь, нарушает нормальный рост и развитие растений, прекращает образование плодовых почек, что резко снижает урожайность [2; 4]. Более того, на вишне и груше отмечались случаи полного оголения и отмирания побегов [4].



Рисунок 1. Грушевая кружевница. А – имаго и яйцекладка; В – имаго новой генерации вредителя, личинки и экскременты

Figure 1. Pear lace bug. A – adults and egg-laying; B – adults of the new generation of the pest, larvae and excrement

Знание структуры популяции того или иного фитофага, ареала, занимаемого популяцией, и закономерностей изменчивости популяций важно для управления популяциями в агроценозах при разработке стратегий борьбы с вредителями. Технология молекулярных маркеров с успехом используется для изучения микроэволюционных процессов, генетической структуры популяций и взаимодействий между популяциями, что позволяет определить популяционную структуру (пространственную, временную и др.), выявить пути расселения вредных видов, выяснить, насколько популяции связаны между собой потоком генов, оценить внутривидовое генетическое разнообразие. Для грушевой кружевницы это является актуальным в связи с недавней инвазией на территории Северного Кавказа клопа дубовая кружевница *Corythucha arcuata* Say [5]. Необходим мониторинг состояния вида *S. pyri* в зависимости от меняющихся условий среды, в том числе в результате конкуренции с новым для фауны Краснодарского края видом за источники питания в условиях их перекрывающихся экологических ниш, так как дубовая кружевница также повреждает плодовые культуры семейства розоцветные [6–8].

Для *S. pyri* использование ДНК-технологий известно лишь в исследованиях по филогенетике.

Авторами изучался комплекс морфологических и молекулярных признаков, для чего использовался анализ нуклеотидной последовательности митохондриальных (16SrDNA, COI, COII, 12SrRNA и cyt b) и ядерных (28SrDNA) генов [9]. Нами также ранее проводился сравнительный молекулярно-генетический анализ 4 видов клопов-кружковидных, среди которых *S. pyri*, по RAPD-маркерам с целью определения их генетического родства [10]. Кроме того, нами оценивалась генетическая структура различных географических популяций инвазивных видов семейства Tingidae платановой и дубовой кружковидных [11; 12]. В то же время анализ структуры популяций грушевой кружковидной, различающихся географически и пищевой специализацией, не проводился. Поэтому целью данных исследований являлось изучение генетической изменчивости грушевой кружковидной *S. pyri* в зависимости от географического положения и трофической специализации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являлись выборки насекомых (n=60) из природной популяции грушевой кружковидной *Stephanitis pyri* F. (Tingidae: Heteroptera) в Краснодарском крае: гг. Краснодар, Кропоткин, Новороссийск. Сбор

клопов *S. pyri* проводили на модельных деревьях яблони домашней (*Malus domestica* Borkh) и вишни обыкновенной (*Prunus cerasus* L.) (рис. 2). Выборка деревьев

составила 20 шт. из каждого локалитета. Всего проанализировано 300 имаго клопов.



Рисунок 2. Деревья, поврежденные клопом грушевая кружевница. А – яблоня (*Malus domestica* Borkh), В – вишня (*Prunus cerasus* L.)

Figure 2. Trees damaged by pear lace bug. А – apple tree (*Malus domestica* Borkh), В – cherry tree (*Prunus cerasus* L.)

На базе сектора биотехнологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) проводился молекулярно-генетический анализ в несколько этапов: пробоподготовка, экстракция ДНК, диагностика на основе RAPD (random amplified polymorphic DNA)-ПЦР (амплификация ДНК). ДНК из образцов насекомых выделяли методом СТАВ [13]. Амплификацию проводили в 25 мкл смеси, содержащей 10хбуфер с Mg^{2+} (700 мМ Трис-НCl, pH 8,6 / 25 °C, 166 мМ $(NH_4)_2SO_4$, 25 мМ $MgCl_2$; смесь dNTP с концентрацией 10 мМ каждого; 0,2 мкМ праймера; 0,5 ед. Таq-полимеразы (Силекс, Россия) и 30 нг ДНК. Для ПЦР использовали термоциклер Mastercycler X50a (Eppendorf, Германия). Программа амплификации включала следующие стадии: 1 этап предварительной денатурации при 94°C – 3 мин.; 2 этап из 36 циклов (денатурация при 94°C – 20 сек., отжиг праймеров при 36°C – 20 сек., элонгация при 72°C – 1 мин.); 3 этап финальной амплификации при 72°C – 10 мин. В работе применяли универсальные для клопов семейства Tingidae праймеры: OPA07 (GAAACGGGTG), OPA09 (GGGTAACGCC), OPA18 (AGGTGACCGT) (Евроген, Россия) [14; 15].

Продукты амплификации разделяли с помощью электрофореза в 2 % агарозном геле в присутствии бромистого этидия (0,1 мкг/мл) в горизонтальных камерах (Biorad, США) и визуализировали в проходящем УФ-свете (302 нм) с использованием системы геледокументирования GelDoc XR+ (Bio Rad, США). Состав буфера для электрофореза 5хTBE: 0,089 М Tris-борат; 0,89 М борная кислота; 0,002 М ЭДТА, pH 8,0; состав

бхбуфера для нанесения проб: 30 % глицерин; 0,025 % бромфенолового синего. В качестве маркера длин ДНК использовали 100+ bp DNA Ladder (Евроген, Россия).

Анализ изменчивости генетической структуры популяций по признакам «трофическая специализация» и «географическое положение» проводили при помощи компьютерной программы Popgene (version 1.31) [16]. Достоверность различий между сравниваемыми вариантами определяли по t-критерию Стьюдента (при $p=5\%$) с помощью программного пакета MS Excel.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В области популяционной экологии, генетики и географии важную роль играет изучение структуры микроэволюции популяций. Исследования дивергенции видов и генетической дифференциации популяций требуют анализа генетических различий, которые измеряют различные аспекты изменчивости. Оценка генетических дистанций и показателей дифференциации необходима для понимания генетических отношений между популяциями и популяционными группами фитофагов для управления их численностью и прогноза вредоносности при разработке стратегий борьбы с ними.

В ходе проведенного ПЦР-анализа географических выборок грушевой кружевницы из яблоневых садов Краснодара, Кропоткина и Новороссийска выявлен 21 RAPD-локус размерами от 100 до 1000 пар нуклеотидов (рис. 3).

По полученным локусам в дальнейшем проведен анализ генетической изменчивости грушевой кружевницы в Краснодарском крае (табл. 1).

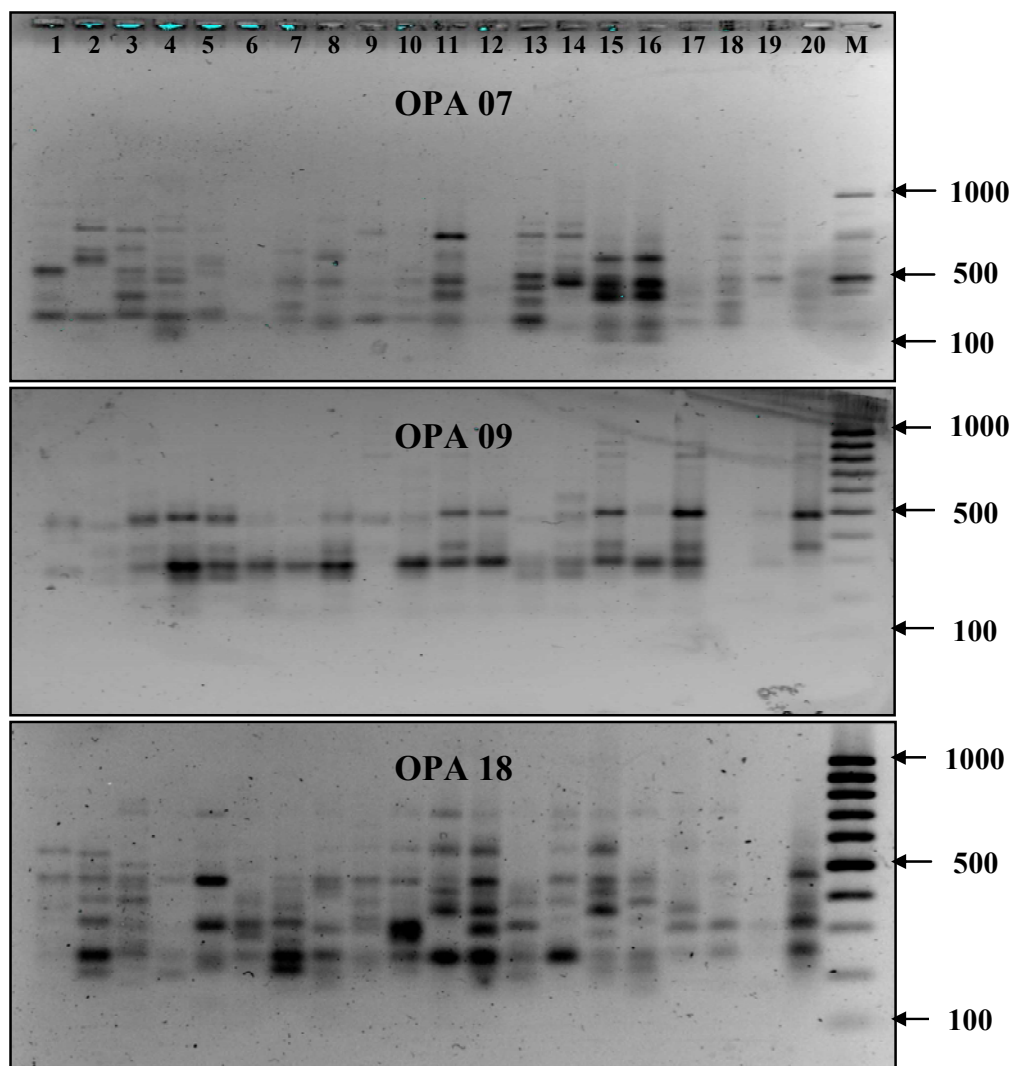


Рисунок 3. Электрофореграммы ДНК кружевницы грушевой с праймерами OPA07, OPA09 и OPA18.

Дорожки – ампликоны ДНК насекомых различных географических выборок: 1–10 – г. Краснодар, 11–20 – г. Новороссийск. М – маркер длин ДНК 100+ bp DNA Ladder (Евроген, Россия)

Figure 3. Electrophoregrams of DNA of pear lace bug with primers OPA07, OPA09 and OPA18.

Paths – DNA amplicons of insects of various geographic samples: 1–10 – Krasnodar, 11–20 – Novorossiysk.

M – DNA length marker 100+ bp DNA Ladder (Evrogen, Russia)

Таблица 1. Генетическая изменчивость *Stephanitis pyri* (географические группировки)

Table 1. Genetic variability of *Stephanitis pyri* (geographical groupings)

Показатель Indicator	Выборка насекомых Sample of insects		
	Краснодар Krasnodar	Новороссийск Novorossiysk	Кропоткин Kropotkin
P	52,4	71,4	71,4
H±SD*	0,17±0,19	0,25±0,19	0,29±0,21
I±SD*	0,26±0,27	0,37±0,27	0,43±0,29
Ht±SD		0,301±0,018	
Hs±SD		0,238±0,012	
Gst		0,209	
Nm		1,898	

Примечание: * $t_{факт} \leq t_{05}$ – различия статистически не значимы; P – процент полиморфных локусов (%); H – индекс генетического разнообразия Ней; I – индекс генетического разнообразия Шеннона; Ht – общее генетическое разнообразие; Hs – генетическое разнообразие внутри групп; Gst – показатель генетической дифференциации; Nm – показатель потока генов; SD – стандартное отклонение

Note: * $t_{fact} \leq t_{05}$ – differences are not significant; P – percentage of polymorphic loci (%); I – Shannon genetic diversity index; H – Nei genetic diversity index; Ht – total genetic diversity; Hs – genetic diversity within groups; Gst – genetic differentiation indicator; Nm – indicator of gene flow; SD – standard deviation

С использованием маркерной системы RAPD определен уровень ДНК-полиморфизма в исследуемых географических выборках, который составил от 52,4 до 71,4 %. Полученные нами показатели среднего ($H_s=0,238$) и общего ($H_t=0,301$) генетического разнообразия позволили рассчитать изменчивость внутри географических выборок: $\frac{H_s}{H_t} \cdot 100 = 79,1$ %. Соответственно, на долю изменчивости между ними приходилось 20,9 %. Значительный уровень изменчивости между выборками, определяющей дифференциацию между ними, подтверждает значение показателя $G_{st}=0,209$. При этом

поток генов, также влияющий на генетическую структуру популяции, был относительно низким ($N_m=1,898$). Это указывает на отсутствие препятствий дифференциации популяций, так как значительный поток генов (например, при интенсивном расселении) задерживает дифференциацию и образование новых популяций и внутрипопуляционных групп [17].

Сходства и различия между географическими группировками выражали с помощью показателей генетическая дистанция (GD) и генетическая идентичность (GI) (табл. 2).

Таблица 2. Генетическое сходство географических группировок *Stephanitis pyri*

Table 2. Genetic similarity of *Stephanitis pyri* by geographical groupings

Выборка насекомых Sample of insects	Краснодар Krasnodar	Новороссийск Novorossiysk	Кропоткин Kropotkin
Краснодар Krasnodar	–	0,971	0,848
Новороссийск Novorossiysk	0,030	–	0,855
Кропоткин Kropotkin	0,165	0,156	–

Примечание: GD – генетическая дистанция (под диагональю) GI – генетическая идентичность (над диагональю)

Note: GD – genetic distance (below the diagonal); GI – genetic identity (above the diagonal)

В большей степени отличались краснодарская и кропоткинская группировки ($GI=0,848$; $GD=0,165$), тогда как наиболее близкими были краснодарская и новороссийская ($GI=0,971$; $GD=0,030$). Это также

демонстрировал и кластерный анализ данных, где выборки из Краснодара и Новороссийска образовывали один кластер (рис. 4).

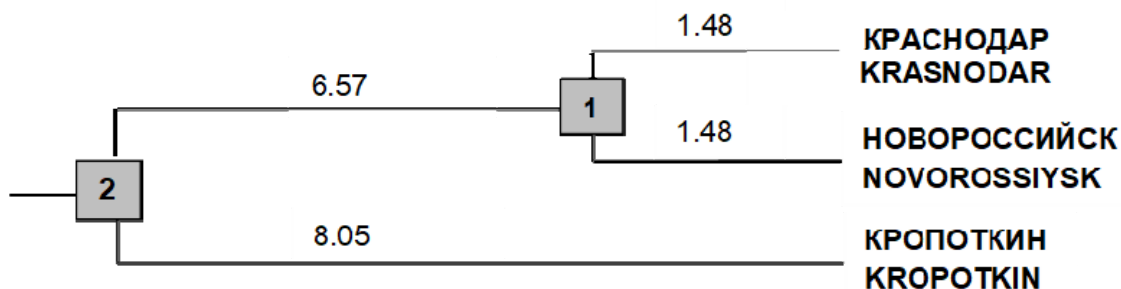


Рисунок 4. Дендрограмма кластерного анализа географических группировок *Stephanitis pyri* в Краснодарском крае

Figure 4. Dendrogram of cluster analysis of *Stephanitis pyri* geographical groupings in Krasnodar Territory

Коэффициент корреляции между географическими и генетическими расстояниями составил $r=0,44$ ($0 < r < 1$), что указывало на слабую прямую связь между этими признаками. В этой связи обнаруженный в популяции грушевой кружевницы незначительный эффект изоляции расстоянием группировок, по-видимому, характеризует внутривидовую изменчивость, связанную с адаптацией насекомых к местным условиям.

Внутривидовое генетическое разнообразие и его структура – это результат комплексного взаимодействия насекомых и среды, зависящий от различных адаптаций (экологических, поведенческих и др.) [18]. Изучение связей с кормовыми растениями является важнейшим моментом в эколого-фаунистических исследованиях. Выбор насекомыми растений для питания определяется совокупностью особенностей, которые могут выступать как в качестве барьера, ограничивающего возможность использования растений для питания, так и фактора, привлекающего насекомых. Кроме того, разделение

трофических ниш наблюдается во многих адаптивных процессах и предполагается, что оно является центральным процессом, лежащим в основе дивергенции видов [19]. Если внутривидовая специализация меняется среди видов и популяций, отражая ряд физиологических, поведенческих и экологических механизмов, это влияет на стабильность популяции, степень внутривидовой конкуренции и способность популяции быстро изменяться. Поэтому в дальнейшем нами был проведен анализ внутривидовых географических группировок грушевой кружевницы, различающихся пищевой специализацией, и оценка в этой связи степени их генетической дифференциации.

Результаты молекулярно-генетического анализа географических группировок *S. pyri*, собранных с различных кормовых растений (яблоня, вишня), представлены на рисунке 5.

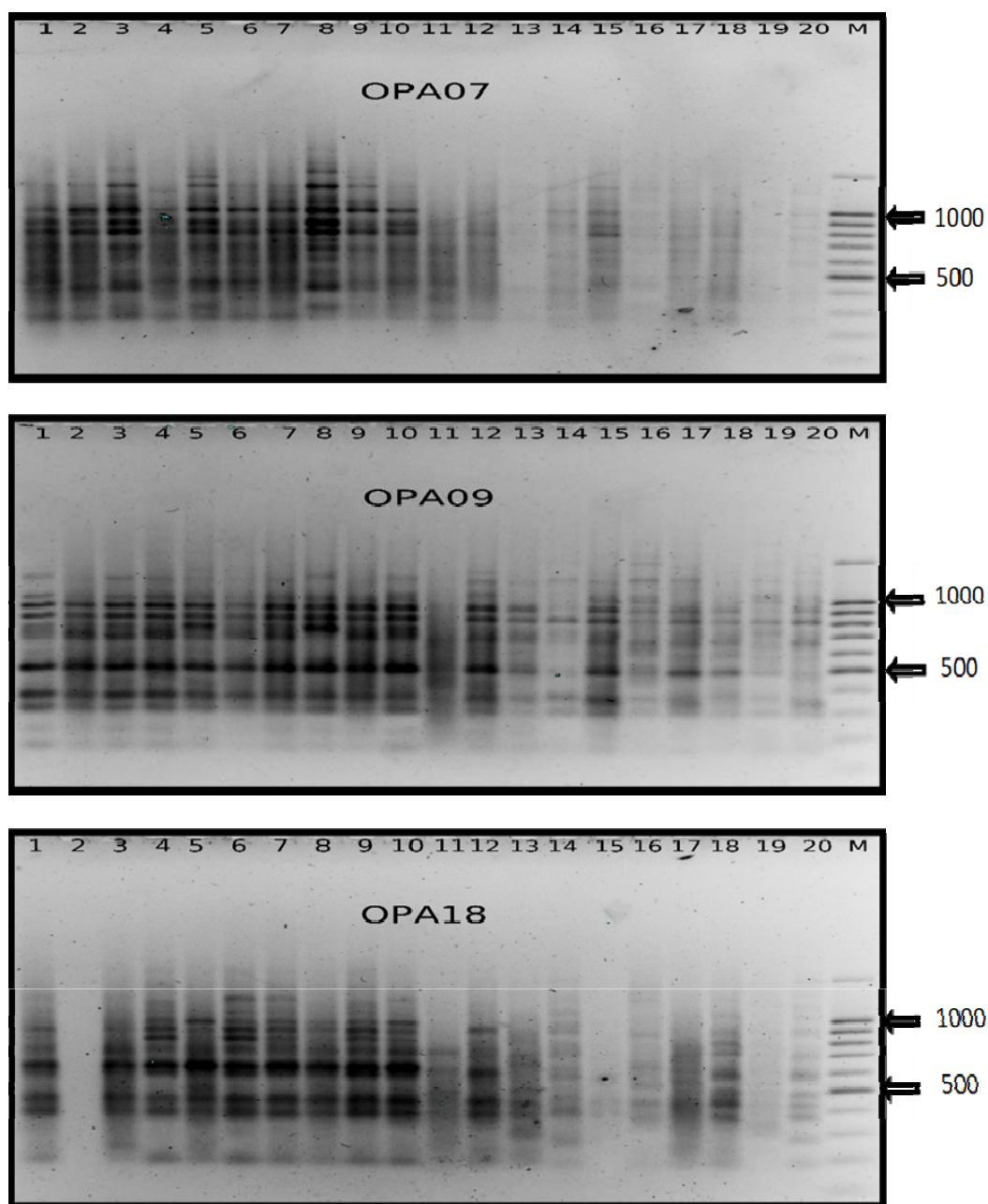


Рисунок 5. Электрофореграммы ДНК кружевницы грушевой с праймерами OPA07, OPA09 и OPA18. Дорожки – ампликоны ДНК насекомых различных трофических выборок г. Кропоткина: 1–10 – вишня, 11–20 – яблоня. М – маркер длин ДНК 100+ bp DNA Ladder (Евроген, Россия)

Figure 5. Electrophoregrams of DNA of pear lace bug with primers OPA07, OPA09 and OPA18.

Paths – DNA amplicons of insects of various trophic samples from the city of Kropotkin: 1–10 – cherry tree, 11–20 – apple tree. M – DNA length marker 100+ bp DNA Ladder (Evrogen, Russia)

Между краснодарскими внутривидовыми трофическими группами клопов по показателям ДНК-полиморфизма и генетического разнообразия (рассчитанного по Шеннону и Нею) не выявлено статистически значимых различий (табл. 3). Основную часть от общего генетического разнообразия ($H_t=0,335$) составило разнообразие внутри трофических групп краснодарской выборки ($H_s=0,319$). Следовательно, на долю изменчивости внутри этих групп приходилось 95,1 %. При этом поток генов ($N_m=9,63$) препятствовал значительной изменчивости между данными группами, доля которой составила 4,9 %, что подтверждается также низким

значением показателя генетической дифференциации ($G_{st} = 0,049$).

Для кропоткинских внутривидовых трофических групп нами выявлены значимые различия по изучаемым показателям (см. табл. 3). Соотношение изменчивости в пределах трофических групп и между ними составило 70 %:30 %. Соответственно, поток генов был низким ($N_m=1,15$) и не являлся препятствием для дифференциации, о чем свидетельствовал высокий показатель дифференциации ($G_{st}=0,302$) этих двух групп насекомых, собранных на разных кормовых объектах.

Таблица 3. Генетическая изменчивость *Stephanitis pyri* (географические и трофические группировки)**Table 3.** Genetic variability of *Stephanitis pyri* (geographical and trophic groupings)

Показатель Indicator	Выборка насекомых / Sample of insects			
	Краснодар Krasnodar		Кропоткин Kropotkin	
	Вишня cherry tree	Яблоня apple tree	Вишня cherry tree	Яблоня apple tree
P	80,9	90,5	38,1	76,2
H±SD	0,33±0,18*	0,30±0,16*	0,15±0,22**	0,30±0,21**
I±SD	0,49±0,25*	0,46±0,21*	0,22±0,31**	0,44±0,28**
Ht±SD	0,335±0,018		0,323±0,027	
Hs±SD	0,319±0,019		0,226±0,019	
Gst	0,049		0,302	
Nm	9,63		1,15	

Примечание: * $t_{факт} \leq t_{05}$ – различия статистически не значимы; ** $t_{факт} \geq t_{05}$ – различия статистически значимы;

P – процент полиморфных локусов (%); H – индекс генетического разнообразия Ней; I – индекс генетического

разнообразия Шеннона; Ht – общее генетическое разнообразие; Hs – генетическое разнообразие внутри групп;

Gst – показатель генетической дифференциации; Nm – показатель потока генов; SD – стандартное отклонение

Note: * $t_{факт} \leq t_{05}$ – differences are not significant; ** $t_{факт} \geq t_{05}$ – differences are significant; P – percentage of polymorphic loci (%);

I – Shannon genetic diversity index; H – Nei genetic diversity index; Ht – total genetic diversity; Hs – genetic diversity within groups;

Gst – genetic differentiation indicator; Nm – indicator of gene flow; SD – standard deviation

Проведенный анализ генетического сходства трофических и географических группировок грушевой кружевницы между собой показал, что значительно отличались кропоткинские выборки насекомых, собранные на яблоне и вишне (GI=0,763; GD=0,270), тогда как наиболее генетически близкими оказались выборки, собранные на обоих видах кормовых растений в Краснодаре (GI=0,965; GD=0,035), а также краснодарская и кропоткинская выборки, собранные на яблоне (GI=0,848; GD=0,165).

Выявленные молекулярно-генетические отличия у группировок клопов, предпочитающих питаться на вишневых деревьях, свидетельствуют о влиянии пищевого фактора на генетическое разнообразие и дифференциацию популяций насекомых. Ведущая роль кормового растения при формировании генетической структуры популяций была также показана другими исследователями на примере комплекса видов-двойников рода *Ostrinia*, характеризующихся перекрывающимися спектрами предпочитаемых видов кормовых растений [20–23]. Так, популяции, собранные на кукурузе и двудольных растениях, трудноразличимы морфологически, но при этом оказались генетически дифференцированы друг от друга в России, Франции и Казахстане, т.е. принадлежат к двум различным видам в зависимости от растения-хозяина – *O. nubilalis* и *O. scapularis*. Это позволяет предположить, что анализируемая нами вишневая трофическая группировка, возможно, является видом-двойником грушевой кружевницы. Также это не исключает возможности дивергенции вида *S. pyri* по признаку трофической специализации в условиях растущей конкуренции с новым инвазивным видом, принадлежащим также семейству Tingidae, – дубовой кружевницей. Перекрывание ареалов обитания и экологических ниш у клопов одного семейства требует более внимательного изучения систематики клопов семейства тингиды и, в частности, грушевой кружевницы при проведении мониторинга и практических мероприятий по защите растений.

Полученные данные характеризуют обобщенное представление о генетике популяции *S. pyri* в Краснодарском крае с ориентацией на трофическую специализацию. Данный молекулярно-генетический

подход (изучение генетического сходства и генетического разнообразия) играет важную роль при мониторинге состояния вида в зависимости от меняющихся условий среды, в том числе в результате конкуренции с новыми инвазивными видами за источники питания, и может служить основой при научных исследованиях дифференциации видов клопов-кружевниц, в том числе возможных видов-двойников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью молекулярно-генетических маркеров изучена генетическая изменчивость грушевой кружевницы в Краснодарском крае. Рассчитаны показатели генетической дифференциации между географическими (Gst=0,209) и трофическими (Gst=0,049–0,302) внутривидовыми группами *S. pyri*. Определены уровни изменчивости внутри географических (79,1 %) и трофических группировок (70,0–95,1 %), а также между ними – 20,9 % и 4,9–30 %, соответственно. Отмечен небольшой эффект изоляции расстоянием, который характеризовался слабой зависимостью географических и генетических расстояний между популяционными группами грушевой кружевницы. Показано влияние пищевого фактора на генетическое разнообразие и дифференциацию популяций насекомых на примере кропоткинской трофической группировки клопов, предпочитающих в качестве основного кормового растения вишню обыкновенную *P. cerasus*. Таким образом, возросшая вредоносность и широкое распространение клопа грушевая кружевница, вероятно, обусловлены сочетанием генетической гетерогенности и экологической пластичности вида. Необходимость сдерживания численности и вредоносности вредителя требует дальнейшего изучения эколого-генетической организации изменчивости в популяционной структуре вида в связи с приспособленностью к среде обитания.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0002.

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-2022-0002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds. URL: <http://www.agroatlas.ru> (дата обращения: 10.07.2023)
- Aysal T., Kivan M. Development and population growth of *Stephanitis pyri* (F.) (Heteroptera: Tingidae) at five temperatures // *Journal of Pest Science*. 2008. Т. 81. С. 135–141. <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0198-9>
- Трикоз Н.Н. Вредители декоративных растений парка-памятника «Айвазовское» в Крыму // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2017. N 123. С. 51–57.
- Хромова Л.М., Келдыш М.А., Помазков Ю.И. Грушевый клоп вновь опасен // *Защита и карантин растений*. 2008. С. 53–54.
- Neimorovets V.V., Shchurov V.I., Bondarenko A.S., Skvortsov M.M., Konstantinov F.V. First documented outbreak and new data on the distribution of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) in Russia // *Acta Zoologica Bulgarica*. 2017. N 9. С. 139–142.
- Борисов Б.А., Карпун Н.Н., Бибин А.Р., Грабенко Е.А., Ширяева Н.В., Лянгузов М.Е. Новые данные о трофических связях инвазионного клопа дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Heteroptera: Tingidae) в Краснодарском крае и Республике Адыгея по результатам исследований в 2018 году // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2018. N 67. С. 188–203. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2018-67-188-203>
- Стрюкова Н.М., Омеляненко Т.З., Голуб В.Б. Дубовая кружевница в Республике Крым // *Защита и карантин растений*. 2019. N 9. С. 43–44.
- Щуров В.И., Замотайлов А.С., Щурова А.В. Особенности сезонного цикла и экологии кружевницы дубовой *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) в природных зонах и высотных поясах Западного Кавказа // *Материалы международной научной конференции «Биосфера и человек»*. Майкоп, 24–25 октября, 2019. С. 118–120.
- Guilbert E., Damgaard J., D'Haese C.A. Phylogeny of the lacebugs (Insecta: Heteroptera: Tingidae) using morphological and molecular data // *Systematic Entomology*. 2014. Т. 39. N. 3. С. 431–441. <https://doi.org/10.1111/syen.12045>
- Беседина Е.Н., Киль В.И. Молекулярно-генетический анализ различных видов клопов-кружевниц (Heteroptera: Tingidae) по RAPD-маркерам // *Садоводство и виноградарство*. 2019. N 6. С. 21–25. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-6-21-25>
- Besedina E., Kil V., Ismailov V., Karpunina M. Molecular genetic analysis and phenology of the plane lace bug *Corythucha ciliata* Say (Hemiptera: Tingidae) in different parts of Krasnodar Krai // *BIO Web of Conferences* 21, XI International Scientific and Practical Conference «Biological Plant Protection is the Basis of Agroecosystems Stabilization». 2020. Article number: 00011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202100011>
- Беседина Е.Н., Киль В.И. ДНК-полиморфизм и генетическое разнообразие популяции дубовой кружевницы (*Corythucha arcuata* Say) в Краснодарском крае // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2021. N 55. С. 42–57. <https://doi.org/10.17223/19988591/55/3>
- Гриценко Д.А., Хамдиева О.Х., Динасильов А.С., Динасильова Г.А. Разработка метода выделения геномной ДНК из пупарий южноамериканской томатной моли *Tuta absoluta* (Povolny) // *Достижения науки и образования*. 2017. N 8(21). С. 22–28.
- Беседина Е.Н., Киль В.И. Высокоспецифические RAPD-праймеры для ПЦР-анализа клопов-кружевниц (Heteroptera: Tingidae) // *Материалы международной научной конференции «Биосфера и человек»*, Майкоп, 24–25 октября, 2019. С. 17–18.
- Беседина Е.Н., Киль В.И., Карпунин М.Н. Универсальные RAPD- и ISSR-праймеры для ПЦР-анализа клопов-кружевниц (Heteroptera: Tingidae) // *Юбилейный сборник научных трудов XIII международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса»*, Ростов-на-Дону, 26–28 февраля, 2020. Т. 1. С. 393–396.
- Yeh F.C., Yang R.C., Boyle T.B.J., Ye Z.H., Mao J.X. Popgene, the user-friendly shareware for population genetic analysis, version 1.31. Computer program and documentation. Edmonton: University of Alberta and Centre for International Forestry Research, 1999. 29 p.
- Slatkin M. Gene flow in natural populations // *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1985. Т. 39. С. 53–65.
- Meng X.F., Shi M., Chen X.X. Population genetic structure of *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae): strong subdivision in China inferred from microsatellite markers and mtDNA gene sequences // *Molecular Ecology*. 2008. Т. 17. N 12. С. 2880–2897. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2008.03792.x>
- Galvez J.R., St. John M.E., McLean K., Touokong C.D., Gonwouo L.N., Martin C.H. Trophic specialization on unique resources despite limited niche divergence in a celebrated example of sympatric speciation // *Ecology of Freshwater Fish*. 2022. Т. 31. N 4. С. 675–692. <https://doi.org/10.1111/eff.12661>
- Hoshizaki S., Washimori R., Kubota S.-I., Frolov A.N., Kageyama D., Gomboc S., Ohno S., Tatsuki S., Ishikawa Y. Limited variation in mitochondrial DNA of maize-associated *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Russia, Turkey and Slovenia // *European Journal of Entomology*. 2008. Т. 105. С. 545–552. <http://dx.doi.org/10.14411/eje.2008.073>
- Frolov A.N., Audiot P., Bourguet D., Kononchuk A.G., Malyshev J.M., Ponsard S., Streiff R., Tokarev Y.S. From Russia with lobe: genetic differentiation in trilobed uncus *Ostrinia spp.* follows food plant, not hairy legs // *Heredity*. 2012. Т. 108. N 2. С. 147–56. <https://doi.org/10.1038/hdy.2011.58>
- Грушевая И.В., Малыш Ю.М., Конончук А.Г., Фролов А.Н. Полиморфизм нуклеотидной последовательности митохондриального гена COI популяций видов-двойников рода *Ostrinia* (Lepidoptera: Pyraloidea) // *Вестник защиты растений*. 2016. N 3(89). С. 53–54.
- Yang Z., Plotkin D., Landry J.-F., Storer C., Kawahara A. Revisiting the evolution of *Ostrinia* moths with phylogenomics (Pyraloidea: Crambidae: Pyraustinae) // *Systematic Entomology*. 2021. Т. 46. N 4. С. 827–838. <http://dx.doi.org/10.1111/syen.12491>

REFERENCES

- Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. [Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases,

Pests and Weeds]. Available at: <http://www.agroatlas.ru> (accessed 10.07.2023)

2. Aysal T., Kivan M. Development and population growth of *Stephanitis pyri* (F.) (Heteroptera: Tingidae) at five temperatures. *Journal of Pest Science*, 2008, vol. 81, pp. 135–141. <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0198-9>
3. Trikoz N.N. A specific composition of pests for the ornamental plants in memorial park «Aivazovskoye». *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens]. 2017, no. 123, pp. 51–57. (In Russian)
4. Hromova L.M., Keldysh M.A., Pomazkov Ju.I. Pear bug is dangerous again. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine]. 2008, pp. 53–54. (In Russian)
5. Neimorovets V.V., Shchurov V.I., Bondarenko A.S., Skvortsov M.M., Konstantinov F.V. First documented outbreak and new data on the distribution of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) in Russia. *Acta Zoologica Bulgarica*. 2017, no. 9, pp. 139–142.
6. Borisov B.A., Karpun N.N., Bibin A.R., Grabenko E.A., Shiryayeva N.V., Lyanguzov M.E. New data on trophic relations of the invasive oak lace bug *Corythucha arcuata* (Heteroptera: Tingidae) in the Krasnodar region and in the republic of Adygea based on the research findings for the year 2018. *Subtropical and ornamental horticulture*, 2018, no. 67, pp. 188–203. (In Russian) <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2018-67-188-203>
7. Stryukova N.M., Omelyanenko T.Z., Golub V.B. *Corythucha arcuata* in the Republic of Crimea. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine]. 2019, no. 9, pp. 43–44. (In Russian)
8. Shchurov V.I., Zamotailov A.S., Shchurova A.V. Osobennosti sezonnogo tsikla i ekologii kruzhevnitsy dubovoi *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) v prirodnykh zonakh i vysoznykh poiyasakh Zapadnogo Kavkaza [Features of the seasonal cycle and ecology of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in natural zones and high-altitude zones of the Western Caucasus]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Biosfera i chelovek»*, Maykop, 24–25 oktyabrya 2019 [Proceedings of International Conference “Biosphere and Man”, Maykop, 24–25 October 2019]. Maykop, 2019, pp. 118–120. (In Russian)
9. Guilbert E., Damgaard J., D’Haese C.A. Phylogeny of the lacebugs (Insecta: Heteroptera: Tingidae) using morphological and molecular data. *Systematic Entomology*, 2014, vol. 39, no. 3, pp. 431–441. <https://doi.org/10.1111/syen.12045>
10. Besedina E.N., Kil V.I. Molecular-genetic analysis of different species of lace bugs (Heteroptera: Tingidae) with RAPD markers. *Horticulture and viticulture*, 2019, no. 6, pp. 21–25. (In Russian) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-6-21-25>
11. Besedina E., Kil V., Ismailov V., Karpunina M. Molecular genetic analysis and phenology of the plane lace bug *Corythucha ciliata* Say (Hemiptera: Tingidae) in different parts of Krasnodar Krai. *BIO Web of Conferences 21, XI International Scientific and Practical Conference «Biological Plant Protection is the Basis of Agroecosystems Stabilization»*, 2020, Article number: 00011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202100011>
12. Besedina E.N., Kil V.I. DNA polymorphism and genetic diversity of the oak lace bug (*Corythucha arcuata* Say) population in Krasnodar Krai. *Tomsk State University Journal of Biology*, 2021, no. 55, pp. 42–57. (In Russian) <https://doi.org/10.17223/19988591/55/3>
13. Gricenko D.A., Hamdieva O.H., Dinasilov A.S., Dinasilova G.A. Development of a method for isolating genomic DNA from puparia of the South American tomato moth *Tuta absoluta* (Povolny). *Dostizheniya nauki i obrazovaniya* [Achievements of science and education]. 2017, no. 8(21), pp. 22–28. (In Russian)
14. Besedina E.N., Kil V.I. Vysokospetsificheskie RAPD–primery dlya PTsR–analiza klopov–kruzhevnits (Heteroptera: Tingidae) [Highly specific RAPD primers for PCR analysis of lace oak bugs (Heteroptera: Tingidae)]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Biosfera i chelovek»*, Maykop, 24–25 oktyabrya 2019 [Proceedings of International Conference “Biosphere and Man”, Maykop, 24–25 October 2019]. Maykop, 2019, pp. 17–18. (In Russian)
15. Besedina E.N., Kil V.I., Karpunin M.N. Universal'nye RAPD– i ISSR–primery dlya PTsR–analiza klopov–kruzhevnits (Heteroptera: Tingidae) [Universal RAPD and ISSR primers for lace bugs PCR analysis (Heteroptera: Tingidae)]. *Yubileinyi sbornik nauchnykh trudov XIII mezhdunarodnoi nauchno–prakticheskoi konferentsii «Sostoyanie i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa»*, Rostov-na Donu, 26–28 fevralya, 2020 [Anniversary collection of scientific papers of XIII international scientific and practical Conference “State and prospects for the development of the agro-industrial complex”, Rostov-on-Don, 26–28 February 2020]. Rostov-on-Don, 2020, vol. 1, pp. 393–396. (In Russian)
16. Yeh F.C., Yang R.C., Boyle T.B.J., Ye Z.H., Mao J.X. Popgene, the user-friendly shareware for population genetic analysis, version 1.31. Computer program and documentation. Edmonton, University of Alberta and Centre for International Forestry Research Publ., 1999, 29 p.
17. Slatkin M. Gene flow in natural populations. [Annual Review of Ecology and Systematics]. 1985, vol. 39, pp. 53–65.
18. Meng X.F., Shi M., Chen X.X. Population genetic structure of *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae): strong subdivision in China inferred from microsatellite markers and mtDNA gene sequences. *Molecular Ecology*, 2008, vol. 17, no. 12, pp. 2880–2897. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2008.03792.x>
19. Galvez J.R., St. John M.E., McLean K., Touokong C.D., Gonwouo L.N., Martin C.H. Trophic specialization on unique resources despite limited niche divergence in a celebrated example of sympatric speciation. *Ecology of Freshwater Fish*, 2022, vol. 31, no. 4, pp. 675–692. <https://doi.org/10.1111/eff.12661>
20. Hoshizaki S., Washimori R., Kubota S.–I., Frolov A.N., Kageyama D., Gomboc S., Ohno S., Tatsuki S., Ishikawa Y. Limited variation in mitochondrial DNA of maize-associated *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Russia, Turkey and Slovenia. *European Journal of Entomology*, 2008, vol. 105, pp. 545–552. <http://dx.doi.org/10.14411/eje.2008.073>
21. Frolov A.N., Audiot P., Bourguet D., Kononchuk A.G., Malysh J.M., Ponsard S., Streiff R., Tokarev Y.S. From Russia with lobe: genetic differentiation in trilobed uncus *Ostrinia spp.* follows food plant, not hairy legs. *Heredity*, 2012, vol. 108, no. 2, pp. 147–56. <https://doi.org/10.1038/hdy.2011.58>
22. Grushevaja I.V., Malysh Ju.M., Kononchuk A.G., Frolov A.N. Polymorphism of nucleotide sequence of mitochondrial COI gene of cryptic species populations of the genus *Ostrinia* (Lepidoptera: Pyraloidea) *Vestnik zashchity rastenii* [Herald of plant protection]. 2016, no. 3(89), pp. 53–54. (In Russian)
23. Yang Z., Plotkin D., Landry J.–F., Storer C., Kawahara A. Revisiting the evolution of *Ostrinia* moths with phylogenomics (Pyraloidea: Crambidae: Pyraustinae). *Systematic Entomology*, 2021, vol. 46, no. 4, pp. 827–838. <http://dx.doi.org/10.1111/syen.12491>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Екатерина Н. Беседина и Владимир И. Киль собрали биоматериал, провели молекулярно-генетические исследования, выполнили обработку и анализ экспериментальных данных. 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

Ekaterina N. Besedina and Vladimir I. Kil collected biomaterial, conducted molecular genetic studies and carried out the processing and analysis of experimental data. 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

Екатерина Н. Беседина / Ekaterina N. Besedina <https://orcid.org/0000-0002-9976-5614>

Владимир И. Киль / Vladimir I. Kil <https://orcid.org/0000-0002-3762-9019>

Оригинальная статья / Original article

УДК 632.937

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-39-49



Пополнение видового состава биоресурсной коллекции энтомоакарифагов

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

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

Контактное лицо

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

Тел. +79054753513

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

Игнатьева Т.Н., Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Хетагурова Е.В. Пополнение видового состава биоресурсной коллекции энтомоакарифагов // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 39-49. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-39-49

Получена 5 апреля 2023 г.

Прошла рецензирование 4 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Формирование видового состава биоресурсной коллекции «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» Лазаревской опытной станции защиты растений – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений». Основу коллекции составляют виды, выявленные в местных биоценозах и интродуцированные из регионов со сходными климатическими условиями.

Материал и методы. Сбор и изучение эффективности аборигенных, инвазивных, интродуцированных энтомофагов, динамика их акклиматизации, возможности введения в лабораторную культуру на территории Черноморского побережья г. Сочи. Апробировались способы их применения в системах защиты растений.

Результаты. Экспериментальным путем установлена способность *Cryptolaemus montrouzieri* Muls. контролировать численность кокцид, в том числе *Icerya purchase* Maskell. Отобраны эффективные и приспособленные к воспроизведению в лабораторных условиях энтомофаги: *Dicyphus errans* Wolff. и *Macrolophus nubilis* H.S., афидофаг *Harmonia axyridis* Pall. и другие.

Заключение. В результате исследования в коллекции Лазаревской опытной станции защиты растений представлены широкие полифаги *Dicyphus errans* Wolff. и *Macrolophus nubilis* H.S., *Cryptolaemus montrouzieri* Muls., *Leis dimidiata* Fabr., *Harmonia axyridis* Pall.; *Encarsia partenopea* Masi, *Lysiphlebus fabarum* Marsh. Акарифаги представлены *Phytoseiulus persimilis* Ath.-Henr. и *Amblyseius cucumeris* Ond. Дана оценка биологической эффективности *Encarsia partenopea* Masi в отношении *Trialeurodes vaporariorum* Westw. в условиях защищенного грунта г. Сочи при соотношении паразит:хозяин – 1:30; 68,6%, наилучший результат получен при выпусках 1:10; 79,19%. Начаты исследования разработки методов лабораторного разведения *Chilocorus renipustulatus*.

Ключевые слова

Биоресурсная коллекция, энтомофаги, интродуцированные, инвазивные, аборигенные, фитофаги, карантинные.

Replenishment of the species composition of the bioresource collection of Entomoacariphages

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

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

Contact person

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

Tel. +79054753513

Email kashutinaev@mail.ru

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

How to cite this article

Ignatieva T.N., Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Khetagurova E.V. Replenishment of the species composition of the bioresource collection of Entomoacariphages. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 39-49. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-39-49

Received 5 April 2023

Revised 4 June 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. Formation of the species composition of the bioresource collection "State Collection of Entomoacariphages and Microorganisms" of the Lazarev Experimental Plant Protection Station – a branch of Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection. The collection is based on species identified in local biocenoses as well as those introduced from regions with similar climatic conditions.

Material and Methods. Collection and study of the effectiveness of native, invasive, introduced entomophages, the dynamics of their acclimatization and the possibility of their introduction into laboratory culture on the territory of the Black Sea coast of Sochi. Methods of their application in plant protection systems were tested.

Results. The ability of *Cryptolaemus montrouzieri* Muls. to control the number of coccids, including *Icerya purchase* Maskell, has been experimentally established. Entomophages which are effective and adaptable to reproduction in laboratory conditions were selected: *Dicyphus errans* Wolff. and *Macrolophus nubilis* H.S., the aphidophage *Harmonia axyridis* Pall. and others.

Conclusion. As a result of the study, wide polyphages of *Dicyphus errans* Wolff were found to be presented in the collection of the Lazarev Experimental Plant Protection Station, as well as and *Macrolophus nubilis* H.S., *Cryptolaemus montrouzieri* Muls., *Leis dimidiata* Fabr., *Harmonia axyridis* Pall., *Encarsia partenopea* Masi and *Lysiphlebus fabarum* Marsh. Acariphages are represented by *Phytoseiulus persimilis* Ath.-Henr. and *Amblyseius cucumeris* Ond. The biological efficacy of *Encarsia partenopea* Masi has been evaluated in relation to *Trialeurodes vaporariorum* Westw. in the conditions of the protected ground of Sochi at the parasite ratio:host of 1:30; 68.6%, the best result being obtained with releases of 1:10; 79.19%. Research has begun on the development of methods for the laboratory breeding of *Chilocorus renipustulatus*.

Key Words

State collection, entomophages, introduced, invasive, native, phytophages, quarantine.

ВВЕДЕНИЕ

Экологически безопасная система защиты растений от вредителей предусматривает последовательное использование приемов и средств, способствующих оптимальному росту и развитию растений на всех этапах онтогенеза. Одним из путей оздоровления агробиоценозов является разработка биологических методов контроля вредных организмов с использованием биоагентов содержащихся в биологических коллекциях.

Научные, и в том числе энтомологические, коллекции – важная составляющая исследований. Они позволяют не только оценивать видовой состав и взаимодействие организмов в данной местности, но и разрабатывать методики оздоровления и восстановления экосистем.

Изначально наука занималась накоплением фактических данных. Энтомологические коллекции стали инструментом такого накопления для целого ряда наук. Они позволяют достоверно зафиксировать нахождение того или иного организма в определенной точке пространства в определенное время [1]. С помощью этих коллекций можно определить видовое разнообразие того или иного региона. Значение биологических коллекций для науки, экономики и в целом для человечества трудно переоценить, как, впрочем, и недооценить, ибо ценность их очевидна. Без биологических коллекций немыслимы развитие биологии, медицины, сельского хозяйства, сохранение биологического разнообразия [2–4].

К концу 20 века остро встал вопрос практического применения накопленных данных. Специалисты в области биологической защиты растений приступили к исследованиям, связанным с вопросами эффективности уже известных энтомофагов, их взаимодействию между собой и с другими видами, вопросами улучшения качества промышленного разведения энтомофагов и другие [5]. Для этих целей потребовалось создание коллекций живых энтомофагов.

Каждый экземпляр в энтомологии – это определенный генотип, и формирование биологических коллекций входит в программу развития биотехнологий нашей страны. Еще И.А. Порчинским и его сподвижниками И.В. Васильевым и Н.Н. Соколовым во времена функционирования Бюро по энтомологии при Ученом Комитете Министерства Земледелия России было показано, что фактически каждый значимый вредитель имеет шлейф местных энтомофагов. Они также указывали на перспективность их использования для нужд биометода [6].

Отличительной особенностью современных систем биологической защиты растений является использование комплекса энтомофагов. Используют виды, которые близки по пищевой специализации, но различаются по требованиям к абиотическим факторам среды, и поэтому занимают разные экологические ниши [7].

Исходя из этого, видовой состав коллекции живых энтомофагов должен включать хищных полифагов, олигофагов и специфических паразитов выявленных вредителей.

Цель настоящего исследования – пополнение видового состава коллекции Лазаревской ОСЗР. На протяжении многих лет нами ведется ежегодный фитосанитарный мониторинг состояния агробиоценозов Лазаревского района г. Сочи для выявления видового состава наиболее вредоносных фитофагов, выявляются виды аборигенных и интродуцированных энтомофагов, эффективно контролирующих численность вредителей.

Изучается возможность их введения в лабораторную культуру. Разрабатываются методики лабораторного и массового разведения. Апробируются способы наиболее эффективного применения в системах защиты растений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в условиях уникальной климатической зоны – Северных влажных субтропиков. Основу коллекции энтомофагов Лазаревской опытной станции защиты растений – филиала ФГБУ ФНЦБЗР (Лазаревской ОСЗР) составляют виды, выявленные в местных биоценозах, и интродуцированные из регионов со сходными климатическими условиями.

Мониторинг состояния ландшафтообразующих пород Черноморского побережья Краснодарского края проводился на модельных растениях: *Nerium*, *Ficus*, *Hibiscus*, *Magnolia*, *Quercus*, *Platanus*, *Pittosporum*, выделенных в ходе маршрутных обследований и травянистом покрове.

Выведение паразитов и идентификацию выявленных фитофагов и энтомофагов проводили в лабораториях станции по общепринятым методикам [8; 9].

При проведении сплошных обследований различных типов агробиоценозов (парковых зон санаторно-курортных учреждений, парков, скверов, прогулочных зон населенных пунктов и национального парка, придомовых, пришкольных территорий) особое внимание уделялось состоянию растений, принадлежащих видам, в большей степени подверженным заселению наиболее вредоносными фитофагами. Выделялись модельные растения, учеты проводили посредством визуального осмотра ежемесячно. Учитывалась степень заселенности вредителем и количество энтомофагов во всех стадиях развития.

Объектами исследования служили: *Encarsia partenopea* Masi, *Trialeurodes vaporariorum* Westw., *Harmonia axyridis* Pall., *Aphis gossypii* Glov., *Cryptolaemus montrouzieri* Muls., *Icerya purchasi* Maskell [10].

Возможность акклиматизации криптолемуса – интродуцированного эффективного хищника кокцид [11–13] изучалась на территории г. Сочи в процессе маршрутных обследований. Объектами изучения являлись как сам криптолемус, так и новые для региона виды червецов, создающие кормовую базу для природной популяции хищника. Способность энтомофага полноценно развиваться при питании новым видом, австралийским желобчатым червецом, проверялась в лабораторных условиях, опыт был заложен в 20 повторностях, опытные насекомые содержались парами в стеклянных емкостях при температуре 25–26°C, относительной влажности воздуха 70–80%, плодовитость подсчитывалась ежедневно на протяжении 10 дней. В лабораторных условиях выявленные аборигенные и интродуцированные энтомоакарифаги содержатся в универсальных садках, при температуре 20–25°C, влажности воздуха 70–80%, 16–18-часовом световом дне. Диапаузирующие насекомые зимой находятся в неотопливаемых культивационных сооружениях, гигротермический режим – естественный.

Проведены исследования биологической эффективности аборигенного вида – *Encarsia partenopea* Masi в отношении *Trialeurodes vaporariorum* Westw. в условиях защищенного грунта Черноморского побережья Краснодарского края.

Эффективность энкарзии оценивали по ее способности сдерживать рост численности белокрылки в условиях теплицы при оптимальном соотношении паразит:жертва. Использовали три нормы выпуска энтомофага на зараженные белокрылкой растения огурца. Перед закладкой опыта учитывалась численность белокрылки на единицу площади листа с пересчетом на среднее количество на растение. В каждом варианте опыта выделялось по 10 модельных растений огурца. Обработки проводились в три приема в соотношении паразит:хозяин по вариантам 1:10; 1:20; 1:30 с интервалом 14 дней.

Расселение паразита проводили методом раскладывания листьев табака с куколками энкарзии на увлажненную поверхность грунта или листья нижнего яруса растений огурца.

Эффективность хармонии, инвазивного вида, образовавшего на Черноморском побережье устойчивую самовоспроизводящуюся популяцию – (*Harmonia axyridis* Pall.) [14; 15] – оценивали по ее способности сдерживать численность тли *Aphis gossypii* Glov. на огурце в условиях стационарной теплицы. Опыт закладывался в двух вариантах: Выпуск имаго хармонии в соотношении хищник:жертва 1:30; выпуск личинок в соотношении 1:40. Перед закладкой опыта учитывалась численность тли на единицу площади листа с пересчетом на среднее количество на растение. В каждом варианте опыта выделялось по 10 модельных растений огурца.

Статистическую обработку данных проводили по методике Доспехова Б.А. [16].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами установлено, что уникальные условия, сложившиеся в сочинском регионе, наложили отпечаток на формирование местной энтомофауны. Субтропический климат с достаточно высокими среднегодовыми температурами и высокой влажностью. Сложный гористый рельеф, создающий многообразие микроклиматических зон и протяженная морская береговая линия. Интенсивная застройка и бурный рост искусственных агросистем. Интенсификация транспортных потоков. Все эти факторы способствуют формированию специфического набора вредителей, в том числе инвазивных, их активной миграции в соседние биоценозы и расширению группы круглогодично активных вредителей.

В условиях субтропического климата весьма распространенными и вредоносными являются червецы и щитовки. Поражая многие ценные плодовые и декоративные культуры, они снижают качество и количество урожая, декоративную ценность парковых культур [17].

В организации биологической борьбы с червецами и щитовками, во всем мире широко используются кокциеллиды. Распространенным и перспективным методом применения хищных коровок является их интродукция и акклиматизация, особенно в районы со сходными климатическими условиями. Еще в пятидесятые годы сотрудниками станции отмечалась регуляторная деятельность хилокоруса *Chilocorus bipustulatus* Linnaeus и хиперасписа *Hyperaspis campestris* Herbst в отношении мучнистых червецов *Icerya purchase* Maskell и пульвинарий *Pulvinaria floccifera* West. Однако, эффективность природных популяций этих энтомофагов на территории Сочи недостаточна, а их лабораторное воспроизведение сопряжено со многими сложностями.

В настоящее время на Лазаревской опытной станции начаты исследования с целью разработки методов

лабораторного разведения хилокоруса почковидного *Chilocorus renipustulatus* L.G. Scriba.

В разные годы на Лазаревскую станцию были интродуцированы и испытаны только для контролирования численности кокцид более десяти видов кокцидофагов [18].

Из биоагентов положительный результат дали и в настоящее время применяются для биологической защиты растений *Cryptolaemus montrouzieri* Muls. и *Rodolia cardinalis* Mulsant [19].

Эффективный хищник – криптолемус, с 1949 года содержался на Лазаревской опытной станции, применялся для контролирования численности червецов методом сезонной колонизации. Многолетние исследования позволили разработать методы лабораторного и массового разведения хищника [20; 21].

Параллельно велись исследования по акклиматизации криптолемуса в условиях влажных субтропиков. Впервые, акклиматизировавшаяся популяция криптолемуса нами была выявлена на территории Абхазии (Новый Афон) в 2006–2007 гг. [22].

В Центральном районе города-курорта Сочи в 2010 году сотрудники Лазаревской опытной станции при проведении весеннего обследования, обнаружили куртину растений олеандра *Nerium oleander*, заселенную в сильной степени австралийским желобчатым червцем *Icerya purchase* Maskell. Во время летнего обследования была выявлена колония криптолемуса на модельной куртине олеандра понтийского, на значительном удалении от места содержания лабораторной популяции или мест возможных выпусков. Дальнейшее продвижение акклиматизировавшейся популяции криптолемуса шло в северо-западном направлении.

В 2020 году в западной части территории поселка Лазаревское на выделенном модельном растении олеандра, заселенном австралийским желобчатым червцем, зафиксировано присутствие криптолемуса.

Появление в садово-парковых биоценозах австралийского желобчатого червеца *Icerya purchase* Maskell поставило вопрос о возможности эффективного контролирования его численности криптолемусом.

Способность криптолемуса эффективно уничтожать австралийского желобчатого червеца, подтверждена экспериментальным путем в лабораторных условиях (табл. 1).

Особи лабораторной популяции активно питались, давали яйцекладку, количество яиц в кладке практически не отличалось от контрольной. Следовательно, криптолемус является эффективным биоагентом и в отношении новых для региона, карантинных видов кокцид.

Представленные в ранее опубликованных работах [23] результаты многолетних исследований позволяют сделать вывод об успешном продвижении акклиматизировавшейся популяции энтомофага на северо-запад Черноморского побережья, возможности прогнозирования контролирования численности кокцид. Несмотря на то, что за почти 100 лет, прошедших с момента завоза криптолемуса на Черноморское побережье, путем естественного отбора сформировалась относительно холодоустойчивая популяция, численность перезимовавших жуков в настоящее время повсеместно еще невелика и не в состоянии обеспечить высокой эффективности. Так, например, выявленная в 2022 г. в парковой зоне центральной части п. Лазаревское г. Сочи колония криптолемуса плотностью 2 шт. на 5 кв. дм на смоло-семяннике *Pittosporum*, заселенном пульвинарией плотностью до 24 особей на лист, оказалась способной

сдерживать численность вредителя лишь отчасти. Данные осеннего обследования показали уничтожение энтомофагом 30% фитофага. Поэтому по-прежнему необходимы дополнительные выпуски энтомофага в очаги размно-

жения вредителей. В связи с этим исследования по усовершенствованию методик лабораторного и массового размножения криптолемуса не теряют своей актуальности.

Таблица 1. Сравнительная плодовитость криптолемуса при питании австралийским желобчатым (*Icerya purchasi* Maskell) и виноградным мучнистым червецами (*Planococcus ficus* Sign.)

Table 1. Comparative fertility of cryptolemus when feeding on Australian bug (*Icerya purchasi* Maskell) and woolly currant scale (*Planococcus ficus* Sign.)

Вариант опыта Experimental variant	Вид корма Food type	Кол-во пар в варианте Number of pairs in the variant	Кол-во отложенных яиц в течение 10 дней Number of eggs laid within 10 days	Среднесуточная плодовитость (яиц на самку) Average daily fertility (eggs per female)
1	<i>Icerya purchasi</i> Maskell	20	566	2,83±0,258
2	Контроль <i>Planococcus ficus</i> Sign. Control <i>Planococcus ficus</i> Sign.	20	606	3,03±0,146

Серьёзными вредителями декоративных и сельскохозяйственных культур являются тли. В результате мониторинга формирования триотрофа подтверждена высокая эффективность комплекса аборигенных энтомофагов в отношении тлей на растениях олеандра *Nerium*.

Из приведенных данных видно, что комплекс природных энтомофагов сдерживает численность тлей на олеандре на хозяйственно не ощутимом уровне (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность комплекса природных энтомофагов в отношении тли на олеандре понтийском (Лазаревское, 2020 г.)

Table 2. Effectiveness of the complex of natural entomophages against aphids on oleander Pontic (Lazarevskoye, 2020)

Дата учета Recording date	Количество тлей (особей в колонии), среднее Number of aphids (individuals in the colony), average	Энтомофаг Entomophaga	Стадия развития насекомого Stage of insect development	Количество энтомофагов на колонию тлей, среднее Number of entomophages per aphid colony, average
23.04.20 г.	27 (18 – 34)	<i>Coccinellidae</i>	имаго / imago	2
		<i>Syrphidae</i>	имаго / imago	3
		<i>Syrphidae</i>	личинки / larvae	3
06.05.20 г.	66 (44 – 80)	<i>Coccinellidae</i>	имаго / imago	2
		<i>Coccinellidae</i>	личинки / larvae	3
		<i>Syrphidae</i>	личинки / larvae	3
		<i>Aphidoletes aphidimiza</i>	личинки / larvae	4
		<i>Dicyphus errans</i>	имаго / imago	3
21.05.20 г.	22 (12 – 40)	<i>Coccinellidae</i>	личинки / larvae	2
		<i>Coccinellidae</i>	куколки / pupae	3
		<i>Macrolophus</i>	имаго / imago	1
		<i>Chrisopa</i>	личинки / larvae	2
11.06.20 г.	4 (0 – 7)	<i>Coccinellidae</i>	имаго / imago	3
		<i>Macrolophus</i>	имаго / imago	2
		<i>Dicyphus</i>	личинки / larvae	2

В результате многолетних исследований были отобраны для биологической защиты растений эффективные и наиболее приспособленные к воспроизведению в лабораторных условиях энтомофаги: широкие полифаги, хищные клопы из семейства *Miridae*, *Dicyphus errans* Wolff. и *Macrolophus nubilis* H.S., инвазивный вид афидофага *Harmonia axyridis* Pall. [24; 25] (рис. 1).

К числу эффективных энтомофагов в борьбе с тлей относится кокциеллида хармония (*Harmonia axyridis* Pall.). Во всем мире проводятся исследования по выявлению эффективности энтомофага, оценке устойчивости к наиболее часто используемым инсектицидам [26–28]. В

природе ареал хармонии охватывает самые разнообразные ландшафты с резкими различиями в климатических и микроклиматических условиях. Это способствует возникновению значительной эколого-морфологической неоднородности популяции, что находит своё выражение в широкой экологической пластичности вида и наличии большого числа аберрантных форм. В коллекцию включена инвазивная популяция *Harmonia axyridis* Pall., красно-черной фенотипа, собранная в природных условиях Черноморских субтропиков, отличающаяся высокой плодовитостью и прожорливостью (рис. 2).

Рисунок 1. *Harmonia axyridis* Pall. (ориг.)Figure 1. *Harmonia axyridis* Pall. (org.)Рисунок 2. *Harmonia axyridis* Pall. красно-черной феноформы (ориг.)Figure 2. *Harmonia axyridis* Pall. red-black phenomenon (org.)

Учет, проводимый еженедельно, показал, что имаго и личинки хармонии активно хищничают, заметный защитный эффект отмечен на отдельных растениях огурца, жуки расселяются по растениям. Отмечено появление куколок. Исходное соотношение при обработке растений личинками в опыте составляло хищник:жертва – 1:30, имаго – 1:40.

Как видно из таблицы (табл. 3), выпуски хармонии в таком соотношении не только сдерживают рост численности тли, но и приводят к заметному снижению численности. Биологическая эффективность при обработке

личинками составила 79,61%, имаго 77,95%. Таким образом, можно утверждать, что биологическая эффективность личинок хармонии в отношении тли практически не отличалась от эффективности имаго при соотношении хищник:жертва личинок – 1:30; имаго – 1:40. Следует отметить, что эффективность при применении хищника в стадии личинок второго-третьего возраста несколько выше, однако при этом возрастают трудозатраты, так как расселять личинок, в отличие от имаго, необходимо на каждое растение.

Таблица 3. Биологическая эффективность применения *Harmonia axyridis* Pall. в отношении, *Aphis gossypii* Glov.Table 3. Biological efficacy of *Harmonia axyridis* Pall. against *Aphis gossypii* Glov.

Вариант опыта Experimental variant	Стадия энтомофага Entomophagus stage	Средняя численность особей тли на растении до выпусков Average number of aphid individuals per plant before releases	Соотношение хищник:жертва Ratio predator:victim	Средняя численность особей тли на растении после выпусков Average number of aphid individuals on plant after releases	Биологическая эффективность, % Biological efficacy, %
Вариант 1 Variant 1	Имаго Imago	64,1±5,8	1:40	14,9±1,35	77,95±7,05
Вариант 2 Variant 2	Личинки Larvae	66,4±6,01	1:30	13,4±1,21	79,61±7,2

Не менее вредоносным объектом овощных культур, особенно защищенного грунта, требующим постоянного контроля, является оранжерейная или тепличная белокрылка – *Trialeurodes vaporariorum* Westw. Широкий полифаг, повреждает более 100 видов растений из 8 ботанических семейств.

В качестве биоагента наиболее эффективен внутренний паразит рода энкарзия (*Encarsia*). Род *Encarsia* насчитывает более 400 видов. В практике биометода используются более 10 видов [29–31].

За 2000–2017 гг. в регионе влажных субтропиков России выявлены 26 новых инвазионных видов вредителей

растений, из них 17 – новые для территории Российской Федерации, 9 – новые для субтропической зоны Черноморского побережья Кавказа. Наиболее вредоносные из них (*Haritalodes basipunctalis* Bremer., *Halyomorpha halys*

Stal., *Paysandisia archon* Burmeister, *Ceroplastes ceriferus* F.) [32].

На Черноморском побережье Кавказа аборигенным видом является *Encarsia partenopea* Masi (рис. 3), включенная в коллекцию коллекции Лазаревской ОСЗР.

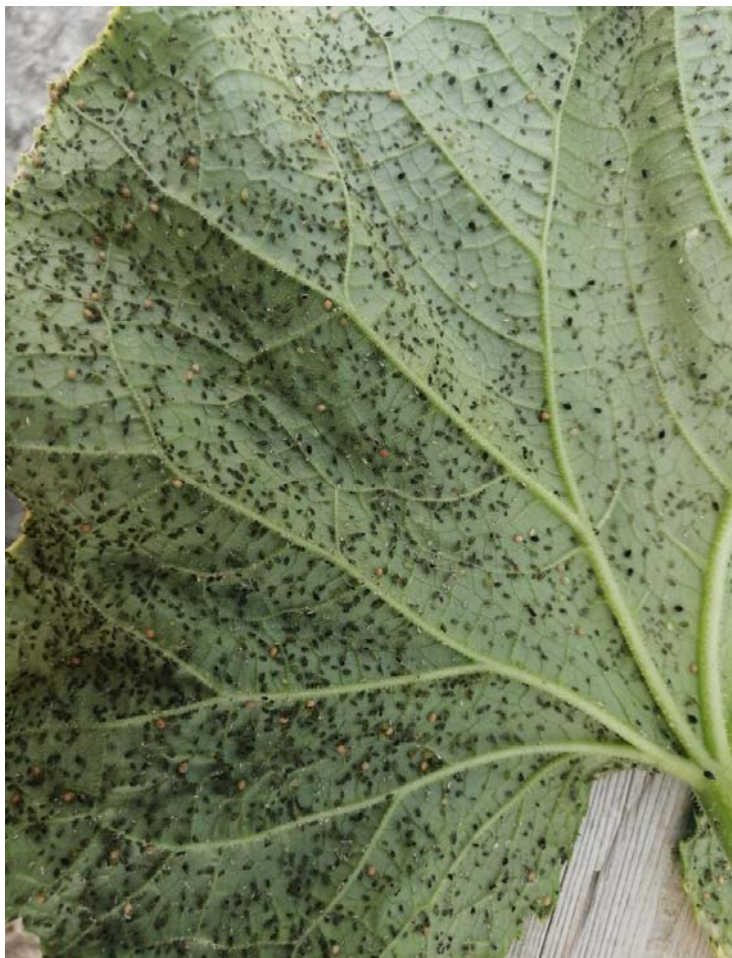


Рисунок 3. *Encarsia partenopea* Masi (ориг.)

Figure 3. *Encarsia partenopea* Masi (org.)

Вид характеризуется высокой экологической пластичностью. Хорошо переносит высокую влажность при высокой температуре. Такие условия нередко складываются в культивационных сооружениях.

В открытом грунте на растениях томата паразитирование личинок белокрылки природной популяцией энкарзии составляло в среднем 30 %, а на растениях огурца достигало 70 %.

На Лазаревской опытной станции регулярно проводится контроль качества лабораторных популяций, включенных в биоресурсную коллекцию.

Для оценки биологической эффективности *Encarsia partenopea* Masi в отношении *Trialeurodes vaporariorum* Westw. в условиях защищенного грунта Черноморского побережья Краснодарского края, заложен опыт, в трех вариантах: выпуски энкарзии в три приема в соотношении паразит:хозяин по вариантам 1:10; 1:20; 1:30 с интервалом 14 дней.

Поскольку величина вероятности случайного появления анализируемых выборок (0,025) меньше пятипроцентного уровня ($p = 0,05$) значимости различия между показателями биологической эффективности

первого (1:10) и третьего (1:30) вариантов опыта достоверны. Результаты опыта, представленные в таблице (табл. 4), демонстрируют достаточно высокую эффективность энтомофага даже при соотношении паразит:хозяин – 1:30, что составило 68,6 %. Однако, наилучший результат получен при выпусках в соотношении паразит:хозяин – 1:10. Биологическая эффективность составила 79,19 %. В последние десятилетия повсеместно ускорились темпы инвазионного процесса. Во влажных субтропиках России ежегодно выявляются новые виды фитофагов и фитопатогенов, которые приводят к гибели растений-хозяев и дестабилизации фитосанитарной ситуации в искусственных и естественных экосистемах. Особую остроту сложившейся обстановке придает то, что Сочи является курортным регионом и входит в состав особо охраняемой природной зоны. Данная ситуация требует пристального внимания и постоянного мониторинга фитосанитарной ситуации. Сотрудниками Лазаревской опытной станции проводится работа по определению степени вредоносности новых инвазивных фитофагов и выявлению возможных природных энтомофагов, приспособившихся к питанию ими.

Таблица 4. Биологическая эффективность *Encarsia partenopea* Masi в отношении *Trialeurodes vaporariorum* Westw.**Table 4.** Biological efficacy of *Encarsia partenopea* Masi against *Trialeurodes vaporariorum* Westw.

Вариант опыта Experimental variant	Всего личинок белокрылки в среднем (особей / лист) Total whitefly larvae on average (individuals / leaf)	Паразитировано энкарзией в среднем (особей / лист) Parasitized by Encarsia on average (individuals / leaf)	Соотношение паразит:хозяин Ratio parasite: host	Биологическая эффективность, % Biological efficacy, %
Вариант 1 Variant 1	74±6,29	58,6±4,90	1:10	79,19±6,59 a
Вариант 2 Variant 2	58±4,93	41±3,48	1:20	71,45±6,07
Вариант 3 Variant 3	64,3±5,4	44±3,74	1:30	68,6±5,83 a

С целью разработки методов биологической борьбы с новыми вредителями авторами проводится работа по изучению возможности приспособления имеющихся в коллекции станции энтомофагов к питанию новыми инвазивными фитофагами. В перспективе предполагается изучение эффективности природных и лабораторных популяций энтомофагов в контроле численности популяции новых вредителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов фитосанитарного мониторинга агробиоценозов, выявления новых опасных, часто карантинных видов фитофагов формируется видовой состав биоресурсной коллекции из наиболее эффективных в специфических условиях влажных субтропиков аборигенных, инвазивных и интродуцированных видов энтомоакарифагов. В коллекции Лазаревской опытной станции защиты растений представлены широкие полифаги, хищные клопы из семейства Miridae – *Dicyphus errans* Wolff. и *Macrolophus nubilis* H.S., кокцинеллиды; кокцидофаги – криптолемус (*Cryptolaemus montrouzieri* Muls.), афидофаги – *Leis dimidiata* Fabr., интродуцированная из Юго-Восточной Азии, *Harmonia axyridis* Pall.; олигофаги – специализированный паразит оранжерейной белокрылки, аборигенный вид – энкарзия (*Encarsia partenopea* Masi), внутренний паразит тлей – лизифлебус (*Lysiphlebus fabarum* Marsh.). Акарифаги представлены хищными клещами фитосейулюс (*Phytoseiulus persimilis* Ath.-Henr.) и амблисейус (*Amblyseius cucumeris* Ond.). Дана оценка биологической эффективности *Encarsia partenopea* Masi в отношении *Trialeurodes vaporariorum* Westw. в условиях защищенного грунта Черноморского побережья Краснодарского края при соотношении паразит: хозяин 1:30, 68,6%. Однако, наилучший результат получен при выпусках в соотношении паразит:хозяин – 1:10. Биологическая эффективность составила 79,19%. Начаты исследования разработки методов лабораторного разведения хилокоруса почковидного (*Chilocorus renipustulatus*).

БЛАГОДАРНОСТЬ

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

ACKNOWLEDGMENT

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельтман Д. Российская наука и научные коллекции. 2012. N 22. URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431778/Rossiyskaya_nauka_i_nauchnye_kollektsii?ysclid=la86msj25p465096863 (дата обращения: 27.10.2022)
2. Nourmohammandpour-Amiri M., Shayamehr M., Amiri B. Influence of ground beetles (Carabidae) as biological agent to control of the Mediterranean fruit fly pupae *Ceratitis capitata*, in Iranian citrus orchards // Journal of Asia-Pacific Entomology. 2022. V. 25. Iss. 4. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.101986>
3. Garcia D.R., Villagran M., Fernandez D., Kun M. Coleccion biologica de insectos: de la recoleccion a la conservacion // Revista Producción + Limpia. 2022. V. 17. N 1. C. 187–200. <https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a11>
4. Curci D., Scapoli C., Marchetti M., Bonacci T., Pezzi M. A Historical Collection of Termites in Ferrara: cataloguing and Geographical Analyses // Insects. 2021. V. 12. N 9. P. 793. <https://doi.org/10.3390/insects12090793>
5. Lehmann G., Bakanov N., Behnisch M., Turk A., Zizka V. etc. Insect diversity in Protected Natural Areas (DINA): an interdisciplinary German research project // Biodiversity and Conservation. 2021. V. 30. P. 2605–2614. DOI: 10.1007/s10531-021-02209-4
6. Биологическая защита растений // Агроэкомиссия. Цифровая платформа знаний. URL: <https://agriecomission.com/base/biologicheskaya-zashchita-rastenii> (дата обращения: 01.07.2020)
7. Белякова Н.А. Новое поколение биологических средств защиты растений на основе энтомофагов // Гавриш. 2008. N 6. С. 18–22.
8. Маршаков В.Г. Методические рекомендации по анализу видового состава паразитов в системе паразит-хозяин и отбору перспективных видов. Ленинград: ВИЗР, 1985. 67 с.
9. Беттхер И., Ветцель Т., Дреус Ф.В. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений / пер. с нем.: Попкова К.В., Шмыгля В.А. М.: Агропромиздат, 1987. 223 с.
10. Кашутина Е.В., Игнатьева Т.Н., Хейшхо И.В. О возможности использования в фермерских хозяйствах, на дачных и приусадебных участках биологических средств защиты растений // Субтропическое и декоративное садоводство. 2013. Вып. 48. С. 231–236.
11. Li H.-S., Heckel G., Huang Y.-H., Ślipiński A., Pang H. Genomic changes in the biological control agent *Cryptolaemus montrouzieri* associated with introduction // Evolutionary Applications. 2019. V. 12. N 5. P. 989–1000.
12. Li H.-S., Zou S.-J., De Clercq P., Pang H. Population admixture can enhance establishment success of the introduced biological control agent *Cryptolaemus montrouzieri* // BMC Evolutionary Biology. 2018. V.18. N 1. P. 36.

13. Surwase S.R., Shetgar S.S., Timke S.H. Predatory potential of cryptolaemus montrouzieri mulsant on mealybugs and aphids // Journal of Biological Control. 2021. V. 34. N 4. P. 308–311.
14. Игнатъева Т.Н., Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Слободянюк Г.А., Андреев О.Н., Ясюк Л.В. Методические указания по массовому разведению и применению хармонии *Harmonia axyridis* Pall. для борьбы с тлей. Сочи-Лазаревское: СТЕРХ-ГРУП, 2015. 20 с.
15. Слободянюк Г.А., Игнатъева Т.Н., Ясюк Л.В. Оценка эффективности *Harmonia axyridis* Pall. Воспитанной на искусственной питательной среде // В сборнике: Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. ФНБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», Федеральное агентство научных организаций России, РАН, Российский фонд фундаментальных исследований, Министерство образования, науки и молодежной политики администрации Краснодарского края. 2016. С. 296–300.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 2013. 35 с.
17. Кашутина Е.В. Энтомофаги и энтомопатогены в биологическом методе защиты цветочно-декоративных культур // Субтропическое и декоративное садоводство. 2014. Вып. 50. С. 251–257.
18. Кашутина Е.В., Игнатъева Т.Н. Ретроспектива интродукции и акклиматизации энтомофагов на Черноморском побережье // Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем. Третий Всероссийский съезд по защите растений. Санкт-Петербург, 16–20 декабря, 2013. Т.2. С. 50–52.
19. Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Игнатъева Т.Н., Хейшхо И.В. Экологически безопасная защита чайных плантаций юга России // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. Вып. 4(61). С. 27–36.
20. Бугаева Л.Н., Кашутина Е.В., Игнатъева Т.Н., Кашутин Е.Н. Методические указания по разведению и применению хищного жука криптолемуса (*Cryptolaemus montrouzieri* Muls.) для борьбы с червецами и пульвинариями / Сочи: ГНУ Лазаревская ОСЗР ВНИИБЗР Россельхозакадемии, 2013. 30 с.
21. Кашутина Е.В., Бугаева Л.Н., Игнатъева Т.Н. Перспективы биологической защиты цитрусовых культур в садоводстве черноморского побережья // Субтропическое и декоративное садоводство. 2013. N 48. С. 227–231.
22. Бугаева Л.Н., Игнатъева Т.Н., Кашутина Е.В. Применение криптолемуса (*Cryptolaemus montrouzieri* Muls.) для биологической защиты винограда от мучнистых червецов // Виноградарство и виноделие. 2020. Т. 49. С. 119–120.
23. Бугаева Л.Н., Кашутина Е.В., Игнатъева Т.Н., Андреев О.Н., Ясюк Л.В. Динамика акклиматизации хищного жука криптолемуса на черноморском побережье Кавказа // Земледелие. 2021. N 8. С. 41–44.
24. Alimbekova A., Sagitov A., Duisembekov B., Chadinova A., Alpysbayeva K. Efficiency of using *macrophophus nubilus* H.S. for protecting tomatoes from major pests in the greenhouse conditions of South Kazakhstan // Agrivita. 2021. V. 43. N 3. P. 526–539.
25. Pérez-Hedo M., Riahi C., Urbaneja A. Use of zoophytophagous mirid bugs in horticultural crops: Current challenges and future perspectives // Pest Management Science. 2021. V. 77. N 1. P. 41–44.
26. Necasova A., Hrudova E., Seidenglanz M., Pokorny R. Assessment of the Harlequin Ladybirds (*Harmonia axyridis*) resistance to the most commonly used active substances in insecticides // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2021. V. 69. N 3. P. 357–364.
27. Gao G., Lui S., Feng L., Wang Y., Lu Z. Effect of temperature on predation by *Harmonia axyridis* (Pall.) (Coleoptera: Coccinellidae) on the walnut aphids *Chromaphis juglandicola* Kalt. and *Panaphis juglandis* (Goeze) // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2020. V. 30. Article number: 137.
28. Yu X.-L., Zhang Y.-J., Zuo J.-F., Liu T.-X., Feng Y. Rising temperatures affect the interspecific interference competition between *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica* and their predation rate on *Myzus persicae* // Journal of Pest Science. 2022. V. 96. N 2. P. 1–15.
29. Diaz M., Rodriguez D., Cantor F. A Scouting method for estimating insect populations in an *Encarsia Formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) Mass Rearing System // Neotropical Entomology. 2019. V. 48. N 3. P. 476–483.
30. Lin L., Ali S., Wu J. Influences of varying host: Parasitoid ration on parasitism of whitefly by three different parasitoid species // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2018. V. 28. N 1. P. 1–8.
31. Pillai G., Ganga Visalalshy P., Krishnamoorthy A., Mani M. Evaluation of the indigenous parasitoid *Encarsia transvena* (Hymenoptera: Aphelinidae) for biological control of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hymiptera; Aleyrodidae) in greenhouses in India // Biocontrol Science and Technology. 2014. V. 24. N 3. P. 325–335.
32. Карпун Т.Н. Структура комплексов вредных организмов древесных растений во влажных субтропиках России и биологическое обоснование мер защиты // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Сочи, 2018. 43 с.

REFERENCES

1. Geltman D., Russian Science and Scientific collections. 2012, no. 22. Available at: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431778/Rossiyskaya_nauka_i_nauchnye_kolleksii?ysclid=la86msj25p465096863 (accessed 27.10.2022)
2. Nourmohammampour-Amiri M., Shayamehr M., Amiri B. Influence of ground beetles (Carabidae) as biological agent to control of the Mediterranean fruit fly pupae *Ceratitis capitata*, in Iranian citrus orchards. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2022, vol. 25, iss. 4. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.101986>
3. Garcia D.R., Villagran M., Fernandez D., Kun M. Coleccion biologica de insectos: de la recoleccion a la conservacion. *Revista Producción + Limpia*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 187–200. <https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a11>
4. Curci D., Scapoli C., Marchetti M., Bonacci T., Pezzi M. A Historical Collection of Termites in Ferrara: cataloguing and Geographical Analyses. *Insects*, 2021, vol. 12, no. 9, p. 793. <https://doi.org/10.3390/insects12090793>
5. Lehmann G., Bakanov N., Behnisch M., Turk A., Zizka V. etc. Insect diversity in Protected Natural Areas (DINA): an interdisciplinary German research project. *Biodiversity and Conservation*, 2021, vol. 30, pp. 2605–2614. DOI: 10.1007/s10531-021-02209-4
6. Biologicheskaya zashchita rastenii [Biological plant protection]. Available at: <https://agriecommission.com/base/biologicheskaya-zashchita-rastenii> (accessed 01.07.2020)
7. Belyakova N.A. A new generation of biological plant protection products based on entomophages. *Gavrish*. 2008, no. 6, pp. 18–22. (In Russian)
8. Marshakov V.G. *Metodicheskie rekomendatsii po analizu vidovogo sostava parazitov v sisteme parazit-khozyain i otboru perspektivnykh vidov* [Methodological recommendations for the analysis of the species composition of parasites in the parasite-host system and the selection of promising species]. Leningrad, VIZR Publ, 1985, 67 p. (In Russian)
9. Bettcher I., Wetzel T., Drews F.V., Popkova K.V., Shmyglya V.A. *Metody opredeleniya boleznei i vreditel' sel'skokhozyaistvennykh rastenii* [Methods for determining diseases and pests of agricultural plants]. Moscow, Agropromizdat Publ, 1987, 223 p. (In Russian)

10. Kashutina E.V., Ignatieva T.N., Heishkho I. In About the possibility of using biological plant protection products in farms, dacha and household plots. Subtropical and decorative gardening. 2013, iss. 48, pp. 231–236. (In Russian)
11. Li H.-S., Heckel G., Huang Y.-H., Ślipiński A., Pang H. Genomic changes in the biological control agent *Cryptolaemus montrouzieri* associated with introduction. Evolutionary Applications. 2019, vol. 12, no. 5, pp. 989–1000.
12. Li H.-S., Zou S.-J., De Clercq P., Pang H. Population admixture can enhance establishment success of the introduced biological control agent *Cryptolaemus montrouzieri*. BMC Evolutionary Biology. 2018, vol. 18, no. 1, p. 36.
13. Surwase S.R., Shetgar S.S., Timke S.H. Predatory potential of cryptolaemus montrouzieri mulsant on mealybugs and aphids. Journal of Biological Control. 2021, vol. 34, no. 4, pp 308–311.
14. Ignatieva T.N., Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Slobodyanyuk G.A., Andreenko O.N., Yasyuk L.V. *Metodicheskie ukazaniya po massovomu razvedeniyu i primeneniyu kharmonii Harmonia axyridis Pall. dlya bor'by s tlei* [Guidelines for mass breeding and use of harmonia Harmonia axyridis Pall. to combat aphids] Sochi-Lazarevskoye: STERKH-GROUP Publ., 2015, 20 p. (In Russian)
15. Slobodyanyuk G.A., Ignatieva T.N., Yasyuk L.V. Evaluation of the effectiveness of Harmonia axyridis Pall. Brought up on an artificial nutrient medium. In: *Biologicheskaya zashchita rastenii – osnova stabilizatsii agroekosistem* [Biological plant protection is the basis for the stabilization of agroecosystems]. Krasnodar, 2016, pp. 296–300. (In Russian)
16. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniya)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 2013, 35 p. (In Russian)
17. Kashutina E.V. Entomophages and entomopathogens in the biological method of protection of flower and ornamental crops. Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo [Subtropical and ornamental gardening]. 2014, iss. 50, pp. 251–257. (In Russian)
18. Kashutina E.V., Ignatieva T.N. Retrospektiva introduktsii i akklimatizatsii entomofagov na Chernomorskom poberezh'e [Retrospective of introduction and acclimatization of entomophages on the Black Sea coast]. *Fitosanitarnaya optimizatsiya agroekosistem. Tretii Vserossiiskii s"ezd po zashchite rastenii. Sankt-Peterburg, 16–20 dekabrya 2013* [Phytosanitary optimization of agroecosystems. The Third All-Russian Congress on Plant Protection. St. Petersburg, 16–20 December 2013]. St. Petersburg, 2013, vol. 2, pp. 50–52. (In Russian)
19. Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Ignatieva T.N., Heishkho I.V. Environmentally safe protection of tea plantations in the South of Russia. South of Russia: ecology, development. 2021, vol. 16, iss. 4(61), pp. 27–36. (In Russian)
20. Bugaeva L.N., Kashutina E.V., Ignatieva T.N., Kashutin E.N. *Metodicheskie ukazaniya po razvedeniyu i primeneniyu khishchnogo zhuka kriptolemus (Cryptolaemus montrouzieri Muls.) dlya bor'by s chervetsami i pul'vinariyami* [Guidelines for breeding and use of the predatory beetle Cryptolaemus (Cryptolaemus montrouzieri Muls.) to combat worms and pulvinaria]. Sochi, 2013, 30 p. (In Russian)
21. Kashutina E.V., Bugaeva L.N., Ignatieva T.N. Prospects of biological protection of citrus crops in horticulture of the Black Sea coast. Subtropical and decorative gardening. 2013, no. 48, pp. 227–231. (In Russian)
22. Bugaeva L.N., Ignatieva T.N., Kashutina E.V. The use of cryptolaemus (Cryptolaemus montrouzieri Muls.) for biological protection of grapes from mealybugs. Viticulture and winemaking. 2020, vol. 49, pp. 119–120. (In Russian)
23. Bugaeva L.N., Kashutina E.V., Ignatieva T.N., Andreenko O.N., Yasyuk L.V. Dynamics of acclimatization of the predatory beetle cryptolemus on the Black Sea coast of the Caucasus. Agriculture. 2021, no. 8, pp. 41–44. (In Russian)
24. Alimbekova A., Sagitov A., Duisembekov B., Chadinova A., Alpysbayeva K. Efficiency of using macrolophus nubilus H.S. for protecting tomatoes from major pests in the greenhouse conditions of South Kazakhstan. Agrivita. 2021, vol. 43, no. 3, pp. 526–539.
25. Pérez-Hedo M., Riahi C., Urbaneja A. Use of zoophytophagous mirid bugs in horticultural crops: Current challenges and future perspectives. Pest Management Science. 2021, vol. 77, no. 1, pp. 41–44.
26. Necasova A., Hrudova E., Seidenglanz M., Pokorný R. Assessment of the Harlequin Ladybirds (Harmonia axyridis) resistance to the most commonly used active substances in insecticides. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2021, vol. 69, no. 3, pp. 357–364.
27. Gao G., Lui S., Feng L., Wang Y., Lu Z. Effect of temperature on predation by Harmonia axyridis (Pall.) (Coleoptera: Coccinellidae) on the walnut aphids Chromaphis juglandicola Kalt. and Panaphis juglandis (Goeze). Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2020, vol. 30, article number: 137.
28. Yu X.-L., Zhang Y.-J., Zuo J.-F., Liu T.-X., Feng Y. Rising temperatures affect the interspecific interference competition between Harmonia axyridis and Propylea japonica and their predation rate on Myzus persicae. Journal of Pest Science. 2022, vol. 96, no. 2, pp. 1–15
29. Diaz M., Rodriguez D., Cantor F. A Scouting method for estimating insect populations in an Encarsia Formosa (Hymenoptera: Aphelinidae) Mass Rearing System. Neotropical Entomology. 2019, vol. 48, no. 3, pp. 476–483.
30. Lin L., Ali S., Wu J. Influences of varying host: Parasitoid ration on parasitism of whitefly by three different parasitoid species. Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2018, vol. 28, no. 1, pp. 1–8.
31. Pillai G., Ganga Visalalshy P., Krishnamoorthy A., Mani M. Evaluation of the indigenous parasitoid Encarsia transvena (Hymenoptera: Aphelinidae) for biological control of the whitefly Bemisia tabaci (Hymiptera; Aleyrodidae) in greenhouses in India. Biocontrol Science and Technology. 2014, vol. 24, no. 3, pp. 325–335.
32. Karpun T.N. The structure of complexes of harmful organisms of woody plants in the humid subtropics of Russia and the biological justification of protection measures. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. Sochi, 2018, 43 c. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

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

AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

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

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

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

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

Оригинальная статья / Original article
УДК 576.895.342
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-50-59



Гельминтофауна рыб озера Севан в период изменения уровня воды

Рузанна Л. Оганесян¹, Мартин Я. Рухкян¹, Лаура Д. Арутюнова¹, Мадина З. Магомедова², Патимат Д. Магомедова²

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

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Рузанна Л. Оганесян, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института зоологии, Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА; 0014 Республика Армения, г. Ереван, ул. П. Севака, 7.
Тел. +37494450542
Email ruzannahov37@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4277-7785>

Формат цитирования

Оганесян Р.Л., Рухкян М.Я., Арутюнова Л.Д., Магомедова М.З., Магомедова П.Д. Гельминтофауна рыб озера Севан в период изменения уровня воды // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 50-59. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-50-59

Получена 4 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 14 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Целью работы является изучение гельминтофауны рыб бассейна озера Севан.

Материал и методы. Материалом послужили сборы гельминтов рыб и моллюсков из бассейна оз. Севан. По общепринятой методике обследовано 214 особей рыб. Сбор, камеральную обработку и определение материала проводили по общепринятым методам. Статистическую обработку материала проводили с помощью компьютерной программы «BioStat 2009». Из литорали оз. Севан вскрыто 124 экз. моллюсков. Сбор и определение моллюсков проводили по общепринятой методике. Работа выполнена в Научном центре зоологии и гидроэкологии НАН Республики Армения. Материалом послужили собственные сборы.

Результаты. При гельминтологическом исследовании рыб бассейна оз. Севан обнаружены трематоды, цестоды, нематоды и акантоцефалы. Общая инвазированность рыб гельминтами составила 27,1 %. Зарегистрировано 6 видов гельминтов, 2 из которых отмечены у новых хозяев впервые в Армении. Определены количественные характеристики инвазированности рыб гельминтами. Более высокая инвазированность рыб отмечается метацеркариями трематоды *Diplostomum sp.* и плероцеркоидами цестоды *Ligula intestinalis*. Приводится краткий анализ инвазированности рыб обнаруженными гельминтами.

Заключение. Изучен видовой состав гельминтофауны рыб бассейна озера Севан. Выявлены возбудители опасных гельминтозов, вызывающих гибель рыб. Исследования гельминтофауны рыб бассейна оз. Севан актуальны и будут продолжены. Большая часть видов гельминтов рыб имеет хозяйственное значение. Некоторые виды обнаруженных гельминтов очень инвазивны и наносят огромный ущерб рыбному хозяйству республики.

Ключевые слова

Озеро Севан, гельминтофауна рыб, инвазированность рыб гельминтами, контагиозные гельминтозы рыб, промежуточные хозяева гельминтов.

The fish helminth fauna of Lake Sevan during a period of water level change

Ruzanna L. Hovhannisyan¹, Martin Ya. Rukhkyan¹, Laura D. Harutyunova¹, Madina Z. Magomedova² and Patimat D. Magomedova²

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

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Ruzanna L. Hovhannisyan, PhD in Biological Sciences, Senior Scientific Researcher, Institute of Zoology, Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences, Republic of Armenia; 7 P. Sevak St, Yerevan, 0014 Armenia.

Tel. +37494450542

Email ruzannahov37@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4277-7785>

How to cite this article

Hovhannisyan R.L., Rukhkyan M.Ya., Harutyunova L.D., Magomedova M.Z., Magomedova P.D. The fish helminth fauna of Lake Sevan during a period of water level change. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 50-59. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-50-59

Received 4 May 2023

Revised 14 June 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. The aim of the work is to study the fish helminth fauna of Lake Sevan basin.

Material and Methods. Fish helminths and molluscs were collected from the Lake Sevan basin. A total of 214 specimens of fish were studied. The collection, cameral processing and determination of the material was carried out according to generally accepted methods. Statistical processing of the material was carried out using the BioStat 2009 computer program. 124 specimens of molluscs were examined from the littoral of the Lake Sevan. The collection and identification of molluscs was carried out according to generally accepted methods. The work was carried out at the Scientific Centre of Zoology and Hydroecology of NAS of the Republic of Armenia. Its own collections have been used as material.

Results. Trematodes, cestodes, nematodes and acanthocephals were found as a result of studies of fish from the Lake Sevan basin. The total infestation of the fish by helminths was 27.1 %. Six species of helminths have been identified, two of which are the first to be recorded in new hosts in Armenia. The higher infestations of fish were noted by metacercariae of the trematode *Diplostomum sp.* and plerocercoids of the cestode *Ligula intestinalis*. A brief analysis of the infestation of fish by the detected helminths is given.

Conclusion. The species composition of the helminth fauna of fish in the Lake Sevan basin was studied. Pathogens of dangerous helminthiases causing the death of fish have been noted. Studies of the helminth fauna of fish in the Lake Sevan basin are relevant and will be continued. Most of the species of fish affected by helminths are of economic importance. Some species of the helminths which were found are very invasive and cause great damage to the fisheries of the republic.

Key Words

Lake Sevan, fish helminth fauna, infestation of fish by helminths, dangerous helminthiases of fish, intermediate hosts of helminths.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Севан – древнее реликтовое озеро, одно из крупнейших высокогорных олиготрофных озер, расположенное на высоте 1900, 30 м н. у. м. на Армянском нагорье. Оз. Севан является крупнейшим пресноводным водоемом Кавказа и имеет важнейшее экономическое и рекреационное значение.

В состав ихтиофауны оз. Севан входят эндемики: севанская форель *Salmo ischchan* Kessler, 1877, храмуля *Capoeta capoeta* Guldenstadt, 1773 и усач (*Barbus lacerta* Heckel, 1843), и виды-интродуценты: сиг *Coregonus lavaretus* Linnaeus, 1758, акклиматизированный в озере в 1920-е годы, и серебряный карась *Carassius auratus gibelio* Bloch, 1782, интродуцированный в озеро в начале 1980-х гг. В притоках озера обитают серебряный карась, усач, ручьевая форель, севанская форель, быстрянка, храмуля, амурский чебачок и др. [1].

В 20-м в. в озере произошли крупномасштабные преобразования: строительство водохранилищ, интродукция рыб, бесконтрольный промысел и т.д. Использование водных ресурсов озера повлекло за собой снижение уровня воды в озере на 20 м. В результате антропопрессии произошли негативные изменения экосистемы озера. Оно подверглось эвтрофированию. В биоразнообразии озера произошли значительные изменения видового состава гидробионтов: исчезновение некоторых аборигенных таксонов рыб (эндемичных видов) и резкое сокращение численности других, плотность рыбы в этот период упала почти в 20 раз. В озере обитало множество видов беспозвоночных, имеющих большую кормовую ценность для рыб, но в то же время являющихся промежуточными хозяевами гельминтов рыб [1].

Для спасения озера были предприняты меры по поднятию уровня воды, восстановлению экосистемы

озера Севан, в результате чего уровень воды озера стал ежегодно повышаться. Перемены гидрологического режима озера, в целом, положительно сказались на его экосистеме. Однако, эти явления повлекли за собой изменения: проникновение новых видов из близлежащих затопленных участков и интродуцированные инвазивные виды повлияли на видовой состав как ихтиофауны оз. Севан, так и беспозвоночных животных [1]. Изменения в окружающей среде, влияющие на одного из хозяев паразитического организма, прямо или косвенно оказывают значительное влияние на наличие, обилие и разнообразие паразитов, заражающих рыбу [2]. Естественно, эти перемены не могли не отразиться на фауне гельминтов рыб. Это придает изучению гельминтофауны рыб особый интерес.

Гельминтозы рыб наносят огромный ущерб и являются существенным фактором, влияющим на жизненную форму рыб. Важное значение приобретает оценка гельминтологической ситуации в естественных водоемах [3]. Состояние паразитофауны используется как один из самых чувствительных биоиндикаторов при изучении водных экосистем, поскольку наличие и обилие паразитических организмов у рыб может отражать благополучие водного сообщества в целом [4]. Ухудшающаяся экологическая обстановка в естественных водоемах приводит к инвазионным заболеваниям, создает благоприятные условия для распространения различных возбудителей, вызывающих такие опасные симптомы, как прободение брюшной полости, слепоту и др., вплоть до гибели рыб [2]. Гельминтологические исследования рыб в оз. Севан проводили многие исследователи, начиная с 1915-го года. Однако, уровень воды озера постоянно изменяется, за последнее десятилетие он поднялся на 0,45 м (рис. 1).



Рисунок 1. Уровень озера Севан, 2012-2022 гг. (по состоянию на 11 декабря 2022 г.)

Источник: <http://meteomonitoring.am/public/admin/ckfinder/userfiles/files/sevan/03-01-1.png>

Figure 1. Lake Sevan level, 2012-2022 (as of December 11, 2022)

Source: <http://meteomonitoring.am/public/admin/ckfinder/userfiles/files/sevan/03-01-1.png>

Исходя из вышесказанного, изучение гельминтофауны рыб оз. Севан является актуальным и имеет научное и практическое значение, особенно в условиях изменения уровня воды озера. За последние 10 лет исследований гельминтофауны рыб не проводилось. Нами изучался видовой состав гельминтов рыб.

Целью работы является изучение гельминтофауны рыб бассейна озера Севан.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом исследований послужили сборы гельминтов рыб из бассейна оз. Севан (вблизи населенных пунктов Артаниш, Цапатах и Джил) и притоков Гаварагет и Дзкнагет. В 2022 г. по общепринятой методике [5] обследовано 214 особей 5-ти видов рыб: 126 особей усача (*Barbus lacerta* Heckel, 1843), 40 особей серебряного карася (*Carassius auratus gibelio* Bloch, 1782), 21 особь быстрянки (*Alburnoides bipunctatus* Bloch, 1782), 16 особей храмули (*Capoeta capoeta* Guldenstadt, 1773) и 11 особей сига (*Coregonus lavaretus* Linnaeus, 1758). Сбор и камеральную обработку гельминтологического материала проводили по общепринятым в гельминтологии методам [5]. Определение видов гельминтов проводили по Определителю паразитов пресноводных рыб фауны СССР [6]. Для количественной характеристики популяций гельминтов использовали общепринятые показатели: экстенсивность инвазии (ЭИ), интенсивность инвазии (ИИ) и индекс обилия (ИО). В литорали оз. Севан (вблизи населенных пунктов Артаниш, Цапатаг, Джил, Варденис, Цовак) собраны прудовики – брюхоногие моллюски сем. Lymnaeidae (L., 1758) *Lymnaea stagnalis* Linnaeus, 1758, *Lymnaea (Radix) auricularia* Linnaeus, 1758, *Lymnaea*

(*Radix*) *ovata* Draparnaud, 1805 в количестве 124 экз. Сбор и определение моллюсков проводили по общепринятым методикам [7]. Статистическую обработку материала проводили с помощью компьютерной программы «BioStat 2009». Достоверность разницы показателей экстенсивности инвазии разных видов рыб одним и тем же гельминтом определяли с помощью критерия Фишера, достоверность разницы показателей интенсивности инвазии – с помощью критерия Стьюдента.

Работа выполнена в Научном центре зоологии и гидроэкологии НАН Республики Армения. Материалом послужили собственные сборы.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате гельминтологических исследований рыб бассейна оз. Севан выявлены трематоды, цестоды, нематоды и акантоцефалы (скребни). Общая инвазированность обследованных рыб гельминтами составила 27,1 %. Из 214-ти особей рыб инвазированы 58. Обнаружено 6 видов гельминтов, относящихся к 4-м классам: Trematoda – *Diplostomum* sp. Nordmann, 1832, Cestoda – *Ligula intestinalis* (L., 1758), *Schyzocotyle (Bothriocephalus) acheilognathi* Yamaguti, 1934, *Diphyllobothrium dendriticum* Nitzsch, 1824; Nematoda – *Rhabdochona macrostoma* Moravec et Mikailov, 1970; Acanthocephala – *Metechinorhynchus baeri* Kostylew, 1928. Гельминты паразитировали в полости тела, кишечнике, желудке и хрусталиках глаз рыб.

Определены количественные характеристики инвазированности рыб выявленными видами гельминтов – ЭИ, ИИ и ИО. Данные исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Инвазированность обследованных рыб гельминтами

Table 1. Helminth infestation of examined fish

Виды гельминтов Helminth species	Хозяин Host	Локализация Localization	ЭИ, % EI, %	ИИ ср., экз. II av., example	ИО, экз. AI, example
Trematoda					
<i>Diplostomum</i> sp.	Храмуля <i>Varicorhinus capoetea</i>	хрусталик глаза lens of eye	43,8	3,7 ± 0,365	1,6
“-“	Карась <i>Carassius carassius</i>	“-“	65,0	2,69 ± 0,28	1,7
“-“	Усач <i>Barbus barbus</i>	“-“	25,4	1,58 ± 0,11*	0,4
“-“	Сиг <i>Coregonus lavaretus</i>	“-“	81,8	2,67 ± 0,60	2,2
“-“	Быстрянка <i>Alburnoides bipunctatus</i>	“-“	23,8	1,6 ± 0,29*	0,4
Cestoda					
<i>Ligula intestinalis</i>	Храмуля <i>Varicorhinus capoetea</i>	полость тела body cavity	31,0	3,2 ± 0,58	1,0
“-“	Карась <i>Carassius carassius</i>	“-“	20,0	3,5 ± 0,48	0,7
<i>Schyzocotyle</i>	Храмуля	кишечник	18,8	7,3 ± 4,0	1,4

<i>acheilognathi</i>	<i>Carassius carassius</i>	intestines			
"_"	Усач <i>Barbus barbus</i>	"_"	4,8	4,83 ± 1,67	0,2
<i>Diphyllbothrium dendriticum</i>	Сиг <i>Coregonus lavaretus</i>	желудок stomach	9,1	1	0,1
Nematoda <i>Rhabdochona macrostoma</i>	Храмуля <i>Carassius carassius</i>	кишечник intestines	12,5	13	1,6
	Карась <i>Carassius carassius</i>	"_"	7,5	12 ± 0,5	0,9
Acanthocephala <i>Metechinorhynchus baeri</i>	Храмуля <i>Carassius carassius</i>	кишечник intestines	12,5	13	1,6

Примечание: * – $p < 0,05$

Note: * – $p < 0.05$

Как видно из таблицы 1, у храмуля обнаружено 5 видов гельминтов. В кишечнике храмуля обнаружены 3 вида: цестода *Schyzocotyle acheilognathi*, нематода *Rhabdochona macrostoma* и скребень *Metechinorhynchus baeri*. В полости тела храмуля обнаружены плероцеркоиды (ремнеца) *Ligula intestinalis* (лигулы). В хрусталиках глаз обнаружены метацеркарии трематоды *Diplostomum sp.* (диплостомы). У карасей выявлено 3 вида гельминтов. В кишечнике обнаружена нематода *Rhabdochona macrostoma*. В полости тела выявлены плероцеркоиды лигулы. В хрусталиках глаз обнаружены метацеркарии диплостом. У усачей выявлено 2 вида гельминтов: цестода *Schyzocotyle (Bothriocephalus) acheilognathi* в кишечнике и метацеркарии диплостом в хрусталиках глаз. У сегов обнаружено 2 вида гельминтов: метацеркарии диплостом и цестода *Diphyllbothrium dendriticum*. У быстрянок обнаружен 1 вид – метацеркарии диплостом.

Приводится краткий анализ инвазированности рыб обнаруженными гельминтами. Более высокая инвазированность рыб наблюдается метацеркариями диплостом и плероцеркоидами лигулы.

В хрусталиках глаз всех видов рыб обнаружены метацеркарии диплостом. Инвазированность ими у сегов (81,8 %), карасей (65 %) и храмуля (43 %) выше, чем у других видов рыб. Метацеркарии диплостом вызывают диплостомоз – опасное инвазионное заболевание рыб, причиняющее огромный ущерб жизненной форме рыб. Паразитируя в хрусталиках глаз, они разрушают его, приводя к слепоте и, как следствие, к гибели рыб. Погибшие рыбы всплывают, становясь легкой добычей и, в то же время, источником заражения рыбоядных птиц – окончательных хозяев диплостом. Половозрелые диплостомы (мариты) паразитируют в кишечнике птиц, являющихся источником распространения диплостомоза и способных заражать водоемы на значительные расстояния [8]. Одной из составляющих кормовой базы рыб является бентос, в состав которого входят беспозвоночные животные – промежуточные хозяева гельминтов, являющиеся источником заражения рыб при наличии в них инвазии [3]. Промежуточными хозяевами и резервуаром инвазии диплостом являются прудовики – брюхоногие моллюски сем. *Lymnaeidae* [8]. Для выявления очагов распространения диплостомоза в условиях изменения уровня воды, из литорали озера на спонтанную зараженность личиночными формами

гельминтов были исследованы промежуточные хозяева трематод – лимнеиды *Lymnaea stagnalis* Linnaeus, 1758, *Lymnaea (Radix) auricularia* Linnaeus, 1758, *Lymnaea (Radix) ovata* Draparnaud, 1805 в количестве 124 экз. У 73 экз. моллюсков (58,9 %) обнаружены церкарии диплостом. Это означает, что на оз. Севан существуют стойкие очаги диплостомоза. Один моллюск, зараженный личинками диплостом, в течение суток может выделять до нескольких десятков тысяч церкарий, а за всю жизнь – более 10 млн церкарий [8].

Диплостомы являются самым массовым видом гельминтов рыб оз. Севан. Однако, показатели инвазированности рыб метацеркариями диплостом, отмеченные нами, ниже, по сравнению с данными исследований 1970-х гг., когда ЭИ метацеркариями диплостом у севанского сига и усача составляла 100 %. Автором прослежена динамика зараженности рыб оз. Севан за 20 лет (1970–1989 гг.) [9].

По данным недавних фаунистических исследований зообентоса оз. Севан, в 2017-ом г. было отмечено уменьшение биомассы моллюсков сем. *Lymnaeidae* в озере: *Lymnaea stagnalis* и *Radix auricularia* встречались в малых количествах [10]. При сравнительном анализе состава зообентоса 1970-х гг. [11] и 2017-го г. [10], выявлены изменения его количественных и качественных показателей, в зависимости от характера биотопов. Лимнеиды, являющиеся промежуточными хозяевами диплостом, регистрировались как в 1970-е гг., так и в настоящее время, но их количество значительно уменьшилось. Этим объясняется снижение степени инвазированности рыб метацеркариями диплостом, по сравнению с 1970-ми гг., когда ЭИ была высока [9].

Цестода *Ligula intestinalis*, или лигула обыкновенная – вид ленточных червей из семейства Ремнецов. В оз. Севан лигула впервые отмечалась у храмуля и усача до спуска уровня воды озера с невысокой зараженностью [12]. Доминирующим в те годы видом был эндемик озера – севанская форель, невосприимчивая к лигулезу, как и сиг. Поедая инвазированных мелких рыб, они элиминируют лигул из биоценоза, тем самым снижая заражение птиц лигулами [13]. Карась, хотя был привнесен в озеро в 1983г., однако в качестве хозяина *Ligula intestinalis* отмечен нами в озере лишь в 2007 г. [14]. Обнаружение плероцеркоидов лигул в полости тела карасей свидетельствует о переходе

гельминта на нового хозяина. Карась является эврифагом (всеядным), имеет широкий спектр питания [1].

В наших исследованиях лигулы обнаружены у храмуль и карасей. Инвазированность рыб лигулами зависит от наличия первых промежуточных хозяев цестоды – циклопов и диапомбусов отр. Веслоногих (Copepoda): *Cyclops strenuus* (Fischer), *Acanthodiptomus denticornis* (Wierzejski), *Acanthocyclops bicuspidatus* (Claus), *Eudiaptomus gracilis* (Sars) и др. [13]. По данным фаунистических исследований зоопланктона оз. Севан, наиболее распространенными видами веслоногих рачков являлись следующие: *Acanthodiptomus denticornis*, *Cyclops strenuus*, *Arctodiptomus bacilifer* (Koelbel), *C. vicinus* Uljanin, *Eucyclops serrulatus* (Fischer) и др. [15]. Среди указанных видов потенциальными хозяевами лигул могут служить *C. strenuus* и *A. denticornis*. Вторые промежуточные хозяева лигул –

рыбы (преимущественно карповые). На фазе плероцеркоида у рыб лигула является очень опасным гельминтом, вызывая контактный гельминтоз – лигулез рыб. Плероцеркоиды, паразитирующие в полости тела рыб, – доминантная фаза жизненного цикла паразита, как по продолжительности (до 3-х лет и более), так и по глубине воздействия на хозяина [13]. Имея крупные размеры (могут достигать 120 см в длину, хотя обычно их размеры меньше), вызывают атрофию внутренних органов, бесплодие рыб, при высокой ЭИ часто происходит разрыв полости тела, приводящий к гибели рыб. Сильно инвазированные рыбы погибают, всплывая на поверхность и легко вылавливаясь дефинитивными (окончательными) хозяевами лигул – рыбоядными птицами, основными распространителями возбудителя [13]. Нами нередко наблюдались случаи прободения полости тела рыб плероцеркоидами лигул (рис. 2).



Рисунок 2. Прободение полости тела карася плероцеркоидами *Ligula intestinalis*. Оригинальное фото
Figure 2. Perforation of crucian carp body cavity by plerocercoids *Ligula intestinalis*. Original photograph

Цестода *Bothriocephalus acheilognathi* Yamaguti, 1934 впервые в фауне Армении была зарегистрирована у храмуль оз. Севан в 1997 г. [17; 14]. В наших исследованиях этот вид обнаружен у храмуль и усачей озера. Усач, как хозяин цестоды *Bothriocephalus acheilognathi*, отмечается впервые в Армении. Это означает переход данного вида гельминта к новому хозяину. Паразитируя в кишечнике, цестода оказывает механическое, токсическое, трофическое и инокуляторное действие на организм зараженных рыб. При высокой интенсивности инвазии наблюдается закупорка кишечника цестодами и гибель молоди рыб [2]. Развитие цестоды происходит с участием одного промежуточного хозяина – веслоногих рачков *Cyclops strenuus*, *C. vicinus*, *Mesocyclops crassus* и др. [2]. Потенциальными хозяевами цестоды в озере могут служить рачки *C. strenuus*.

В 2019 г. в Норвегии и Скандинавии впервые был обнаружен инвазивный азиатский вид цестоды *Schyzocotyle (Bothriocephalus) acheilognathi*, идентифицированный как *Schyzocotyle acheilognathi* Yamaguti, 1934; этот вид имеет несколько названий, остальные

названия признаны синонимами (Syn. *Bothriocephalus acheilognathi* Yamaguti, 1934; *Bothriocephalus opsariichthydis* Yamaguti, 1934; *Bothriocephalus gowkongensis* Yeh, 1955) [18].

Цестода *Diphyllbothrium dendriticum* впервые в фауне Армении обнаружена у севанских сегов в 2002 г. [19]. В 2004 г. ЭИ сегов возросла (17 %), авторы предположили, что на оз. Севан происходит образование природного очага *D. dendriticum*. Цестода *D. dendriticum* обнаружена нами у одной особи сига. Данные об обнаружении природного очага *D. dendriticum* на оз. Севан подтвердились нашими исследованиями. Цикл развития протекает со сменой двух промежуточных хозяев. Первыми служат веслоногие ракообразные: *Cyclops strenuus*, *Acanthodiptomus denticornis*, *Eudiaptomus gracilis*, *Megacyclops gigas* Claus и др. Вторые промежуточные (и резервуарные) хозяева – многие виды рыб. Дефинитивные хозяева цестоды – многие виды птиц, в основном чайки [2]. Потенциальные первые промежуточные хозяева в оз. Севан – *C. strenuus* и *A. denticornis*.

Нематода *Rhabdochona macrostoma*, обнаруженная нами в кишечнике храмуль и карасей из притоков озера размножается только в водной среде. ЭИ у храмуль составляет 12,5 %, у карасей ЭИ = 7,5 %, с высокой ИИ (до 36 экз.). По характеру питания храмуля является детрито-бентофагом, взрослая храмуля питается бентосом, из бентосных организмов поедая больше всего личинок поденок и хирономид. Карась является эврифагом [1]. Этим объясняется обнаружение у храмуль и карасей нематоды *Rhabdochona macrostoma*, которая ранее в Армении не регистрировалась. Карась, как хозяин этого вида, в Армении отмечается впервые. Это означает, что данный вид гельминта приспособился к новому хозяину. Впервые в фауне Армении *Rhabdochona macrostoma* была обнаружена и описана нами у храмуль оз. Севан [20].

Промежуточными хозяевами нематоды являются личинки поденок (Ephemeroptera Hyatt et Arms, 1891) из родов *Ephemerella*, Walsh, 1862 и *Heptagenia* Walsh, 1863, более присущие речному бентосному сообществу [21]. В связи с подъемом уровня воды в оз. Севан за последние два десятилетия, видовое разнообразие зообентоса претерпело положительные изменения. Продолжение повышения уровня воды озера привело к процессу восстановления бентофауны, формированию различных биотопов и увеличению количественных показателей зообентоса в литорали озера, в районе затопленных участков, где, в частности, обнаружены и личинки поденок [22]. Так, если в 1991 г. в составе бентоса озера личинки поденок практически не встречались [11], то в 2013-2014 гг. было обнаружено 25 бентосных видов, в т.ч. личинки поденок (Ephemeroptera) [22]. В реках Дзнкагет и Гаварагет бассейна оз. Севан отмечено разнообразие личинок поденок, в т.ч. *Ephemerella ignita* (род *Ephemerella*) [23]. Необходимо также отметить, что по данным фаунистических исследований, в р. Раздан, вытекающей из оз. Севан, обнаружено большое количество поденок рода *Heptagenia* [24].

Metechinorhynchus baeri (Syn. *Echinorhynchus baeri* Kostylew 1928; *E. sevani* Dinnik, 1932; *Metechinorhynchus sevani* Dinnik, 1932) – эндемик оз. Севан, вид акантоцефал (скребней), паразитирующий в кишечнике рыб. *M. baeri* до спуска уровня воды озера являлся массовым паразитом севанской форели (ИИ – до 1500 экз.) и в небольших количествах встречался у сивого, у карповых рыб его не обнаруживали [12]. После падения уровня озера скребень был обнаружен у храмули и усача, а инвазированность сига *M. baeri* в 1970 г. возросла до 73 %, высокий процент зараженности сига означал, что *M. baeri* приспособился к новому хозяину [16]. Автор полагает, что переход скребня к новым неспецифичным хозяевам – карповым рыбам – объясняется резким падением численности окончательного хозяина паразита – форели, и изменением кормовой базы рыб [16], а также изменением спектра питания других видов рыб, являющихся узкоспецифичными в жизненном цикле скребня. В 1996–1997 гг. скребень *M. (Echinorhynchus) baeri* был обнаружен у храмуль [14; 17]. В последующие годы скребня-эндемика не регистрировали [14; 25]. Первыми промежуточными хозяевами этого вида являются представители отр. бокоплавов – гаммарусы *Gammarus pulex* Linnaeus, 1758 и *Gammarus lacustris* G.O. Sars, 1863 [12].

В результате спуска уровня озера, а также интенсивного промысла, произошли количественные изменения окончательных и промежуточных хозяев эндемика. По данным исследований зоопланктона, в связи с понижением уровня озера, численность бокоплавов сократилась в 2–3 раза [26]. Вследствие резкого падения численности гаммарусов – промежуточных хозяев скребня, прервался жизненный цикл ранее массового скребня-эндемика. В результате дальнейшего повышения уровня воды озера, численность гаммарусов возросла: по данным недавних исследований зообентосного сообщества озера, в составе зообентоса отмечено повышение численности гаммарусов *Gammarus lacustris* [22]. Этим, очевидно, объясняется появление скребня-эндемика *M. baeri* вновь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общая инвазированность рыб гельминтами составляет 27,1 %. В результате проведенных исследований, зарегистрировано 6 видов гельминтов рыб, 2 из которых отмечены у новых хозяев впервые в Армении. Выявлены возбудители опасных контактиозных гельминтозов – лигулеза и диплостомоза, вызывающих гибель рыб. Приводится краткий анализ инвазированности рыб обнаруженными гельминтами. Наиболее высокая инвазированность рыб наблюдается плероцеркоидными цестоды *Ligula intestinalis* и метацеркариями трематоды *Diplostomum* sp. Диплостомы являются самым массовым видом обнаруженных гельминтов рыб оз. Севан, паразитируя в хрусталиках глаз всех видов исследованных рыб.

Видовой состав гельминтов рыб озера сложился, во-первых, из эндемиков – бывших обитателей верховьев рек, послуживших основой образования озера, и, во-вторых, видов, интродуцированных в дальнейшем. Обедненность гельминтофауны рыб озера, как и его ихтиофауны, объясняется изолированным положением озера, а также его сравнительно недавним происхождением [12]. Другой важной причиной явились вышеуказанные негативные изменения экосистемы озера под влиянием антропопрессии.

Переход озера олиготрофного типа в эвтрофный сопровождается уменьшением видового разнообразия паразитов [27]. Процессы, происходящие в гельминтофауне рыб оз. Севан, закономерно отражают этапы трансформации экосистемы озера, в первую очередь, его эвтрофирование. В результате произошло уменьшение видового состава гельминтов рыб.

Паразиты, чьи жизненные циклы протекают при участии реликтовых ракообразных, практически исчезают первыми (скребни), их отсутствие – одна из характерных особенностей озер эвтрофированного типа [27]. Этим объясняется исчезновение скребня-эндемика *Metechinorhynchus baeri* в оз. Севан на протяжении многих лет и появление после дальнейшего повышения уровня озера.

Таким образом, в результате повышения уровня воды озера Севан, произошли количественные и качественные изменения окончательных и промежуточных хозяев гельминтов рыб, а также спектра питания рыб. Как следствие, это привело к восстановлению одних видов гельминтов (эндемика *Metechinorhynchus baeri*), появлению других видов (*Diphyllbothrium dendriticum*), а также к смене окончательных хозяев гельминтов (*Rhabdochona macrostoma* и *Schyzocotyle acheilognathi*).

Исследования гельминтофауны рыб озера Севан актуальны. Большая часть видов гельминтов имеет хозяйственное значение. Некоторые виды гельминтов причиняют огромный вред жизненной форме рыб и вызывают их гибель, нанося большой ущерб рыбному хозяйству республики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Габриелян Б.К. Рыбы озера Севан. Ереван: Гитутюн, 2010. 252 с.
2. Васильков Г.В. Паразитарные болезни рыб и санитарная оценка рыбной продукции. Москва: ВНИРО, 1999. 191 с.
3. Догель В.А. Паразитофауна и окружающая среда: некоторые вопросы паразитов пресноводных рыб // Основные проблемы паразитологии рыб. Ленинград: ЛГУ, 1958. С. 9–55.
4. MacKenzi K., Williams H.H., Williams B., McVicar A.H., Siddall R. Parasites as indicators of water quality and the potential use of helminth transmission in marine pollution studies // *Advances in Parasitology*. 1995. Т. 35. С. 86–144.
5. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Ленинград: Наука, 1985. 121 с.
6. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Паразитические многоклеточные (Вторая часть). Ленинград: Наука, 1987. Т. 3. 583 с.
7. Акрамовский Н.Н. Моллюски. Фауна Армянской ССР. Ереван: Акад. наук Арм. ССР, 1976. 267с.
8. Шигин А.А. Трематоды фауны СССР. Род *Diplostomum*. Метацеркарии. Москва: Наука, 1986. 256 с.
9. Вартанян Л.К. Паразитофауна рыб озера Севан и некоторых других водоемов и водотоков Армении // Автореф. канд. дисс., Ереван. 1993. 22 с.
10. Jenderedjian K., Hakobyan S., Demyan M. The Impact of Trophic Status and Climate Change on the Benthic Community in Lake Sevan, Armenia. Caucasus Mountain Forum 2019, Ankara, 30 October–1 November, 2019 // *Ankara University Journal of Environmental Sciences*. 2019. Т. 7. N 2. С. 43–62.
11. Jenderedjian K., Hakobyan S., Stepanian M. Trends in benthic macroinvertebrate community biomass and energy budgets in Lake Sevan, 1928–2004 // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. С. 6647–6671.
12. Динник Ю.А. Паразитические черви рыб оз. Севан // Тр. Севанской озерной станции. 1933. Т. 4. Вып. 1–2. С. 105–132.
13. Дубинина М.Н. Ремнецы Cestoda: Ligulidae фауны СССР. Москва – Ленинград: Наука, 1966. 262 с.
14. Воропаева Е.Л., Толстенков О.О., Оганесян Р.Л. Современное состояние паразитофауны рыб оз. Севан // *Экология озера Севан в период повышения его уровня. Результаты исследований Российско-Армянской биологической экспедиции по обследованию озера Севан, Армения (2005–2009 гг.)*. Махачкала: Наука ДНЦ, 2010. С. 290–306.
15. Крылов А.В., Айрапетян А.О., Никогосян А.А., Болотов С.Э. Видовое богатство зоопланктона озера Севан // *Озеро Севан. Экологическое состояние в период изменения уровня воды*. Ярославль: Филигрань, 2016. С. 109–113.
16. Григорян Д. А. Изменение паразитофауны рыб озера Севан в разные годы (до и после спауса озера) // *Биологический журнал Армении*. 1980. Т. 33. Вып. 3. С. 300–306.
17. Оганесян Р.Л. О гельминтофауне карповых рыб озера Севан // *Материалы Республиканской научной конференции по зоологии*, Ереван, 14–15 мая, 1998. С. 87–88.
18. Hansen H., Alarcón M. First record of the Asian fish tapeworm *Schyzocotyle (Bothriocephalus) acheilognathi* (Yamaguti, 1934) in Scandinavia // *BiolInvasions Records*. 2019. Т. 8. Вып. 2. С. 437–441.
19. Рубенян Т.Г., Протасова Е.Н. Первая регистрация плероцеркоидов *Diphyllbothrium dendriticum* (Diphyllbothriidae, Cestoda) у севанского сига *Coregonus lavaretus* (Coregonidae) // *Зоологический журнал*. 2007. Т. 86. N 3. С. 377–378.
20. Оганесян Р.Л., Рухкян М.Я. Обнаружение *Rhabdochona macrostoma* (Nematoda: Rhabdochonidae) у севанской храмули // *Биологический журнал Армении*. 2013. Т. 65. N 1. С. 116–119.
21. Moravec F. Reconstruction of the Nematode Genus *Rhabdochona* Railliet, 1916 with a Review of the Species Parasitic in Fishes of Europe and Asia. Prague: Academy. 1975. N 8. 104 p.
22. Акопян С.А. Макрозообентос литоральной зоны и затопленных участков побережья озера Севан // *Озеро Севан. Экологическое состояние в период изменения уровня воды*. Ярославль: Филигрань, 2016. С. 164–172.
23. Цахуриджян Ч.Л., Հակոբյան Ս.Յ., Դավթաբեյան Մ.Ռ., Բոշյան Տ.Վ. Ձկնագետ և Գավառագետ գետերի էկոլոգիական վիճակի գնահատումը ըստ մակրոզոոբենթոսի ցուցանիշների // *Հայաստանի կենսաբանական հանդես*. 2012. Յ. 64. N 2. էջ 6–9.
24. Asatryan V.L., Dallakyan M.R. The changes of ecological status of the Hrazdan River under the impact of Aghbyurak Dam // *Материалы Международной научной конференции «Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов»*, Ростов-на-Дону, 13–23 июня, 2019. С. 257–260.
25. Оганесян Р.Л., Рухкян М.Я. 2012. Экологические особенности паразитофауны рыб озера Севан // *Материалы VI Всероссийской Международной научной конференции «Актуальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран»*. Владикавказ, 3–6 мая, 2012. Вып. 6. С. 77–82.
26. Мешкова Т.М. Закономерности развития зоопланктона в озере Севан (в связи с понижением уровня озера). Ереван: АН Арм. ССР, 1975. 248 с.
27. Румянцев Е.А. Основы паразитологии: учебное пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2012. 138 с.

REFERENCES

1. Gabrielyan B.K. *Ryby ozera Sevan* [Fishes of Lake Sevan]. Yerevan, Gitutyun Publ., 2010, 252 p. (In Russian)
2. Vasilkov G.V. 1999. *Parazitarnyye bolezni ryb i sanitarnaya otsenka rybnoy produktsii* [Parasitic diseases of fishes and sanitary estimate of fish production]. Moscow, VNIRO Publ., 1999, 191 p. (In Russian)
3. Dogel V.A. *Parazitofauna i okruzhayushchaya sreda: nekotoryye voprosy parazitov presnovodnykh ryb* [Parasite fauna and environment: some issues of freshwater fish parasites]. In: *Osnovnyye problemy parazitologii ryb* [The basic problems of parasitology of fish]. Leningrad, LSU Publ., 1958, pp. 9–55. (In Russian)
4. MacKenzi K., Williams H.H., Williams B., McVicar A.H., Siddall R. Parasites as indicators of water quality and the potential use of helminth transmission in marine pollution studies. *Advances in Parasitology*. 1995, vol. 35, pp. 86–144.
5. Bykhovskaya-Pavlovskaya I. E. *Parazity ryb. Rukovodstvo po izucheniyu* [Parasites of fish. Study guide]. Leningrad, Nauka Publ., 1985, 123 p. (In Russian)
6. *Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb fauny SSSR. Paraziticheskie mnogokletochnye (Vtoraya chast')* [Identifier of parasites of freshwater fish fauna of the USSR. Parasitic multicellular (Second part)]. Leningrad, Nauka Publ., 1987, vol. 3, 583 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. Shigin A.A. *Trematody fauny SSSR. Rod Diplostomum. Metacerkarii* [Trematodes of the fauna of the USSR. Genus Diplostomum. Metacercariae]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 253 p. (In Russian)
9. Vartanyan L.K. *Parazitofauna ryb ozera Sevan i nekotorykh drugikh vodoyemov i vodotokov Armenii*. [Parasitic fauna of fishes of

- Lake Sevan and some other reservoirs and streams of Armenia]. Abstract of PhD thesis. Yerevan, 1993, 22 p. (In Russian)
10. Jenderedjian K., Hakobyan S., Demyan M. The Impact of Trophic Status and Climate Change on the Benthic Community in Lake Sevan, Armenia. Caucasus Mountain Forum 2019, Ankara, 30 October–1 November, 2019. [Ankara University Journal of Environmental Sciences], 2019, vol. 7, no. 2, pp. 43–62.
 11. Jenderedjian K., Hakobyan S., Stepanian M. Trends in benthic macroinvertebrate community biomass and energy budgets in Lake Sevan, 1928–2004. [Environmental Monitoring and Assessment]. 2012, pp. 6647–6671.
 12. Dinnik Yu.A. [Parasitic worms of fishes of Lake Sevan]. In: *Trudy Sevanskoi ozernoi stantsii* [Proceedings of the Sevan Lake Station]. 1933, vol. 4, iss. 1–2, pp. 105–132. (In Russian)
 13. Dubinina M.N. *Remnetsy Cestoda: Ligulidae fauny SSSR* [Remnets Cestoda: Ligulidae fauna of the USSR]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1966, 262 p. (In Russian)
 14. Voropaeva E.L., Tolstakov O.O., Hovhannisyan R.L. *Sovremennoye sostoyaniye parazitofauny ryb ozera Sevan* [The current state of the fish parasitofauna of Lake Sevan]. In: *Ekologiya ozera Sevan v period povysheniya ego urovnya. Rezul'taty issledovaniy Rossijsko-Armyanskoi biologicheskoi ekspeditsii po obsledovaniyu ozera Sevan, Armeniya (2005–2009 gg.)* [Ecology of Lake Sevan during the period of its level rise. The results of the research of the Russian-Armenian biological expedition to survey Lake Sevan, Armenia (2005–2009)]. Makhachkala, Nauka DNTS Publ., 2010, pp. 290–306. (In Russian)
 15. Krylov A.V., Hayrapetyan A.H., Nikoghosyan A.A., Bolotov S. E. [The species richness of zooplankton of Lake Sevan]. In: *Ozero Sevan. Ekologicheskoye sostoyaniye v period izmeneniya urovnya vody* [Lake Sevan. Ecological state during the period of water level change]. Yaroslavl, Filigree Publ., 2016, pp. 109–113. (In Russian)
 16. Grigorian D.A. The change of fish parasitofauna in Lake Sevan in different years (before and after the abatement of water level of the lake). *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological Journal of Armenia]. 1980, vol. 33, no. 3, pp. 300–306. (In Russian)
 17. Hovhannisyan R.L. O gel'mintofaune karpovykh ryb ozera Sevan [On the helminth fauna of cyprinids of Lake Sevan]. *Materialy Respublikanskoi nauchnoi konferentsii po zoologii, Erevan, 14–15 maya 1998* [Proceedings of the Republican Scientific Conference on Zoology, Yerevan, 14–15 May 1998]. Yerevan, 1998, pp. 87–88. (In Russian)
 18. Hansen H., Alarcón M. First record of the Asian fish tapeworm *Schyzocotyle (Bothriocephalus) acheilognathi* (Yamaguti, 1934) in Scandinavia. *BiolInvasions Records*. 2019, vol. 8, iss. 2, pp. 437–441.
 19. Rubenyan T.G., Protasova E.N. First registration of plerocercoids *Diphyllbothrium dendriticum* (Diphyllbothriidae, Cestoda) at the sevan whitefish *Coregonus lavaretus* (Coregonidae). *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal]. 2007, vol. 86, no. 3, pp. 377–378. (In Russian)
 20. Hovhannisyan R. L., Rukhkyan M. Ya. Detection of *Rhabdochona macrastoma* (Nematoda: Rhabdochonidae) at the Sevan khramulya. *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological Journal of Armenia]. 2013, vol. 65, no. 1, pp. 116–119. (In Russian)
 21. Moravec F. Reconstruction of the Nematode Genus *Rhabdochona* Railliet, 1916 with a Review of the Species Parasitic in Fishes of Europe and Asia. Prague, Academy Publ., 1975, no. 8, 104 p.
 22. Hakobyan S.H. [Macrozoobenthos of the littoral zone and flooded areas of the coast of Lake Sevan]. In: *Ozero Sevan. Ekologicheskoye sostoyaniye v period izmeneniya urovnya vody* [Lake Sevan. Ecological state during the period of water level changes]. Yaroslavl, Filigree Publ., 2016, pp. 164–172. (In Russian)
 23. Asatryan V.L., Hakobyan S.H., Dallakyan M.R., Bosyan T.V. Evaluation of the ecological condition of the Dznaget and Gavaraget rivers according to macrozoobenthos indicators. *Hayastani kensabanakan handes* [Biological Journal of Armenia]. 2012, vol. 64, no. 1, pp. 6–9. (In Armenian)
 24. Asatryan V. L., Dallakyan M. R. The changes of ecological status of the Hrazdan River under the impact of Aghbyurak Dam. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Zakonomernosti formirovaniya i vozdeistviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavlenii i katastrof na pribrezhnuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov», Rostov-na-Donu, 13–23 iyunya 2019* [Proceedings of International Scientific Conference “Regularities of Formation and Impact of Marine, Atmospheric Hazardous Phenomena and Catastrophes on the Coastal Zone of the Russian Federation under the Conditions of Global Climate and Industrial Challenges”. Rostov-on-Don, 13–23 June 2019]. Rostov-on-Don, 2019, pp. 257–260.
 25. Hovhannisyan R.L., Rukhkyan M.Ya. 2012. *Ekologicheskie osobennosti parazitofauny ryb ozera Sevan* [Ecological features of the parasitic fauna of fishes of the Lake Sevan]. *Materialy VI Vserossiiskoi Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Aktual'nye problemy ekologii i sokhraneniya bioraznobraziya Rossii i sopredel'nykh stran»*. Vladikavkaz, 3–6 maya 2012. [Proceedings of the VI All-Russian International Scientific Conference “Actual problems of ecology and conservation of biodiversity in Russia and adjacent countries”. Vladikavkaz, 3–6 May 2012]. Vladikavkaz, 2012, iss. 6, pp. 77–82. (In Russian)
 26. Meshkova T.M. *Zakonomernosti razvitiya zooplanktona v ozere Sevan (v svyazi s ponizheniyem urovnya ozera)* [Patterns of zooplankton development in Lake Sevan (due to lowering of the lake level)]. Yerevan, AS ASSR Publ., 1975, 248 p. (In Russian)
 27. Rummyantsev E.A. *Osnovy parazitologii: uchebnoye posobie* [Fundamentals of parasitology: study guide]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2012, 138 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Рузанна Л. Оганесян проводила сбор, камеральную обработку и определение гельминтологического материала. Мартин Я. Рухкян проводил сбор и определение ихтиологического материала. Лаура Д. Арутюнова, Мадина З. Магомедова, Патимат Д. Магомедова проводили определение собранного малакофаунистического материала. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ruzanna L. Hovhannisyan carried out the collection, cameral processing and determination of the helminthological material. Martin Ya. Rukhkyan carried out the collection and determination of the ichthyological material. Laura D. Harutyunova, Madina Z. Magomedova and Patimat D. Magomedova carried out the determination of the collected malacofaunistic material. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Рузанна Л. Оганесян / Ruzanna L. Hovhannisyan <https://orcid.org/0000-0003-4277-7785>

Мартин Я. Рухкян / Martin Ya. Rukhkyan <https://orcid.org/0000-0002-9559-9719>

Лаура Д. Арутюнова / Laura D. Harutyunova <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>

Мадина З. Магомедова / Madina Z. Magomedova <http://orcid.org/0000-0001-8425-1664>

Патимат Д. Магомедова / Patimat D. Magomedova <http://orcid.org/0000-0001-6072-1094>

Оригинальная статья / Original article
УДК 581.4:581.15(470.67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-60-68



Изменчивость морфологических признаков *Salvia canescens* (Lamiaceae) в природных популяциях Дагестана

Зиярат А. Гусейнова

Горный ботанический сад – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Зиярат А. Гусейнова, старший научный сотрудник,
Горный ботанический сад – обособленное
подразделение Дагестанского федерального
исследовательского центра РАН; 367000 Россия,
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75.
Тел. +79886443771
Email guseinovaz@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0355-4132>

Формат цитирования

Гусейнова З.А. Изменчивость морфологических признаков *Salvia canescens* (Lamiaceae) в природных популяциях Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 60-68. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-60-68

Получена 7 февраля 2023 г.

Прошла рецензирование 14 мая 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Изучение структуры внутри- и межпопуляционной изменчивости *Salvia canescens* С.А. Мей. вдоль высотного градиента.

Материал и методы. Для изучения морфологических признаков *Salvia canescens* в качестве «модуля» был использован генеративный побег. В четырех географически изолированных популяциях вида, с 30 особей было взято по одному генеративному побегу. На побегах были учтено 11 признаков.

Статистический анализ полученных данных проводился с использованием программы Statistica 5.5. Уровни варьирования приняты по Зайцеву.

Результаты. Изучена структура внутри- и межпопуляционной изменчивости *S. canescens* – характерного представителя нагорно-ксерофитной растительности, эндемика Большого Кавказа.

По полученным данным, средние значения большинства изученных признаков *S. canescens* увеличиваются с набором высоты над уровнем моря. Вариабельность изученных признаков вида как внутри-, так и межпопуляционная имеет средний и высокий уровень.

Большинство признаков *S. canescens* положительно коррелирует между собой на уровне $p < 0,05$. Все признаки, кроме числа междоузлий и листьев находятся в положительной значимой корреляции ($p \leq 0,001$; $p \leq 0,01$) с высотой над уровнем моря.

Результаты однофакторного дисперсионного и регрессионного анализов показали достоверные различия между популяциями по большинству признаков генеративного побега. Максимальное разграничение популяций отмечено по признакам «масса стеблей» и «масса соцветий».

Выводы. Выявленная внутри- и межпопуляционная изменчивость морфологических признаков *Salvia canescens* вдоль высотного градиента обусловлена экологическими условиями местопроизрастания вида. Вариабельность признаков и увеличение параметров генеративной сферы отображают адаптацию вида в высотном градиенте.

Ключевые слова

Salvia canescens, Дагестан, природные популяции, изменчивость, морфологические признаки.

Variability of morphological traits of *Salvia canescens* (Lamiaceae) in natural populations of Dagestan, Russia

Ziyarat A. Guseynova

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

Principal contact

Ziyarat A. Guseynova, Senior Researcher, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 75 M. Yaragskogo St, Makhachkala, 367000 Russia.

Tel. +79886443771

Email guseynovaz@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0355-4132>

How to cite this article

Guseynova Z.A. Variability of morphological traits of *Salvia canescens* (Lamiaceae) in natural populations of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 60-68. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-60-68

Received 7 February 2023

Revised 14 May 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. Study of the structure of intra- and interpopulation variability of *Salvia canescens* C.A. Mey. along an altitudinal gradient.

Material and Methods. To study the morphological traits of *Salvia canescens*, a generative shoot was used as a «module». In four geographically isolated populations of the species, one generative shoot from 30 individuals was taken. 11 signs were taken into account on the shoots. Statistical analysis of the obtained data was carried out using the Statistica 5.5 program. The levels of variation were assessed according to G.M. Zaitsev.

Results. The structure of intra- and interpopulation variability of *S. canescens*, a characteristic representative of mountain-xerophyte vegetation and an endemic of the Greater Caucasus, was studied. According to the data obtained, the mean values of most of the studied traits of *S. canescens* increase with altitude. The variability of the studied traits of the species, both intra- and interpopulation, has an average and high levels. Most of the traits of *S. canescens* are positively correlated with each other at the $p \leq 0.05$ level. All traits, except for the number of internodes and leaves, are in a positive significant correlation ($p \leq 0.001$; $p \leq 0.01$) with height above sea level.

The results of one-way ANOVA and regression analyses showed significant differences between populations for most traits of the generative shoot. The maximum differentiation of populations was noted according to the traits «mass of stems» and «mass of inflorescences».

Conclusions. The intra- and interpopulation variability of the morphological traits of *Salvia canescens* revealed along the altitudinal gradient is due to the ecological conditions of the species' habitat. The variability of the traits and the increase in the parameters of the generative sphere reflect the adaptation of the species along the altitudinal gradient.

Key Words

Salvia canescens, Dagestan, natural populations, variability, morphological traits.

ВВЕДЕНИЕ

Территория республики Дагестан делится на четыре основных физико-географических района: Низменный, Предгорный, Внутреннегорный и Высокогорный. Внутреннегорный район характеризуется наличием крутых и скалистых склонов, глубоких ущелий, резко контрастирующих с обширными плато и хребтами с пологими и широкими сводами [1–3]. Сухие каменистые склоны, особенно южных экспозиций гор, представляют отличные условия для развития нагорно-ксерофитной растительности. Внутреннегорный Дагестан является районом распространения и развития сообществ нагорных ксерофитов [4; 5]. В северной части такие сообщества развиваются на известняках в аридных котловинах, располагающихся в долинах рек Койсу, в южной – на сланцах, в долинах рек Самур и Курах. Нагорно-ксерофитная растительность развивается во всех горных поясах, исключение составляет только верхняя часть альпийского пояса. Такие фитоценозы с примесью мелколесья, на каменисто-щебнистых неразвитых маломощных почвах, вместе с сухими горными степями определяют облик типичных ландшафтов Внутреннегорного Дагестана. Еще Кузнецов Н.И. [4] отмечал, что нагорно-ксерофитная растительность в Дагестане занимает все южные склоны, ущелья, обнаженные скалы, осыпи. Особенно своеобразны и значительного развития они достигают в аридных котловинах внутреннего известнякового Дагестана, отличающегося засушливостью климата и разнообразием эдафических условий. Нагорно-ксерофитные сообщества отличаются видовым богатством и представляют значительный природоохранный интерес; включают редкие и исчезающие виды. Этот район является одним из крупных центров эндемизма на всем Кавказе [6].

Эндемичные виды – специфическая часть флоры, которая является показателем ее отличия от других флор. С фитоценозами нагорно-ксерофитной растительности, по данным Галимовой П.М. [7] связан целый ряд эндемиков: дагестанских – 14 видов, Большого Кавказа – 6, Восточного Кавказа – 15, Кавказа – 9, общих для Центрального и Восточного Кавказа – 4 и 5 являются эндемиками РФ.

Известные по изучению эндемиков региона работы Гроссгейма А.А. [8], Харадзе А.Л. [9; 10] и др., носят инвентаризационный или описательный характер. Аналогичные работы позже появились и по отдельным регионам Кавказа [11–14]. В настоящее время проводятся уже и популяционные исследования редких и эндемичных видов растений на территории Дагестана [15–22].

В данной работе приводятся результаты изучения структуры внутри- и межпопуляционной изменчивости характерного представителя нагорно-ксерофитной растительности шалфея седоватого (*Salvia canescens* С.А. Мей.) вдоль высотного градиента.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Salvia canescens (Шалфей седоватый) – многолетнее травянистое растение, 10–35 см высоты, с деревянистым, разветвленным корневищем. Стебли простые, восходящие, опушенные в нижней части длинными волосками. Прикорневые листья, продолговатые, или обратно-ланцетные, войлочно опушенные с обеих сторон, по краям выемчато-лопастные, реже цельнокрайние, 18 см

длины, 1,2 см ширины. Стеблевые листья 1–2 пары, мелкие и более узкие, чем прикорневые. Прицветные листья в основании ветвей соцветия продолговато-ланцетные, сидячие, с нижней поверхности сильно опушенные, прицветные ложных мутовок – широкояйцевидные. Соцветие простое с 4–6 ложными мутовками, по 4–6 цветков в каждой. Соцветия до 1 фута (0,30 м) в длину, удерживают цветы над листвой [23]. Колокольчатая чашечка, 8–10 мм длины, опушена длинными тонкими волосками. Верхняя губа несколько длиннее нижней. Венчик фиолетовый, 1,5–2,5 см длины, верхняя губа намного длиннее нижней. Орешки трёхгранно-эллипсоидные, 2,5 мм длиной. Цветет в мае–июле. *S. canescens* произрастает в аридных котловинах, на известняках, щебнистых и каменистых местах, на скалах и сухих склонах, от среднего до субальпийского горного пояса, до 2000 м над уровнем моря [24–26]. Охраняется в Северо-Осетинском [27], Кабардино-Балкарском и Тебердинском государственных заповедниках. Эндемик Большого Кавказа [28].

Исследования проводились в 2019 году в четырех географически изолированных популяциях вида, произрастающих на разных высотных уровнях, с разными эколого-географическими условиями:

1. Окр. с. Леваши, Левашинское плато (850 м)
2. Окр. с. Цудахар Левашинское плато (1100 м)
3. Окр. с. Гуниб (Турбаза «Орлиное гнездо»), Гунибское плато (1250 м)
4. Окр. с. Гуниб (дорога к туннелю), Гунибское плато (1750 м)

Виды рода *Salvia* приурочены в основном к травянистым или разреженным кустарниковым сообществам, незадернованным склонам, выходам коренных пород, что характеризует его как гелиофильный.

Местообитания *S. canescens* в пунктах сбора материала представляли собой сообщества нагорно-ксерофитной растительности на известняковых склонах южной экспозиции. В сообществах представлены виды родов *Thymus*, *Astragalus*, *Medicago*, *Artemisia*, *Gypsophila*, *Teucrium*, *Campanula*, *Linum*, *Helianthemum* и, как правило, *Satureja subdentata*.

В качестве «модуля» для изучения морфологических признаков *S. canescens* использован генеративный побег (элементарная структурная единица особи), проходящий полный цикл развития от инициации в почках до генеративного состояния [29; 30].

С 30 особей в каждой популяции были взяты генеративные побеги исследуемого вида, на которых были учтены размерные и числовые признаки. После чего побеги фракционировались на структурные части: стебель, листья, соцветия и просушивались до воздушно-сухой массы. Массу побега определяли по фракциям [31].

Для статистического анализа внутри- и межпопуляционной изменчивости морфологических признаков проведены описательная статистика, корреляционный, дисперсионный, регрессионный и дискриминантный анализы с использованием программы Statistica 5.5. [32]. Уровни варьирования оценены по Г.М. Зайцеву [33]: CV<10 % – низкий, CV=10–20 % – средний, CV>20 % – высокий.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам наших исследований амплитуда изменчивости морфологических признаков *S. canescens*

по популяциям невысокая (табл. 1). Средние значения размерных и количественных признаков, с набором высоты над уровнем моря увеличиваются незначительно. Увеличение показателей генеративной сферы: длины ножки соцветия (от $6,3 \pm 0,36$ до $8,2 \pm 0,43$), числа мутовок (от $3,5 \pm 0,16$ до $4,7 \pm 0,20$) и числа цветков в соцветии (от $19,9 \pm 0,84$ до $24,6 \pm 1,16$) можно рассматривать, как прояв-

ление адапционного механизма в более суровых условиях произрастания на больших высотах. Так, как увеличение параметров вышеуказанных признаков приводит к повышению семенной продуктивности, то это, в свою очередь, может способствовать воспроизводству и поддержанию популяций.

Таблица 1. Средние данные по морфологическим признакам *Salvia canescens*

Table 1. Average data on morphological traits of *Salvia canescens*

Признаки / Популяции Traits / Populations	Леваши, 850 м Levashi, 850 m		Цудахар, 1100 м Tsudahar, 1100 m		Гуниб, 1250 м Gunib, 1250 m		Гуниб, 1750 м Gunib, 1750 m		Объединенная выборка Combined sampling	
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	CV, %	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	CV, %	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	CV, %	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	CV, %	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	CV, %
(1) Длина побега, см Length of shoots, sm	$13,2 \pm 0,46$	19,1	$12,1 \pm 0,60$	27,1	$12,3 \pm 0,37$	16,6	$16,1 \pm 0,42$	14,3	$13,4 \pm 0,27$	22,3
(2) Толщина стебля, мм Thickness of stem, mm	$1,4 \pm 0,04$	15,0	$1,3 \pm 0,04$	16,5	$1,3 \pm 0,03$	14,1	$1,5 \pm 0,04$	12,8	$1,4 \pm 0,02$	16,4
(3) Длина ножки соцветия, см Length of stem of inflorescences, sm	$6,3 \pm 0,36$	31,6	$6,3 \pm 0,35$	31,0	$6,8 \pm 0,34$	27,7	$8,2 \pm 0,43$	28,8	$6,9 \pm 0,20$	31,7
(4) Число междоузлий, шт. Number of internodes, un.	$2,1 \pm 0,07$	17,7	$2,1 \pm 0,07$	17,7	$2,0 \pm 0,10$	27,3	$2,1 \pm 0,06$	14,5	$2,1 \pm 0,04$	19,6
(5) Число мутовок в соцветии, шт. Number of whorls in the inflorescence, un.	$3,5 \pm 0,16$	25,5	$4,2 \pm 0,18$	23,7	$4,4 \pm 0,18$	22,7	$4,7 \pm 0,20$	22,8	$4,2 \pm 0,10$	25,6
(6) Число цветков в соцветии, шт. Number of flowers in the inflorescence, un.	$19,9 \pm 0,84$	23,0	$22,7 \pm 1,07$	25,8	$23,3 \pm 1,00$	23,5	$24,6 \pm 1,16$	25,9	$22,6 \pm 0,53$	25,6
(7) Число листьев розеточных, шт. Number of rosette leaves, un.	$10,9 \pm 0,44$	22,3	$9,7 \pm 0,38$	21,7	$10,2 \pm 0,46$	24,7	$11,8 \pm 0,64$	29,6	$10,7 \pm 0,25$	26,0
(8) Масса стеблей, г Mass of stems, g	$0,05 \pm 0,002$	23,6	$0,04 \pm 0,003$	35,3	$0,04 \pm 0,002$	33,8	$0,06 \pm 0,002$	20,4	$0,05 \pm 0,001$	32,7
(9) Масса листьев, г Mass of leaves, g	$0,18 \pm 0,009$	26,7	$0,21 \pm 0,016$	41,7	$0,22 \pm 0,015$	36,9	$0,25 \pm 0,015$	31,7	$0,22 \pm 0,007$	36,7
(10) Масса соцветий, г Mass of inflorescences, g	$0,12 \pm 0,007$	28,5	$0,12 \pm 0,006$	27,5	$0,17 \pm 0,009$	28,6	$0,17 \pm 0,008$	27,0	$0,15 \pm 0,004$	32,1
(11) Масса побега, г Mass of shoot, g	$0,36 \pm 0,014$	20,8	$0,38 \pm 0,021$	30,3	$0,44 \pm 0,021$	26,2	$0,48 \pm 0,021$	23,5	$0,41 \pm 0,011$	27,9

Толщина стебля и число междоузлий – признаки сравнительно стабильные, их параметры по популяциям слабо варьируют ($1,3$ – $1,5$ и $2,0$ – $2,1$, соответственно), по всей видимости, их можно считать генетически обусловленными. Дело в том, что *S. canescens* относится к полурозеточной симподиальной модели по описанному Т.И. Серебряковой [34] «моделям побегообразования травянистых многолетников». Монокарпический побег вида характеризуется детерминированным ростом, завершающимся терминальным соцветием, при котором признаки побега наследственны и генетически обусловлены. Максимальные средние величины почти всех признаков отмечены в четвертой популяции (1750 м). Средние данные по размерным признакам побега и количеству розеточных листьев в первой популяции (850 м над ур. моря) выше, чем во второй (1100 м). Маршрутные ленты по сбору материала в этих двух популяциях проходили по склонам, где сухие участки перемежались с оврагами, в которых дольше сохраняется влажность от выпадающих осадков. Тем самым создаются более благоприятные условия для роста растений. Морфологические особенности побегов растений данного вида, очевидно, тесно связаны с эколого-географическими условиями произрастания.

Изменчивость признаков как внутри- так и межпопуляционная имеет средний и высокий уровни. Вариативность длины ножки соцветия, весовых и большинства количественных (числа мутовок и цветков в соцветии, числа розеточных листьев) признаков находится на высоком уровне во всех исследованных популяциях. Коэффициент вариации отдельных признаков внутри популяций имеет сравнительно низкие и высокие значения, в той или иной из них. К примеру, длина побега и толщина стебля менее вариативны в 4-й ($CV=14,3$ и $12,8$ %, соответственно), более – во 2-й популяции ($CV=27,9$ и $16,5$ %). Минимальные значения CV наблюдаются в 4-й популяции также по числу междоузлий ($14,5$ %) и стеблевой массе ($20,4$ %), а максимальные во 2-й популяции – по массе стеблей ($35,3$ %), листьев ($41,7$ %) и побега ($30,3$ %). В целом, коэффициенты вариации показывают выравнивание популяций по всем признакам.

Корреляционный анализ показал положительную, значимую на уровне $p \leq 0,05$ связь большинства признаков *S. canescens* между собой, как по популяциям, так и в объединенной выборке. Структура распределения сухой массы побега по фракциям сравнительно однородная. По доле вклада в общую массу побега, фракции в популяциях располагаются в следующем порядке: листья,

соцветия, стебли, что наглядно подтверждают корреляционные связи внутри популяций (0,82–0,95 %; 0,61–0,76 %; 0,43–0,67 %, соответственно). Все признаки в значимой положительной корреляции с весовыми признаками той или иной фракции и побега в целом. Длина побега положительно коррелирует с длиной ножки соцветия, числом мутовок и числом цветков в трех популяциях (на 850, 1250, 1750 м), в двух (на 850 и 1100 м) – и с толщиной стебля, а на высоте 1100 м и с длиной ножки соцветия. В исследованных популяциях длина ножки соцветия в значимой положительной корреляции с числом мутовок и числом цветков, число мутовок – с числом цветков. Как по популяциям, так и в

объединенной выборке наблюдается отрицательная корреляционная связь числа междоузлий и числа листьев со многими признаками, в значимой же отрицательной связи – число междоузлий с длиной ножки соцветия и массой соцветия. Отрицательная связь числа междоузлий с длиной ножки соцветия и массой соцветия обусловлена, видимо, растяжением междоузлий в онтогенезе при сравнительно стабильном их числе. Недостовверные же связи с другими признаками – низкой вариабельностью числа междоузлий и листьев. Между остальными признаками связь недостоверная положительная или отрицательная и она в популяциях различается (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции признаков генеративного побега *Salvia canescens* (объединенная выборка)
Table 2. Correlation coefficients of the traits of generative escape of *Salvia canescens* (pooled sample)

Признаки Traits	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
(2)	0,53*										
(3)	0,76*	0,45*									
(4)	0,10	0,04	-0,21*								
(5)	0,42*	0,35*	0,65*	-0,03							
(6)	0,41*	0,38*	0,62*	-0,04	0,87*						
(7)	0,01	0,17	0,02	-0,12	-0,01	-0,06					
(8)	0,73*	0,63*	0,34*	0,24*	0,21*	0,23*	0,09				
(9)	0,12	0,37*	0,14	0,02	0,29*	0,24*	0,34*	0,37*			
(10)	0,41*	0,43*	0,68*	-0,14*	0,72*	0,70*	0,06	0,29*	0,39*		
(11)	0,35*	0,52*	0,43*	-0,02	0,53*	0,49*	0,27*	0,51*	0,91*	0,73*	
(12)	0,41*	0,38*	0,36*	0,03	0,38*	0,27*	0,17	0,32*	0,31*	0,36*	0,41*

Примечание: Обозначения признаков здесь и далее, как в табл. 1; (12) – высота над уровнем моря; значимость приведена по корреляционной матрице на уровне $p < 0,05$

Note: Designation of traits hereinafter, as in Table 1; (12) – altitude above sea level; significance is given by the correlation matrix at the level of $p < 0,05$

Изменчивость изучаемых параметров вида по степени влияния высотного градиента анализировалась также с применением двух моделей дисперсионного анализа – однофакторной и с учетом линейной регрессии. Результаты, отражающие вклад межгрупповых компо-

нент дисперсии в общую вариабельность признаков: h^2 – для однофакторной модели и r^2 – для модели с учетом линейной регрессии и r_{xy} – коэффициент корреляции с фактором высотного градиента [35] приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты дисперсионного и регрессионного анализов признаков *Salvia canescens*
Table 3. Results of variance and regression analyses of *Salvia canescens* traits

Признаки Traits	Компоненты дисперсии / Dispersion components		
	h^2	r^2	r_{xy}
(1)	27,9***	16,4***	0,41***
(2)	23,8***	14,3***	0,38***
(3)	13,8***	12,7***	0,36***
(4)	0,3	0,1	0,03
(5)	17,0***	14,6***	0,38***
(6)	8,7*	7,3**	0,27**
(7)	8,4*	3,1*	0,18
(8)	32,6***	10,5***	0,32***
(9)	10,2**	9,6***	0,31***
(10)	24,7***	13,1***	0,36***
(11)	18,3***	16,7***	0,41*

Примечание: h^2 – дисперсия, r^2 – регрессия, r_{xy} – корреляция; уровни достоверности: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$

Note: h^2 – dispersion, r^2 – regression, r_{xy} – correlation; confidence levels: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$

Коэффициент корреляции (r_{xy}) отобразил, значимую на уровнях $p \leq 0,001$ и $p \leq 0,01$ положительную связь изученных признаков с высотой над уровнем моря, за исключением числа междоузлий и числа листьев, где она не существенна.

Незначительная разница между значениями h^2 и r^2 у изученных признаков *S. canescens* подтверждает

влияние на них эколого-географических факторов, меняющихся с высотой над уровнем моря.

По оценке компонентов дисперсии выявлены достоверные различия между популяциями по всем признакам генеративного побега *S. canescens*, за исключением «числа междоузлий» (рис. 1).

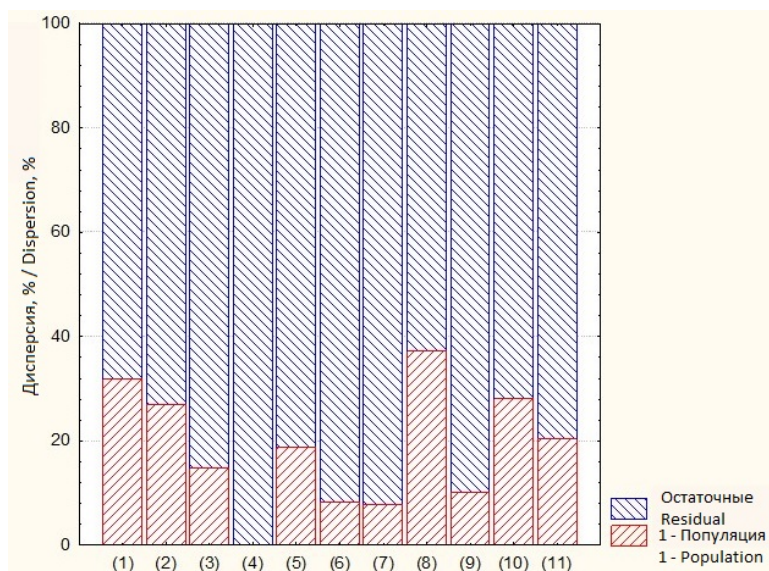


Рисунок 1. Компоненты дисперсии природных популяций *Salvia canescens*
Figure 1. Dispersion components of natural populations of *Salvia canescens*

По результатам дискриминантного анализа наибольшее разграничение популяций выявлено по массе стеблей и массе соцветий. Длина ножки соцветия, число листьев и масса побега вносят небольшой вклад. Длина побега,

число мутовок и цветков в соцветии оказались малоинформативными. Не информативны признаки: масса листьев, число междоузлий и толщина стебля (табл. 4).

Таблица 4. Итоги дискриминантного анализа показателей признаков *Salvia canescens* в объединенной выборке
Table 4. Results of discriminant analysis of trait indicators *Salvia canescens* in the pooled sample

Признаки / Traits	
в модели / in the model	
Масса соцветий / Mass of inflorescences	15,62***
Масса стеблей / Mass of stems	7,02***
Масса побега / Mass of shoot	5,43**
Длина ножки соцветия / Length of stem of inflorescences	4,15**
Длина побега / Length of shoots	3,85*
Число листьев розеточных / Number of rosette leaves	4,56**
Число цветков в соцветии / Number of flowers in the inflorescence	3,40*
Число мутовок в соцветии / Number of whorls in the inflorescence	2,74*
Толщина стебля / Thickness of the stem	1,57
не в модели / not in the model	
Число междоузлий / Number of internodes,	0,19
Масса листьев / Mass of leaves	0

Примечание: уровни достоверности: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$

Note: confidence levels: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$

ВЫВОДЫ

Амплитуда изменчивости морфологических признаков *S. canescens* по популяциям невысокая. Средние значения большинства изученных признаков увеличиваются с набором высоты над уровнем моря. Параметры толщины стебля и числа междоузлий слабо варьируют по популяциям, что говорит об их сравнительной стабильности (1,3–1,5 и 2,0–2,1, соответственно), как генетически обусловленных. Вариабельность признаков, как внутри-, так и между популяциями, находится на среднем и высоком уровнях.

По результатам корреляционного анализа большая часть признаков *S. canescens* находится в положительной связи между собой на уровне $p \leq 0,05$, как по популяциям, так и в объединенной выборке. Все признаки, кроме числа междоузлий и листьев, находятся в положительной значимой корреляции ($p \leq 0,001$; $p \leq 0,01$) с высотой над уровнем моря

По большинству признаков генеративного побега выявлены достоверные различия между популяциями с помощью однофакторного дисперсионного и регрессионного анализов.

Дискриминантный анализ показал наибольшее разграничение популяций по двум признакам (массе стеблей и массе соцветий) *S. canescens*, а остальные признаки либо вносят небольшой вклад, либо малоинформативны.

Вариабельность признаков, свидетельствующая о влиянии на них меняющихся эколого-географических факторов и увеличение параметров генеративной сферы, способствующее воспроизводству и поддержанию устойчивости популяций можно рассматривать, как следствие адаптации вида к более суровым условиям произрастания на больших высотах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Львов П.Л. Леса Дагестана (низовые и предгорные). Махачкала: Дагкнигоиздат, 1964. 215 с.
2. Алексеев Б.Д. Особенности растительного покрова Дагестана. Махачкала: Издательство ДГУ, 1983. 85 с.
3. Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С., Гаджиева З.Х., Ганиев М.И., Гасангусейнов М.Г., Залибеков З.М., Исмаилов Ш.И., Каспаров С.А., Лепехина А.А., Мусаев В.О., Рабаданов Р.М., Соловьев Д.В., Сурмачевский В.И., Тагиров Б.Д., Эльдаров Э.М. Физическая география Дагестана. Москва: Издательский дом «Школа», 1996. 380 с.
4. Кузнецов Н.И. Нагорный Дагестан и значение его в развитии флоры Кавказа // Известия РГО. 1910. Т. 46. Вып. 6–7. С. 213–280.
5. Еленевский А.Г. О некоторых замечательных особенностях флоры внутреннего Дагестана // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 1966. Т. 71. Вып. 5. С. 107–117.
6. Муртазалиев Р.А. Анализ эндемиков флоры Восточного Кавказа и особенности их распространения // Вестник Дагестанского научного центра. 2012. N 47. С. 81–85.
7. Галимова П.М. Кавказские эндемики во флоре нагорных ксерофитов Центрального Дагестана // Известия ДГПУ. Серия «Естественные и точные науки». 2017. Т. 11. N 2. С. 17–22.
8. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа. Баку: Изд-во АзФАН СССР, 1936. 257 с.
9. Харадзе А.Л. Эндемичный гемиксерофильный элемент высокогорий Большого Кавказа // Проблемы ботаники: материалы по изучению флоры и растительности высокогорий. 1960. Т. 5. С. 115–126.
10. Харадзе А.Л. О некоторых флорогенетических группах эндемиков Большого Кавказа // Проблемы ботаники: Растительный мир высокогорий и его освоение. 1974. Т. 12. С. 70–76.
11. Алтухов М.Д. Эндемы высокогорной флоры Северо-Западного Кавказа // Доклады Сочинского отдела географического общества. 1971. Вып. 2. С. 349–363.
12. Галушко А.И. Растительный покров Чечено-Ингушетии. Грозный: Чечено-Ингушское книжное изд-во, 1975. 118 с.
13. Комжа А.Л. Краткий анализ эндемизма флоры бассейна реки Ардон (Центральный Кавказ) // Материалы 4-го рабочего совещания по сравнительной флористике «Изучение биологического разнообразия методами сравнительной флористики», Санкт-Петербург, 1998. С. 294–299.
14. Шагапсоев С.Х. Эколого-биологические особенности редких и исчезающих растений Кабардино-Балкарии. Нальчик: Изд-во КБГУ, 1994. 120 с.
15. Бийболатова З.А., Аджиева А.И. Онтогенетическая структура ценопопуляций эндемичного вида наголоватки предкавказской // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. N 2(71). С. 57–61.
16. Магомедова Н.А., Аджиева А.И. Сравнительный анализ изменчивости морфометрических признаков и виталитета двух ценопопуляций эндемичного вида наголоватки предкавказской // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. N 2(71). С. 57–61.
17. Гусейнова З.А., Муртазалиев Р.А. Распространение и изменчивость морфологических признаков *Centaurea daghestanica* (Lipsky) Czer // Электронный политематический научный журнал КубГАУ. 2017. N 131. URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/122.pdf> (дата обращения: 11.12.2022)
18. Курамагомедов М.К., Мусаев А.М., Гусейнова З.А. Характер изменчивости морфологических признаков *Carum carvi* L. в природных популяциях Дагестана // Вестник Воронежского ГУ. Серия: География. Геоэкология. 2018. N 1. С. 78–83.
19. Гусейнова З.А., Курамагомедов М.К. Особенности изменчивости морфологических признаков *Satureja hortensis* L. в природных популяциях Дагестана // Вестник Самарского ГУ. Естественная-научная серия. 2018. Т. 24. N 1. С. 34–41.
20. Гаджиева С.И., Мусаев А.М., Магомедов А.М. Межпопуляционная дифференциация *Satureja subdentata* (Lamiaceae) вдоль высотного градиента в Горном Дагестане // Труды XIV съезда РБО и конференции «Ботаника в современном мире», Махачкала, 18–23 июня, 2018. Т. 2. С. 170–171.
21. Гусейнова З.А., Муртазалиев Р.А. Изменчивость морфологических признаков *Salvia beckeri* (Lamiaceae) в природных популяциях Дагестана // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2019. N 4. С. 36–46.
22. Гасанова А.М., Яровенко Е.В., Османова А.Г. Популяционные исследования *Nonea decurrens* в районе ущелья Истису-кака (Дагестан) // Материалы Международной конференции «Флора и заповедное дело на Кавказе: история и современное состояние изученности», Пятигорск, 22–25 мая 2019. С. 39–41.
23. Clebsch Betsy, Carol D. Barner. The New Book of Salvias. Нью-Йорк: Timber Press. 2003. С. 61–62.
24. Флора СССР. Москва–Ленинград: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 21. 703 с.
25. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Махачкала: Издательский дом «Эпоха», 2009. Т. 3. 303 с.
26. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Флора Северного Кавказа. Атлас-определитель. Москва: Издательство «Фитон XXI», 2013. 688 с.
27. Амирханов А.М., Кучиев И.Т., Вейнберг П.И., Комаров Ю.Е. Северо-Осетинский заповедник. Москва, 1988. 191 с.
28. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Кавказский элемент во флоре Российского Кавказа: география, созология, экология. Краснодар: ООО «Просвещение–Юг», 2009. 439 с.
29. Harper J.L. Population biology of plants. New York, NY Academic Press, 1977. 892 с.
30. Halle F., Oldeman R.A.A., Tomlinson P.B. Tropical trees and forests: An architectural analysis. Heidelberg: Springer Berlin, 1978. 444 с.
31. Методические указания по изучению коллекций многолетних кормовых трав. Ленинград: Всесоюзный институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, 1975. 19 с.
32. Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа, 1980. 293 с.
33. Зайцев Г.М. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука, 1984. 424 с.
34. Серебрякова Т.И. Жизненные формы и модели побегообразования наземно-ползучих многолетних трав // Труды МОИП. 1981. Т. 56. С. 161–179.
35. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. Москва: Мир, 1982. 488 с.

REFERENCES

1. L'vov P.L. *Lesa Dagestana (nizovye i predgornye)* [Forests of Dagestan (grassroots and foothill)]. Makhachkala, Dagknigoizdat Publ., 1964, 215 p. (In Russian)
2. Alekseev B.D. *Osobennosti rastitel'nogo pokrova Dagestana* [Features of the vegetation cover of Dagestan]. Makhachkala, DSU Publ., 1983, 85 p. (In Russian)
3. Akaev B.A., Ataev Z.V., Gadzhiev B.S., Gadzhieva Z.H., Ganiev M.I., Gasanguseynov M.G., Zalibekov Z.M., Ismailov Sh.I., Kasparov S.A., Lepekhina A.A., Musaev V.O., Rabadanov R.M., Solov'ev D.V., Surmachevsky V.I., Tagirov B.D., Eldarov J.M. *Fizicheskaya geografiya Dagestana* [Physical geography of Dagestan]. Moscow, Shkola Publ., 1996, 380 p. (In Russian)
4. Kuznetsov N.I. Upland Dagestan and its significance in the development of the flora of the Caucasus. *Izvestiya RGO* [Izvestiya of the Russian Geographical Society]. 1910, vol. 46, iss. 6–7, pp. 213–280. (In Russian)
5. Elenevsky A.G. On some remarkable features of the flora of inner Dagestan. *Byulleten' MOIP. Otdel biologicheskii* [Bulletin MOIP. Biological department]. 1966, vol. 71, iss. 5, pp. 107–117. (In Russian)

6. Murtazaliev R.A. Analysis of endemic flora of the Eastern Caucasus and features of their distribution. Vestnik Dagestanskogo nauchnogo tsentra [Bulletin of the Dagestan Scientific Center]. 2012, no. 47, pp. 81–85. (In Russian)
7. Galimova P.M. Caucasian endemics in the flora of upland xerophytes of Central Dagestan. Izvestiya DGPU. Seriya «Estestvennye i tochnye nauki» [News of the DSPU. The series «Natural and Exact Sciences»]. 2017, vol. 11, no. 2, pp. 17–22. (In Russian)
8. Grossgeim A.A. Analiz flory Kavkaza [Analysis of the flora Caucasus]. Baku: Publishing House of the Azerbaijan Branch of the USSR Academy of Sciences, 1936, 257 p. (In Russian)
9. Kharadze A.L. Endemic hemixerophilic element of the highlands of the Greater Caucasus. Problemy botaniki: materialy po izucheniyu flory i rastitel'nosti vysokogorii [Problems of Botany: Materials for the study of flora and vegetation of the highlands]. 1960, vol. 5, pp. 115–126. (In Russian)
10. Kharadze A.L. About some florogenetic groups of endemics of the Greater Caucasus. Problemy botaniki: Rastitel'nyi mir vysokogorii i ego osvoenie [Problems of Botany: Plant world of high mountains and its development]. 1974, vol. 12, pp. 70–76. (In Russian)
11. Altukhov M.D. Endemes of the high-altitude flora of the North-West Caucasus. Doklady Sochinskogo otdela geograficheskogo obshchestva. [Reports of the Sochi Branch of the Geographical Society]. 1971, iss. 2, pp. 349–363. (In Russian)
12. Galushko A.I. Rastitel'nyi pokrov Checheno-Ingushetii [Vegetation cover of Chechen-Ingushetia]. Grozny, Chechen-Ingush Book Publ., 1975, 118 p. (In Russian)
13. Komzha A.L. Kratkii analiz endemizma flory basseina reki Ardon (Tsentral'nyi Kavkaz) [A brief analysis of the endemism of the flora of the Ardon River basin (Central Caucasus)]. Materialy 4-go rabocheho soveshchaniya po sravnitel'noi floristike «Izuchenie biologicheskogo raznoobraziya metodami sravnitel'noi floristiki», Sankt-Peterburg, 1998 [Materials of the 4th workshop on comparative floristry «Study of biological diversity by methods of comparative floristry», St. Petersburg, 1998]. St. Petersburg, 1998, pp. 294–299. (In Russian)
14. Shkhagapsoev S.H. Ekologo-biologicheskie osobennosti redkikh i ischezayushchikh rastenii Kabardino-Balkarii [Ecological and biological features of rare and endangered plants of Kabardino-Balkaria]. Nalchik, KBSU Publ., 1994, 120 p. (In Russian)
15. Biybolatova Z.A., Adzhieva A.I. Ontogenetic structure of cenopopulations of the endemic Dagestan species *Scabiosa gumbetica* Boiss. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Basic Research]. 2014, no. 10, pp. 13–47. (In Russian)
16. Magomedova N.A., Adzhieva A.I. Comparative analysis of the variability of morphometric features and the vitality of two cenopopulations of the endemic species *Jurinea ciscaucasica*. Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2017, vol. 23, no. 2(71), pp. 57–61. (In Russian)
17. Guseynova Z.A., Murtazaliev R.A. [Distribution and variability of morphological traits of *Centaurea daghestanica* (Lipsky) Czer] Elektronnyi politematicheskii nauchnyi zhurnal KubGAU, 2006, no. 131. (In Russian) Available at: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/122.pdf> (accessed 11.12.2022)
18. Kuramagomedov M.K., Musaev A.M., Guseynova Z.A. The character of the variability of morphological traits of *Carum carvi* L. in the natural populations of Dagestan. Vestnik Voronezhskogo GU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology.]. 2018, no. 1, pp. 78–83. (In Russian)
19. Guseynova Z.A., Kuramagomedov M.K. The features of the variability of *Satureja hortensis* L. morphological traits in the natural populations of Dagestan. Vestnik Samarskogo GU. Estestvenno-nauchnaya seriya [Bulletin of Samara State University. Natural Science Series.]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 34–41. (In Russian)
20. Gadzhieva S.I., Musaev A.M., Magomedov A.M. Mezhpopyatsionnaya differentsiatsiya *Satureja subdentata* (Lamiaceae) vdol' vysotnogo gradienta v Gornom Dagestane [Interpopulation differentiation of *Satureja subdentata* (Lamiaceae) along the altitude gradient in Mountainous Dagestan]. Trudy KhIV s"ezda RBO i konferentsii «Botanika v sovremennom mire», Makhachkala, 18–23 iyunya 2018 [Proceedings of the XIV Congress of the RBO and Conference «Botany in the modern world», Makhachkala, 18–23 June 2018]. Makhachkala, 2018, vol. 2, pp. 170–171. (In Russian)
21. Guseynova Z.A., Murtazaliev R.A. The variability of the morphological traits of *Salvia beckeri* (Lamiaceae) in the natural populations of Dagestan. Botanicheskii vestnik Severnogo Kavkaza [Botanical Bulletin of the North Caucasus]. 2019, no. 4, pp. 36–46. (In Russian)
22. Gasanova A.M., Yarovenko E.V., Osmanova A.G. Popyatsionnye issledovaniya *Nonea decurrens* v raione ushel'ya Istisu-kaka (Dagestan) [Population studies of *Nonea decurrens* in the area of the Istisu-kaka gorge (Dagestan)]. Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii «Flora i zapovednoe delo na Kavkaze: istoriya i sovremennoe sostoyanie izuchennosti», Pyatigorsk, 22–25 maya 2019 [Proceedings of the International conference «Flora and nature conservation in the Caucasus: history and current state of knowledge», Pyatigorsk, 22–25 May 2019]. Pyatigorsk, 2019, pp. 39–41. (In Russian)
23. Clebsch Betsy, Carol D. Barner. [The New Book of Salvias. N'yu-York: Timber Press]. 2003. P. 61–62.
24. Flora SSSR [Flora of the USSR]. Moscow–Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1954, vol. 21, 703 p. (In Russian)
25. Murtazaliev R.A. Konspekt flory Dagestana [Conspectus of the flora of Dagestan]. Makhachkala, Epokha Publ., 2009, vol. 3, 303 p. (In Russian)
26. Litvinskaya S.A., Murtazaliev R.A. Flora Severnogo Kavkaza. Atlas-opredelitel' [Flora of the North Caucasus]. Moscow, Fiton XXI Publ., 2013, 688 p. (In Russian)
27. Amirkhanov A.M., Kuchiev I.T., Weinberg P.I., Komarov YU.E. Severo-Osetinskii zapovednik [North Ossetian Reserve]. Moscow, 1988, 191 p. (In Russian)
28. Litvinskaya S.A., Murtazaliev R.A. Kavkazskii element vo flore Rossiiskogo Kavkaza: geografiya, sozologiya, ekologiya [Caucasian element in the flora of the Russian Caucasus: geography, zoology, ecology]. Krasnodar, Enlightenment–South Publ., 2009, 439 p. (In Russian)
29. Harper J.L. [Population biology of plants]. New York, NY Academic Press, 1977, 892 p.
30. Halle F., Oldeman R.A.A., Tomlinson P.B. [Tropical trees and forests: An architectural analysis]. Heidelberg, Springer Berlin Publ., 1978, 444 p.
31. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kollektii mnogoletnikh kormovykh trav [Methodological guidelines for the study of collections of perennial forage grasses]. Leningrad, All-Union Institute of Plant Industry named after N.I. Vavilov Publ., 1975, 19 p. (In Russian)
32. Lakin G.F. Biometriya [Biometrics]. Moscow, High School Publ., 1980, 293 p. (In Russian)
33. Zaitsev G.M. Matematicheskaya statistika v eksperimental'noi botanike [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Science Publ., 1984, 424 p. (In Russian)
34. Serebryakova T.I. Life forms and models of shoot formation of ground-creeping perennial grasses. Trudy MOIP [Proceedings of the Moscow Society of Naturalists]. 1981, vol. 56, pp. 161–179. (In Russian)
35. Afifi A., Eisen S. Statisticheskii analiz. Podkhod s ispol'zovaniem EVM [Statistical analysis. Computer-based approach]. Moscow, Mir Publ., 1982, 488 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Зиярат А. Гусейнова собрала материал для исследования, провела камеральную и статистическую обработку, осуществила поиск литературных источников. Зиярат А. Гусейнова написала рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ziyarat A. Guseynova collected material for the study, conducted cameral and statistical processing and searched for literary sources. Ziyarat A. Guseynova wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

Зиярат А. Гусейнова / Ziyarat A. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-0355-4132>

Оригинальная статья / Original article
УДК 574:582.5/.9(470.61)
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-69-80



Ruderalophyton трансформированных местообитаний Ростовской урбоэкосистемы

Светлана А. Литвинская^{1,2}, Сергей Н. Горбов¹, Юлия В. Дзигунова¹

¹Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Сергей Николаевич Горбов, доктор биологических наук, доцент, Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского, Проспект Стачки 194/1, г. Ростов-на-Дону, Россия 344090.
Тел. +79282792167
Email gorbow@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0174-1631>

Формат цитирования

Литвинская С.А., Горбов С.Н., Дзигунова Ю.В.
Ruderalophyton трансформированных местообитаний Ростовской урбоэкосистемы // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 69-80. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-69-80

Получена 30 января 2023 г.

Прошла рецензирование 18 апреля 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Провести исследование особенностей абиотического (почвы) и биотического (флора и растительность) компонентов рудеральных сообществ (Ruderalophyton) урбоэкосистемы в условиях Ростовской агломерации.

Материал и методы. Выполнен морфоэкологический анализ флоры (144 видов сосудистых растений), особенности произрастания сообществ дорожных обочин на территории Ботанического сада ЮФУ (флористическое разнообразие 53 вида), рудеральных сообществ на территории селитебных новостроек периферийной части города и разрушенных домовладений центральной части города.

Результаты. Абиотические условия для жизни растений-рудералов не естественны, т.к. практически полностью скальпирован поверхностный корнеобитаемый гумусово-аккумулятивный горизонт черноземов. При этом ценоотически сообщества многокомпонентны, флористически насыщены с высоким проективным покрытием. За время антропогенной эволюции растительности сформировался новый тип ценозов, адаптированных в процессе экологических сукцессий ко всем компонентам урбоэкосистемы.

Заключение. Ruderalophyton отличается особой устойчивостью. Рудеральная растительность осваивает дневные горизонты урбик, отличающиеся высокой долей антропогенных включений, бытового и промышленного мусора, нередко загрязненных поллютантами органического и неорганического происхождения.

Ключевые слова

Ростов-на-Дону, урбоэкосистема, нарушенные местообитания, рудеральные виды, флора, растительность, городские почвы.

Ruderal vegetation (Ruderalophyton) of transformed habitats of the Rostov-on-Don urban ecosystem, Russia

Svetlana A. Litvinskaya^{1,2}, Sergey N. Gorbov¹ and Yulia V. Dzigunova¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

²Kuban State University, Krasnodar, Russia

Principal contact

Sergey N. Gorbov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Southern Federal University; Academy of Biology and Biotechnology; Stachky Avenue 194/1, Rostov-on-Don, Russia, 344090.

Tel. +79282792167

Email gorbow@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0174-1631>

How to cite this article

Litvinskaya S.A., Gorbov S.N., Dzigunova Yu.V. Ruderal vegetation (Ruderalophyton) of transformed habitats of the Rostov-on-Don urban ecosystem, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 69-80. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-69-80

Received 30 January 2023

Revised 18 April 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To investigate the features of the abiotic (soils) and biotic (flora and vegetation) components of ruderal communities (Ruderalophyton) of the urban ecosystem in the conditions of the Rostov agglomeration.

Material and Methods. The morphoecological analysis of the flora (144 species of vascular plants) was shown. Data were obtained of the characteristic growth features of roadside communities of the Southern Federal University Botanical Garden (floristic diversity of 53 species) and of ruderal communities of new residential building plots in the peripheral part of the city and abandoned houses in the central part of the city.

Results. Abiotic conditions for the habitats of ruderal plants are no longer natural because the local Chernozem root-inhabited and humus-accumulative surface horizons have been almost completely stripped away. At the same time, cenotically the communities are multicomponent and floristically saturated with high projective coverage. During the process of anthropogenic vegetation evolution, a new type of cenosis has formed, which is adapted in ecological succession processes to all components of the urban ecosystem.

Conclusion. The ruderal vegetation of the Rostov agglomeration is particularly resistant. It develops urban horizons, which are characterized by a high proportion of anthropogenic inclusions; household, and industrial waste, which is often contaminated with organic and inorganic pollutants. Plant communities developing on such substrates are multicomponent, floristically saturated and have formed a high degree of projective cover.

Key Words

Rostov-on-Don, urban ecosystem, disturbed habitats, ruderal species, flora, vegetation, urban soils.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования процесса синантропизации растительности на Юге России постоянно находятся в поле зрения ученых [1–4]. В городском ландшафте пустыри – это распространенные экотопы, которые и определяют характер и специфические особенности рудералоценозов (Ruderalophyton), одной из антропогенных форм растительности. Экотопы разнообразны: асфальтовые покрытия, свалки строительного мусора, спонтанная тропиновая сеть с высоким трафиком, антропогенно-преобразованные почвы с мощными синлитогенными горизонтами, остатки фундаментов и др.). На пустырях для жизни растений складываются специфические абиотические факторы среды (эдафотоп, гидротоп, микроклимат), что приводит к произрастанию разных экологических флористических элементов. Большинство произрастающих на них видов отличается широкой экологической валентностью, способностью к быстрой адаптации и расселению. Среда пустырей – это стрессовые условия произрастания, обедненные почвы, как правило с высоким процентом каменных включений, минимальным содержанием гумуса и элементов питания, как следствие не все растения могут к ним приспосабливаться. В какой-то мере можно говорить, что Ruderalophyton отличается особой устойчивостью, сообщества могут длительно существовать и направлять сукцессионные процессы в нужном для них направлении. За время антропогенной эволюции растительности сформировался новый тип ценозов, адаптированных в процессе экологических сукцессий ко всем компонентам урбоэкосистемы (эдафотоп, микроклимат, гидротоп). Для повышения устойчивости они в своем составе постоянно содержат аборигенные виды или виды широких ценологических возможностей, которые обладают более высоким уровнем генетической изменчивости и произрастают как в степях, лугах, опушках, так и на обочинах дорог, железнодорожных откосах, отвалах и даже свалках и могут адаптироваться к изменившимся условиям среды произрастания. Они даже иногда доминируют в ценозах и включаются в биогеоценологические связи нового сообщества [5].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы – изучение особенностей абиотического (почвы) и биотического (флора и растительность) компонентов рудеральных сообществ (Ruderalophyton) урбоэкосистемы на примере Ростовской агломерации. Район исследований: антропогенно нарушенные местообитания города Ростов-на-Дону (рис. 1). Полевые исследования на трансформированных экотопах проведены в вегетационный период 2022 г. Применен метод геоботанических исследований – метод пробных площадей с классическим описанием (проективное покрытие, численность). Проективное покрытие видов дано по шкале Браун-Бланке [6]. Геоботанические описания (36) были сделаны в трех биотопах: обочины грунтовых дорог близ р. Темерник, на территории селитебных новостроек периферийной части города и на разрушенных домовладениях центральной части города. При исследовании растительных сообществ был применен эколого-фитоценологический подход [7], что позволило выявить специфику синантропно-рудеральной растительности на небольшой исследованной территории Ростовской урбоэкосистемы. Отмечены диагностические виды двух классов (обочин дорог и пустырей), установлена структура жизненных форм. В точках мониторинга закладывались полнопрофильные разрезы и скважины, а также отбирались поверхностные пробы почвы. Во всех пробах, отобранных по генетическим горизонтам, определяли такие показатели, как pH водной суспензии, карбонаты по Кудрину, гумус по Тюрину в модификации Орлова-Гриндель, полевую влажность, валовые формы тяжелых металлов рентгенфлуоресцентным методом. Под рудеральными местообитаниями мы понимаем урбанизированные территории (дороги и придорожные полосы, территории строительных площадок, коммуникации и их зоны отчуждения, спонтанные и зарегулированные свалки), нарушенные антропогенным фактором, связанные с производственно-хозяйственной деятельностью человека, и формированием специфической флоры и растительности [8].



Рисунок 1. Точки мониторинга на территории селитебных зон г. Ростов-на-Дону

Figure 1. Monitoring points in residential zones of Rostov-on-Don

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зональными типами растительности водораздельной части Ростовской урбоэкосистемы является приазовская степь с доминированием мелкодерновинных злаков [9] со сформированными под ней черноземами обыкновенными карбонатными и пойменные леса р. Дон с аллювиальными почвами различного грануло-метрического состава. Уровень урбанизации Ростовской агломерации очень высокий, что привело, как к сокращению участков с доминированием естественных почв, так и к глобальному сокращению аборигенного видового разнообразия растительных организмов, синантропизации флористического компонента и расширению распространения инвазивных видов. В настоящее время только на территории Ботанического сада зарегистрировано 60 инвазивных видов [10]. В Ростовской агломерации доминирующими являются искусственные насаждения, парковые посадки, синантропная,

рудеральная растительность. Последняя представлена сообществами пустырей, свалок, дорог, урбоценозами асфальтовых покрытий, железнодорожных откосов. Каждый из подобных урбоценозов, как правило, привязан уже не к естественным, а к антропогенно-преобразованным почвам, представленным в условиях Ростовской агломерации урбостратоземами различной мощности и гумусированности на погребенных черноземах или аллювиальных почвах.

В целом во флоре изученных рудеральных местообитаний (Ruderalophyton) в 2022 г. было зарегистрировано 144 вида сосудистых растений. Морфоэкологический анализ показал, что флора представлена 8 биоморфами, среди которых незначительно доминируют монокарпические травянистые растения (78 видов), на поликарпики приходится – 66 видов (табл. 1).

Таблица 1. Состав видов флоры Ruderalophyton по биоморфе
Table 1. Composition of Ruderalophyton flora species by biomorph

Биоморфа Biomorph	Количество Quantity	Биоморфа Biomorph	Количество Quantity
Деревья Arbor frondosa	1	Многолетние и двулетние Herbae perennes and biennas	4
Полукустарники Suffrutex	1	Двулетние Herbae biennes	15
Поликарпик и кустарничек Polycarpicae and fruticulus	1	Однолетние-двулетние Herbae annuae-biennes	21
Поликарпические травы Polycarpicae herba	59	Монокарпики Herbae annuae	42

По структуре подземных органов в Ruderalophyton доминируют стержнекорневые виды, что позволяет им быстро внедряться в субстрат. По биоморфологии вегетативного возобновления и размножения во флоре Ruderalophyton преобладают виды, не имеющие выраженного вегетативного размножения, на втором месте – корневищные растения, но они малочисленны,

хотя по фитоценотической значимости именно среди них отмечены виды-эдификаторы. Растения нарушенных местообитаний не имеют выраженной тенденции к вегетативному размножению. На них произрастает незначительное количество корневищных растений (табл. 2).

Таблица 2. Состав видов флоры Ruderalophyton по структуре подземных органов и биоморфологии вегетативного возобновления и размножения
Table 2. Composition of Ruderalophyton flora species according to the structure of underground organs and biomorphology of vegetative renewal and reproduction

Состав видов флоры по структуре подземных органов Composition of flora species according to the structure of underground organs			
Структура корневой системы Structure of root system	Количество Quantity	Структура корневой системы Structure of root system	Количество Quantity
Стержнекорневые Radice verticali	131	Безкорневые Plantae arhizae	1
Кистекопильчатые Radicibus fibrillosis pradiatae	5	Каудексовые Caudexum	3
Корнеотпрысковые Soboliferae	4		
Состав видов флоры по биоморфологии вегетативного возобновления и размножения Composition of flora species according to the biomorphology of vegetative renewal and reproduction			
Корнеклубневые Tuberous roots	4	Длиннокорневищные Longum rhizomatosaе	14
Плотнотравные Firm bunchgrasses	1	Растения с выводковыми почками Plants with brood buds	1
Рыхлотравные Loose bunchgrasses	1	Ползучие Repens	4
Короткорневищные Breve rhizomatosaе	10	Виды, не имеющие вегетативного размножения Species quae propagationem vegetativam non habent	109

Анализ состава ценоморф показал слабую гетерогенность – доминирование синантропофитов, что вполне закономерно. Но следует отметить, что ценофитическая флора отличается разнообразием ценоморф (9), хотя количество их незначительно. В ней

присутствуют опушечные (5 видов), степные (17), степно-луговые (4), луговые (9) виды. Т. е. Ruderalophyton урбоэкосистемы сохраняет виды естественных сообществ и в этом его ценофитическая роль (табл. 3).

Таблица 3. Состав видов флоры Ruderalophyton по ценоморфе

Table 3. Composition of Ruderalophyton flora species by cenomorph

Ценоморфа Cenomorph	Количество Quantity	Ценоморфа Cenomorph	Количество Quantity
Синантропофит Synanthrophant	83	Пратант-маргант Pratant-margant	2
Степант Stepant	17	Сильвант-маргант Silvant-margant	5
Пратант Pratant	9	Маргант Margant	5
Паллюдант Palludant	4	Инвазивные Invasive	15
Степант-пратант Stepant-pratant	4		

Первая точка мониторинга приурочена к надпойменным террасам р. Темерник в границах Ботанического сада ЮФУ. Нативными почвами для данной территории выступают аллювиальные темногомусовые средне гуму-

сированные карбонатные сверхмощные тяжелосуглинистые почвы на аллювиальных отложениях, основные физико-химические характеристики которой приведены в таблице 4.

Таблица 4. Основные физико-химические характеристики естественных почв первой площадки мониторинга

Table 4. Basic physical and chemical characteristics of natural soils of first monitoring site

Горизонт Horizon	Мощность горизонта, см Horizon thickness cm	pH водной суспензии pH aqueous suspension	Гумус, % Humus, %	Карбонаты, % Carbonates, %	Гранулометрический состав, % Texure, %		Валовое содержание, мг/кг Total content, mg/kg		
					>0,01 мм >0,01 mm	<0,01 мм <0,01 mm	Zn	Pb	Cu
A d	0–15	7,41	6,47	0,05	58,42	41,58	252,39	63,48	48,69
A1*	15–50	7,36	3,08	0,04	50,29	49,71	117,44	30,13	40,69
A1**	50–75	7,22	3,08	0,04	49,55	50,45	91,48	15,10	52,41
A1***	75–90	7,34	2,68	0,03	48,93	51,07	81,22	25,23	46,81
AB	90–130	7,85	2,26	0,04	49,47	50,53	84,13	5,00	47,99
B1	130–170	7,78	1,46	0,11	46,96	53,04	82,79	19,43	45,19

Нетронутые естественные почвы характеризуются довольно высоким содержанием гумуса в поверхностных гумусово-аккумулятивных горизонтах (содержание почвенного органического вещества в горизонте Ad достигает 6,5 %), что на фоне тяжелого гранулометрического состава, увеличивающего от дневных к глубинным горизонтам (вниз по профилю возрастает доля физической глины), обеспечивает почве в целом высокую способность к сорбции как элементов питания, так и поллютантов. Что в свою очередь отражается на относительно высоких величинах в поверхностном 15-см слое таких тяжелых металлов, как медь, свинец и цинк, последний превышает в своих значениях ОДК.

Флористические описания проводились по обочинам дорог, при этом основой для формирования откосов дорожного полотна послужили отчасти нативные почвы, подверженные существенной антропогенной трансформации. На естественной поверхности возник синлитогенный горизонт урбик, который характеризуется более высокими значениями pH – 7,8–8,2, повышением содержания карбонатов с 0,1 до 2,5 % и снижением содержания почвенного органического вещества до

1,5–2,0 %. Геоботанические описания первой точки мониторинга показали, что растительность исследованных биотопов не отличается ценофитическим разнообразием и типична для трансформированных территорий. На обочинах дорог близ реки Темерник в придорожных сообществах доминирует *Phragmites australis*. Подземная структура сообществ корневищная. Корневища тростника доходят до глубины до 3,5 м. Флористическая насыщенность 100 м² с эдификаторной ролью тростника в сообществах обочин дороги: 5–20 видов. В последнем случае обилие тростника снижено, что дало возможность произрастать другим видам.

В 2022 г. на обочинах дорог Ботанического сада ЮФУ зарегистрировано 53 вида растений (табл. 5). В качестве доминирующих видов обочин дорог отмечено 8 видов (*Aegilops cylindrica*, *Bromus japonicus*, *Phragmites australis*, *Poa annua*, *Elytrigia repens*, *Alliaria petiolata*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Cichorium intybus*), пять из которых – синантропные монокарпики (однолетники и двулетники). Кроме нарушенных биотопов они произрастают в лесах, кустарниках (*Alliaria petiolata*,

Glechoma hederacea, *Chelidonium majus*, *Urtica dioica*), степных (*Falcaria vulgaris*, *Echinops sphaerocephalus*, *Falcaria vulgaris*, *Aegilops cylindrica*) и луговых (*Rumex crispus*, *Picris hieracioides*) сообществах болотистых сообществах (*Phragmites australis*, *Epilobium hirsutum*, *Symphitum officinale*). Основу сообществ составляют монокарпические виды (*Anisantha sterilis*, *Hordeum leporinum*, *Chenopodium album*, *Cardaria draba*, *Daucus carota*). Они часто встречаются в видоизмененном ландшафте города Ростова-на-Дону. Из инвазивных

видов отмечены *Ambrosia artemisiifolia*, *Cyclachaena xanthiifolia*, *Amaranthus retroflexus*, *Hordeum leporinum*, *Conyza canadensis*. Из сегетальной растительности в данном биотопе отмечена *Raphanus sativus*. Диагностические виды данного биотопа: *Phragmites australis* (встречаемость 90 %), *Cichorium intybus* (встречаемость 60 %), высокую встречаемость имеют только 3 вида *Artemisia absinthium*, *Daucus carota*, *Lactuca tatarica* (50 %). В основном все виды Ruderalophyton данного биотопа являются временными ассектаторами.

Таблица 5. Видовой состав растительности обочин грунтовых дорог нижнего дендропарка, левого и правого берегов р. Темерник Ботанического сада ЮФУ

Table 5. Species composition of vegetation on the sides of dirt roads of lower arboretum, left and right banks of the Temernik River, SFU Botanical Garden

Таксон / Taxon	Обилие / Abundance								
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№5	№ 7	№ 8	№ 9	
<i>Aegilops cylindrica</i> Host	2	2	4	-	-	-	-	-	
<i>Anisantha sterilis</i> (L.) Nevski	1	-	-	-	-	1	-	2	
<i>Bromopsis riparia</i> (Rehm.) Holub	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Bromus japonicus</i> Thunb.	4	4	-	-	-	1	-	1	
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	-	-	-	-	-	-	+	1	
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	4	-	-	-	4	-	-	-	
<i>Hordeum leporinum</i> Link	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	-	1	4	4	4	4	+	2	
<i>Poa annua</i> L.	4	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Secale sylvestre</i> Host	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	1	-	-	1	-	-	-	1	
<i>Alliaria petiolata</i> (Bieb.) Cavara et Grande	5	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	2	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	4	-	-	1	-	-	2	+	
<i>Arctium lappa</i> L.	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Artemisia absinthium</i> L.	1	2	+	-	1	1	-	+	
<i>Atriplex tatarica</i> L.	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Ballota nigra</i> L.	3	-	-	-	+	-	-	+	
<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	2	-	-	-	-	1	-	-	
<i>Carduus crispus</i> L.	1	-	-	-	1	-	-	-	
<i>Chelidonium majus</i> L.	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Chenopodium album</i> L.	-	-	1	+	-	-	-	+	
<i>Cichorium intybus</i> L.	1	1	4	4	1	1	-	1	
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	-	3	-	-	-	1	1	1	
<i>Crepis rheoadifolia</i> M. Bieb.	-	-	-	-	-	1	-	-	
<i>Cyclachaena xanthiifolia</i> (Nutt.) Fresen.	1	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Daucus carota</i> L.	+	+	-	+	+	1	-	1	
<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Epilobium hirsutum</i> L.	-	1	-	-	+	-	-	-	
<i>Falcaria vulgaris</i> Bernh.	-	-	-	-	1	-	-	-	
<i>Galium humifusum</i> M. Bieb.	1	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Geum urbanum</i> L.	3	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Glechoma hederacea</i> L.	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Heracleum sibiricum</i> L.	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Lactuca tatarica</i> (L.) C.A. Mey.	1	1	1	-	1	2	-	-	
<i>Lapsana communis</i> L.	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Lycopus europaeus</i> L.	-	1	1	-	-	1	-	1	
<i>Melilotus albus</i> Medik.	-	1	-	-	-	1	-	1	
<i>Oxybaphus nyctagineus</i> (Michx.) Sweet	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Picris hieracioides</i> L.	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Plantago major</i> L.	1	-	-	-	-	1	-	1	
<i>Plantago maxima</i> Juss. ex Jacq.	+	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Polygonum aviculare</i> L.	-	-	-	1	-	2	3	2	
<i>Polygonum arenastrum</i> Boreau	-	-	-	-	1	-	-	-	
<i>Portulaca oleracea</i> L.	-	-	3	+	+	-	-	+	
<i>Ranunculus repens</i> L.	-	1	-	-	+	-	2	-	
<i>Raphanus sativus</i> L.	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Rumex crispus</i> L.	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Sinapis arvensis</i> L.	1	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Sisymbrium loeselii</i> L.	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Sonchus palustris</i> L.	1	1	-	-	+	-	-	1	

<i>Symphytum officinale</i> L.	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Torilis japonica</i> (Houtt.) DC.	1	-	-	-	-	-	-	+
<i>Urtica dioica</i> L.	1	1	-	-	-	2	-	-
Vсero / Total	36	20	11	8	16	14	5	21

Примечание: + – проективное покрытие до 1 %; 1 – 1–5 %; 2 – 6–25 %; 3 – 26–50 %; 4 – 51–75 %; 5 – 76 %

Note: + – projective coverage up to 1 %; 1 – 1–5 %; 2 – 6–25 %; 3 – 26–50 %; 4 – 51–75 %; 5 – 76 %

Почвенный покров второй точки мониторинга, приуроченной к территории селитебных новостроек периферийной части города, также характеризуются существенной трансформацией под воздействием процессов урбопедогенеза. До 1998 года территория использовалась в качестве вертолетного поля и представляла собой многолетнюю залежь с повышенным трафиком, где основным типом почв выступали черноземы обыкновенные карбонатные мощные тяжелосуглинистые. В условиях интенсивной эксплуатации данная площадка были подвержена существенной физической деградации, являющейся результатом избыточных технологических нагрузок механического характера. Как следствие еще до начала строительства для изученных почв были характерны разрушение почвенной структуры, деформация порового пространства, переуплотнение.

В ходе мониторинга почвенного покрова г. Ростова-на-Дону, проведенного в период с 1996 по

2001 годы [11] именно территория вертолетного поля характеризовалась наибольшей величиной плотности сложения – 1,38 г/см³. Нужно отметить, что величина в 1,3–1,4 г/см³ для верхних горизонтов черноземных почв является критической. Как следствие, в почвенном профиле могут наблюдаться такие негативные процессы как переувлажнение, заболачивание, замедляется мобильность воды в почве, что негативно сказывается на ее водоподъемной способности и водопроницаемости [12]. Наряду с плотностью сложения в результате избыточного трафика зафиксировано повышение твердости почвы, а именно сопротивление сдавливанию и расклиниванию. В таблице 6 приведены высокие значения твердости по сопротивлению расклиниванию. Установлено, что значения твердости выше 30 кг/см³ отрицательно действуют на жизнедеятельность растений, затрудняя развитие корневой системы [13].

Таблица 6. Физико-химические характеристики нативной почвы второй точки мониторинга

Table 6. Physico-chemical characteristics of native soil of second monitoring point

Горизонт Horizon	Мощность горизонта, см Horizon thickness, cm	pH водн. суспензии pH aqueous suspension	Гумус, % Humus, %	Карбонаты, % Carbonates, %	Плотность сложения, г/см ³ Bulk density, g/cm ³	Твердость почвы, кг/см ² Soil hardness, kg/cm ²	
						Сопротивление сдавливанию Compressive strength	Сопротивление расклиниванию Resistance to crushing
A _d	0–10	7,76	6,04	1,0	1,38	47,38	40,00
A	10–40	7,77	4,61	1,2	1,31	48,75	46,67
B ₁	45–75	7,98	3,28	1,3	1,31	40,63	35,11
B ₂	75–95	8,23	2,51	1,5	1,20	39,38	36,70
BC	95–130	8,32	1,08	5,4	1,40	45,38	37,78
C	130–140	8,41	0,92	5,3	1,40	35,38	27,00

В настоящий момент территория второй площадки мониторинга полностью трансформирована, в ходе создания здесь селитебной многоэтажной застройки. Вновь образованные почвы сохранили в себе антропогенный прессинг предшествующих этапов освоения, как-то высокая плотность сложения и твердость гумусово-аккумулятивных горизонтов, который были погребены под синлитогенным горизонтом урбик. Это привело к формированию специфических городских почв – урбостратоземов и урбистратифицированных черноземов. Изученный на второй точке мониторинга почвенный тип определен как урбистратифицированный чернозем, где поверхностный горизонт урбик также характеризуется повышенной плотностью сложения. Однако содержание гумуса и карбонатов, указывают на то, что генетически данные антропогенные горизонты сформированы ранее перемещенными нативными горизонтами чернозема обыкновенного карбонатного и имеют удовлетворительных агрохимические характеристики (табл. 7).

Из табл. 7 видно, что несмотря на существенную трансформацию, содержание почвенного органического вещества сохраняется на уровне региональной нормы,

характерной для пахотных черноземов и составляет 3,2 % для поверхностного горизонта урбик, и 3,4 % для погребенного гумусово-аккумулятивного горизонта А. Отмечено незначительное увеличение величины pH и содержания карбонатов, что на фоне отсутствия засоления (величина сухого остатка менее 0,2 %), говорит о том, что генезис антропогенной толщи напрямую связан с иллювиальными горизонтами нативных черноземов и на территории отсутствовал привнос значительных почвенных масс извне. При этом основой для антропогенных включений является прежде всего строительный мусор. Как следствие на изученных участках отсутствует и превышение ОДК по трем доминирующим тяжелым металлам, таким как цинк, свинец и медь. В целом, несмотря на повышенную плотность сложения, антропогенно-преобразованные почвы являются удовлетворительным субстратом для обеспечения жизнедеятельности широкого спектра экологических групп растений с высоким уровнем пластичности.

Геоботанические описания Ruderalophyton второй площадки мониторинга показали, что эдификатором их является *Elytrigia repens*. И в том, и в другом случае

подземная структура рудеральных сообществ корневищная. Корневища пырея залегают на глубине от 5 до 15 см. Флористическая насыщенность 100 м² сообществ пустырей с

эдикаторной ролью *Elytrigia repens* намного выше: 54, 24, 21, 24, 17, 33 вида (табл. 8). Общее проективное покрытие сообществ высокое – 98–100 %.

Таблица 7. Основные физико-химические характеристики антропогенно-преобразованных почв второй площадки мониторинга

Table 7. Principal physico-chemical characteristics of anthropogenic-transformed soils of second monitoring site

Горизонт Horizon	Мощность горизонта, см Horizon thickness, cm	pH	Гумус, % Humus, %	Карбонаты, % Carbonates, %	Плотность слоения, г/см ³ Bulk density, g/cm ³	Сухой остаток, % Solid residue, %	Валовое содержание, мг/кг Total content, mg/kg		
							Zn	Pb	Cu
UR 1	0–10	8,2	3,20	1,05	1,35	0,143	88,27	27,79	58,79
UR 2	10–20	8,0	3,22	0,89	1,35	0,144	79,85	12,77	44,69
UR 3	20–30	8,1	2,98	0,88	-	0,199	77,65	13,97	44,74
[A]	30–50	8,0	3,41	1,09	-	0,075	86,01	30,40	45,89

В качестве доминирующих видов пустырей отмечено 12 видов: *Bromus commutatus*, *Bromus japonicus*, *Achillea setacea*, *Artemisia absinthium*, *Atriplex tatarica*, *Centaurea diffusa*, *Cirsium arvense*, *Falcaria vulgaris*, *Galium humifusum*, *Salvia nemorosa* subsp. *pseudosylvestris*. *Calamagrostis epigeios* является субэдикатором в сообществах. Максимальную встречаемость имеют: *Elytrigia repens*, *Achillea setacea*, *Cichorium intybus*, *Cyclachaena xanthiifolia*, *Euphorbia esula* subsp. *tommasiniana* (100 %), несколько ниже (70 %): *Artemisia absinthium*, *Galium humifusum*. Единично отмечено 32 вида, большинство из которых сорные (*Capsella bursa-pastoris*, *Datura stramonium*, *Sisymbrium loeselii*, *Cardaria draba*, *Daucus carota*, *Echium vulgare*, *Cannabis sativa*, *Sonchus arvensis*) и инвазивные (*Amaranthus retroflexus*, *Carduus acanthoides*).

В сообществах с обилием 1–2 отмечены виды степных, опушенных и песчаных биотопов (*Lolium perenne*, *Ajuga chamaepitys* subsp. *chia*, *Cynanchum acutum*, *Dianthus campestris*, *Scorzonera ensifolia*, *Sisymbrium volgense*). Следует отметить, что в изученных рудеральных сообществах степные виды нередки – *Centaurea scabiosa* subsp. *adpressa*, *Falcaria vulgaris*, *Medicago falcata* L. subsp. *romanica*, *Tragopogon dubius*, *Plantago urvillei*, *Linum austriacum*, *Cynanchum acutum*. Диагностический виды рудеральных урбоценозов: *Elytrigia repens*, *Cichorium intybus*, *Galium humifusum*, *Cyclachaena xanthiifolia* (встречаемость 80%), *Achillea setacea*, *Artemisia absinthium*, *Centaurea diffusa*, *Euphorbia esula* subsp. *tommasiniana*, *Salvia nemorosa* subsp. *pseudosylvestris* (100 %), высокую встречаемость (50 %) имеют *Calamagrostis epigeios*, *Artemisia austriaca*, *Coronilla varia*, *Falcaria vulgaris*, *Medicago falcata* subsp. *romanica*, *Tragopogon dubius*; 27 видов встречены один раз, большинство из которых отмечены с обилием +: *Carduus crispus*, *Datura stramonium*, *Daucus carota*, *Dianthus campestris*, *Echium vulgare*, *Trifolium repens*.

Среди флоры исследованных пустырей доминируют виды, обладающие высокой семенной продуктивностью, эффективными способами распространения семян (летучками, парашютиками, крючками, крылообразными выростами) и долго сохраняющие жизнеспособность семян. Их стратегия направлена на усиленное размножение и формирование разновозрастных популяций [14]. Некоторые из них являются инвазивными видами и агрессивными сорняками. К эксплорентам или видам г-стратегии (ресурсы

которых затрачиваются на увеличение размножения) [15; 16] относятся: *Arctium lappa* (до 5 тыс. семян и всхожесть сохраняется до 3 лет), *Capsella bursa-pastoris* (одна особь дает до 70 тыс. семян), североамериканский *Amaranthus retroflexus* (одно растение может давать до 100 тыс. семян), *Achillea millefolium* (25 тыс. семян), *Cannabis sativa* (жизнеспособность семян сохраняется до 40 лет), *Cardaria draba* (одно растение образует до 25 корневых отпрысков и до 5 тыс. семян), *Cyclachaena xanthiifolia* (плодовитость – 1790 тыс. семян, всхожесть сохраняется в почве до 6 лет), американский инвазивный вид *Conyza canadensis* (одно растение дает более 100 тыс. семян), *Datura stramonium* (до 23,8 тыс. семян), *Chondrilla juncea* (1 особь до 15 тыс. семян ежегодно), *Ambrosia artemisiifolia*, *Cirsium arvense* (одно растение дает до 36 тыс. семян), *Tragopogon dubius*, виды родов *Carduus* (*Carduus acanthoides*, *C. crispus*, *C. nutans* subsp. *leiophyllus*), *Sonchus* (*Sonchus arvensis*, *S. asper*). В естественных ненарушенных ценозах эксплоренты не играют значительной роли [17; 18].

К видам пациентам рудеральных сообществ, формирующих специфические адаптации (прижатостью к субстрату, выделение млечного сока, наличие ядовитых алкалоидов) относятся *Ajuga chia*, *Galium humifusum*, *Euphorbia esula* subsp. *tommasiniana*, *Urtica dioica*, *Cynanchum acutum*, *Artemisia absinthium*, *Hordeum murinum* subsp. *leporinum*. Они менее значимы в рудеральных сообществах. Из инвазивных видов в рассматриваемых сообществах произрастают: *Acer negundo*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Conyza canadensis*, *Cyclachaena xanthiifolia*, *Erigeron annuus*, *Amaranthus retroflexus*, *Sinapis arvensis*, *Cuscuta campestris*, *Solanum schultesii*, *Oxybaphus nycitagineus*, *Xanthium californicum*, *Avena sativa*, *Eragrostis minor*, *Hordeum leporinum*, *Triticum durum* (культивируется).

Абиотические условия для жизни растений-рудералов не естественны: практически полностью скальпирован поверхностный корнеобитаемый гумусово-аккумулятивный горизонт черноземов, его место занимает антропогенно-преобразованный синлитогенный горизонт урбик, который хоть и сохраняет в себе первичные агрохимические характеристики близких ему по генезису нативных иллювиальных и, отчасти, гумусово-аккумулятивных горизонтов, но отличается от них нарушением структурного состояния (водопрочная зернистая структура сменяется ореховатой, комковато-

ореховатой и порошистой), повышенной плотностью сложения, высоким содержанием карбонатов и отчасти существенным падением содержания почвенного органического вещества.

Таблица 8. Видовой состав растительности пустырей вертолетной площадки**Table 8.** Species composition of vegetation of helicopter pad wastelands

Таксон Taxon	Обилие / Abundance					
	№9	№10	№11	№12	№13	№14
<i>Anisantha sterilis</i> (L.) Nevski	1	-	-	-	-	-
<i>Bromopsis riparia</i> (Rehm.) Holub	1	-	-	-	-	-
<i>Bromus commutatus</i> Schrad.	2	-	-	-	4	3
<i>Bromus japonicus</i> Thunb.	4	-	3	-	-	-
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	2	-	-	4	3	4
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	5	5	5	-	5	5
<i>Hordeum murinum</i> subsp. <i>leporinum</i> (Link) Arcang.	4	-	-	-	-	3
<i>Lolium perenne</i> L.	2	-	-	-	-	-
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	1	1	-	-	-	-
<i>Poa annua</i> L.	-	-	-	-	3	2
<i>Poa angustifolia</i> L.	-	-	-	-	-	2
<i>Achillea millefolium</i> L.	-	2	-	-	-	-
<i>Achillea setacea</i> Waldst. & Kit.	3	3	3	3	3	1
<i>Ajuga chamaepitys</i> subsp. <i>chia</i> (Schreb.) Arcang.	2	-	-	-	-	-
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	2	-	-	-	-	-
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	3	-	-	3	-	1
<i>Arctium lappa</i> L.	1	-	-	-	-	-
<i>Artemisia absinthium</i> L.	+	4	2	3	2	4
<i>Artemisia austriaca</i> Jacq.	1	+	+	-	-	3
<i>Atriplex tatarica</i> L.	5	-	-	-	+	+
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	1	1	-	+	-	-
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	1	-	-	-	-	-
<i>Cannabis sativa</i> L.	1	-	-	-	-	-
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	-	-	-	-	-	+
<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	1	-	-	-	-	-
<i>Carduus acanthoides</i> L.	2	-	-	-	-	-
<i>Carduus nutans</i> subsp. <i>leiophyllus</i> (Petrovič) Stoj. & Stef. (<i>Carduus thoermeri</i> Weinm.)	1	-	-	+	-	-
<i>Carduus crispus</i> L.	-	-	-	+	-	-
<i>Centaurea scabiosa</i> subsp. <i>adpressa</i> (Ledeb.) Gugler	-	+	-	-	-	1
<i>Centaurea diffusa</i> Lam.	3	3	3	1	3	1
<i>Cichorium intybus</i> L.	1	2	+	1	-	1
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. (<i>Cirsium setosum</i> Besser)	-	-	-	4	1	-
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Crongist	-	-	2	-	-	1
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	1	-	-	-	-	4
<i>Coronilla varia</i> L.	+	-	+	2	-	+
<i>Crepis rhoeadifolia</i> M. Bieb.	+	-	-	-	-	2
<i>Crepis biennis</i> L.	-	1	-	-	+	-
<i>Crepis tectorum</i> L.	-	1	-	-	-	-
<i>Cyclachaena xanthiifolia</i> (Nutt.) Fresen.	2	1	1	2	-	1
<i>Cynanchum acutum</i> L.	-	-	-	1	-	-
<i>Datura stramonium</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Daucus carota</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Dianthus campestris</i> M. Bieb.	-	+	-	-	-	-
<i>Echium vulgare</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Eryngium campestre</i> L.	-	2	-	-	+	-
<i>Euphorbia esula</i> subsp. <i>tommasiniana</i> (Bertol.) Kuzmanov	3	3	+	3	+	2
<i>Falcaria vulgaris</i> Bernh.	3	2	3	1	-	-
<i>Galium humifusum</i> Bieb.	3	3	2	-	2	2
<i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	-	-	-	-	-	1
<i>Hyoscyamus niger</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Inula britannica</i> L.	1	-	-	-	-	-
<i>Lactuca serriola</i> L.	3	-	-	2	-	1
<i>Lactuca tatarica</i> (L.) C.A. Mey.	-	-	-	-	-	2
<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.	-	2	1	1	-	-
<i>Linum austriacum</i> L.	-	1	3	-	-	+
<i>Medicago falcata</i> L. subsp. <i>romanica</i> (Prod.)	2	2	1	-	1	-

Schwarz & Klinkovski						
<i>Melilotus albus</i> Medik.	3	-	-	-	-	-
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	3	-	-	3	-	3
<i>Picris hieracioides</i> L.	1	-	-	-	-	-
<i>Plantago major</i> L.	1	-	-	-	-	-
<i>Plantago urvillei</i> Opiz	-	1	-	1	+	-
<i>Polygonum arenastrum</i> Boreau	3	-	-	-	-	-
<i>Polygonum aviculare</i> L.	-	-	-	-	-	2
<i>Reseda lutea</i> L.	3	-	-	+	-	+
<i>Rumex crispus</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Salvia nemorosa</i> subsp. <i>pseudosylvestris</i> (Stapf) Bornm. (<i>Salvia tesquicola</i> Klokov & Pobed.)	1	4	4	1	4	+
<i>Scorzonera ensifolia</i> M. Bieb.	-	-	-	-	-	1
<i>Sisymbrium loeselii</i> L.	2	-	-	-	-	+
<i>Sisymbrium volgense</i> M. Bieb. ex E. Fourn.	1	-	-	-	-	-
<i>Sonchus arvensis</i> L.	1	-	-	-	-	-
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	1	-	-	-	-	-
<i>Tanacetum vulgare</i> L.		-	-	+	-	+
<i>Tragopogon dubius</i> Scop.	2		+	+	1	-
<i>Trifolium repens</i> L.	+	-	-	+	-	-
<i>Triticum durum</i> Desf.						+
<i>Verbascum ovalifolium</i> Donn ex Sims	1	-	1	1	+	-
Bcero / Total	54	24	21	25	18	34

Как следствие рудеральная растительность осваивает дневные горизонты урбик, отличающиеся высокой долей антропогенных включений, бытового и промышленного мусора, нередко загрязненных поллютантами органического и неорганического происхождения. Условия нельзя назвать экстремальными, т. к. многие виды естественных ценозов живут в условиях повышенного засоления или на обнажении твердых меловых и известковых пород, нередко ареалы обитания приурочены к геохимическим аномалиям, где концентрации отдельных элементов сравнимы с антропогенно загрязненными импактными зонами (то, что мы называем экстремальными условиями) и для них это обычная природная среда. Их адаптации сложились в длительном эволюционном процессе. Возраст сорных (сеgetальных) растений соотносится с периодом «собираательства» (верхний палеолит), после чего наступил период их расселения, и связан с агросистемами (полями и пастбищами). Рудеральные виды появились намного позже, когда уже сформировалась производственно-хозяйственная деятельность (после неолитической революции), а вместе с ней стали формироваться антропогенно-трансформированные местообитания другой структуры, связанные с урбосистемами. Широкое распространение рудералов произошло с наступлением технического прогресса. За этот период можно только повысить адаптивную способность выживать.

В результате мощного прогрессирующего процесса урбанизации формируется новая скальпированная среда обитания человека. В результате ее полной трансформации появляются новые формы взаимоотношения с окружающей средой. Человек живет в мире трансформаций, не замечая нелогичности этого мира. В условиях быстро прогрессирующего антропогенного вмешательства происходит изменение личного понимания природы. Психологически человек воспринимает измененный окружающий мир как естественное природное сообщество и при этом на эмоциональном уровне происходит обезличивание объективного мира природы. Человек поражается

красотой чуждого мира не в ботаническом саду, а в нарушенном лесном сообществе, на свалке, на обочине дороги, восхищаясь ажурной листвой *Ambrosia artemisiifolia*, мощными кустами *Cyclachaena xanthiifolia*, декоративностью цветков *Datura stramonium* и *Hyoscyamus niger*. Для человека в антропоцене они становятся обычными зелеными зонами. Рудеральные ценозы нельзя считать бросовыми, ненужными. Многие растения полезны, являются пищевыми, инсектицидными, витаминными, эфирномасличными (*Capsella bursa-pastoris*), прекрасными медоносами (*Cichorium intybus*, *Melilotus albus*, *Cirsium setosum*), лекарственными (*Arctium lappa*) растениями. Должна быть выработана рациональная стратегия взаимоотношений с нарушенным миром.

ВЫВОДЫ

В результате мощного прогрессирующего процесса урбанизации формируется новая среда обитания человека, с частичным или полным скальпированием почвенного и растительного покровов. Возникающие трансформации формируют новые формы взаимоотношений различных компонентов урбосистемы. Во флоре изученных рудеральных местообитаний (Ruderalophyton) в 2022 г. было зарегистрировано 144 вида сосудистых растений. Морфоэкологический анализ показал, что флора представлена 8 биоморфами, среди которых незначительно доминируют монокарпические травянистые растения (78 видов), на поликарпики приходится – 66 видов. Анализ состава ценоморф показал слабую гетерогенность – доминирование синантропофантов. Среди флоры исследованных пустырей доминируют виды, обладающие высокой семенной продуктивностью, эффективными способами распространения семян (летучками, парашютиками, крючками, крылообразными выростами) и долго сохраняющими жизнеспособность семенами. Их стратегия направлена на усиленное размножение и формирование разновозрастных популяций. Исследования почвенного покрова показали, что на месте гумусово-аккумулятивных горизонтов нативных почв,

формируется синлитогенный горизонт урбик, который характеризуется более высокими значениями pH – 7,8–8,2, повышением с 0,1 % до 2,5 % содержания карбонатов кальция и магния, снижением содержания почвенного органического вещества до 1,5–2,0 %. Рудеральная растительность осваивает дневные горизонты урбик, отличающиеся высокой долей антропогенных включений, бытового и промышленного мусора, нередко загрязненных поллютантами органического и неорганического происхождения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено на базе Южного федерального университета за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00418, <https://rscf.ru/project/23-27-00418/>

ACKNOWLEDGMENT

The study was carried out on the basis of the Southern Federal University at financial support by of the Russian Science Foundation (RSF) № 23-27-00418, <https://rscf.ru/project/23-27-00418/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Постарнак Ю.А., Литвинская С.А. Урбановфлора города Краснодара // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. N 5–3. С. 80.
- Литвинская С.А., Абдыева Р.Т. Злаковая фракция инвазионной флоры Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 4. С. 56–70. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-56-70>
- Abdiyeva R.T., Litvinskaya S.A. Invasive plant species on the southern slope of the Greater Caucasus Azerbaijan // Journal of Botany. 2021. T. 2. N 1. P. 48–52.
- Литвинская С.А., Максименко С. В. Формирование чужеродной фракции флоры Западного Кавказа и Западного Предкавказья // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться. Москва: Изд-во МГУ. 2022. С. 326–336.
- Есипенко Л.П. Биологические инвазии как глобальная экологическая проблема Юга России // Юг России: экология, развитие. 2012. N 4. С. 21–25.
- Braun-Blanquet L. Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Wien: Springer-Verlag, 1964. 865 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
- Нешатаев Ю.Н. О некоторых задачах и методах классификации растительности // Растительность России. 2001. N 1. С. 57–61. <https://doi.org/10.31111/vegus/2001.01.57>
- Баранова О.Г., Щербakov А.В., Сенатор С.А., Панасенко Н.Н., Сагалаев В.А., Саксонов С.В. Основные термины и понятия, используемые при изучении чужеродной и синантропной флоры // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2018. Т. 12. N 4. С. 4–22. <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10031>
- Шмараева А.Н., Шишлова Ж.Н., Кузьменко И.П., Казеев К.Ш., Макарова Л.И. Анализ флоры экспериментальной степной залежи в ботаническом саду Южного Федерального университета // Живые и биокосные экосистемы. 2022. N. 39. <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2022-39-2>
- Шмараева А.Н., Федяева В.В., Козловский Б.Л. Инвазионные растения Ростовской области в Ботаническом саду Южного федерального университета // Новости науки в АПК. 2019. Т. 1. N 12. С. 167–172. <https://doi.org/10.25930/kvbm-zv70>
- Горбов С.Н., Безуглова О.С. Почвенный покров Ростовской агломерации. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2019. 186 с.
- Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации // Почвоведение. 2018. N 9. С. 1153–1159. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18090022>
- Безуглова О.С., Клименко Г.Г. Методические указания к лабораторным занятиям по физике почв. Часть 1, 2. Ростов-на-Дону, 1998. 28 с.
- Пианка Э., Гилярова М.С. Эволюционная экология. Москва: Мир, 1981. 400 с.
- Раменский Л.Г. О принципиальных установках, основных понятиях и терминах производственной типологии земель, геоботаники и экологии // Советская ботаника. 1935. N 4. С. 25–42.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Краткий энциклопедический словарь науки о растительности. Уфа: Гилем, 2014. 288 с.
- Шептухов В.П., Гафуров Р.М., Папаскири Т.В. и др. Атлас основных видов сорных растений России. Москва: Колос, 2008. 192 с.
- Курдюкова О.Н., Конопля Н.И. Семенная продуктивность различных видов сорных растений // Вестник защиты растений. 2014. N 1. С. 30–35.

REFERENCES

- Postarnak Yu.A., Litvinskaya S.A. Urban flora of the city of Krasnodar. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011, vol. 13, no. 5–3, 80 p. (In Russian)
- Litvinskaya S.A., Abdiyeva R.T. Gramineous fraction of the invasive flora of the Caucasus. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 56–70. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-56-70>
- Abdiyeva R.T., Litvinskaya S.A. Invasive plant species on the southern slope of the Greater Caucasus Azerbaijan. *Journal of Botany*. 2021, vol. 2, no. 1, pp. 48–52.
- Litvinskaya S.A., Maksimenko S.V. Formation of an alien fraction of the flora of the Western Caucasus and Western Pre-Caucasus. In: *Fitoinvazii: ostanovit' nel'zya sdavat'sya* [Phytoinvasions: you can't stop giving up] Moscow, MSU Publ., 2022, pp. 326–336. (In Russian)
- Esipenko L.P. Biological invasions as a global environmental problem in the South of Russia. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2012, no. 4, pp. 21–25. (In Russian)
- Braun-Blanquet L. Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Wien, Springer-Verlag Publ., 1964, 865 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
- Neshataev Yu.N. On some tasks and methods of vegetation classification. *Vegetation of Russia*, 2001, no. 1, pp. 57–61. (In Russian) <https://doi.org/10.31111/vegus/2001.01.57>
- Baranova O.G., Shcherbakov A.V., Senator S.A., Panasenkov N.N., Sagalaev V.A., Saxonov S.V. Basic terms and concepts used in the study of alien and synanthropic flora. *Phytodiversity of Eastern Europe*, 2018, vol. 12, no. 4, pp. 4–22. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10031>
- Shmaraeva A.N., Shishlova Zh.N., Kuzmenko I.P., Kazeev K.Sh., Makarova L.I. Analysis of the flora of the experimental steppe deposit in the botanical garden of the Southern Federal University. *Living and bio-inert ecosystems*, 2022, no. 39. (In Russian) <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2022-39-2>
- Shmaraeva A.N., Fedyaeva V.V., Kozlovsky B.L. Invasive plants of the Rostov region in the Botanical Garden of the Southern Federal University. *News of science in the agro-industrial complex*, 2019, vol. 1, no. 12, pp. 167–172. (In Russian) <https://doi.org/10.25930/kvbm-zv70>
- Gorbov S.N., Bezuglova O.S. *Pochvennyi pokrov Rostovskoi aglomeratsii*. [Soil cover of the Rostov agglomeration]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2019, 186 p. (In Russian)

12. Bezuglova O.S., Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N. Physical characteristics of urban soils in the Rostov agglomeration. *Soil science*, 2018, no. 9, pp. 1153–1159. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S0032180X18090022>
13. Bezuglova O.S., Klimenko G.G. *Metodicheskie ukazaniya k laboratornym zanyatiyam po fizike pochv* [Guidelines for laboratory studies in soil physics]. Rostov-on-Don, 1998, Part 1, 2. 28 p. (In Russian)
14. Pianka E., Gilyarova M.S. *Evolutsionnaya ekologiya* [Evolutionary ecology]. Moscow, Mir Publ., 1981, 400 p. (In Russian)
15. Ramensky L.G. On the fundamental principles, basic concepts, and terms of the production typology of land, geobotany and ecology. *Sovetskaya botanika* [Soviet botany]. 1935, no. 4, pp. 25–42. (In Russian)
16. Mirkin B.M., Naumova L.G. *Kratkii entsiklopedicheskii slovar' nauki o rastitel'nosti* [Concise encyclopedic dictionary of vegetation science]. Ufa, Guilem Publ., 2014, 288 p. (In Russian)
17. Sheptukhov V.P., Gafurov R.M., Papaskiri T.V. et al. *Atlas osnovnykh vidov sornykh rastenii Rossii* [Atlas of the main types of weeds in Russia]. Moscow, Kolos Publ., 2008, 192 p. (In Russian)
18. Kurdyukova O.N., Konoplya N.I. Seed productivity of various types of weeds. *Vestnik zashchity rastenii* [Herald of plant protection]. 2014, no. 1, pp. 30–35. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Светлана А. Литвинская написала рукопись, подготовила литературный обзор, обработала материалы по флоре и растительности. Сергей Н. Горбов провел полевые исследования и отбор почвенных проб, провел физико-химические исследования почвенных проб, написал рукопись, обработал статистические данные, принял участие в оформлении материалов, подготовил заключение. Юлия В. Дзигунова осуществила определение гербарного материала, принимала участие в обработке данных. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Svetlana A. Litvinskaya wrote the manuscript, prepared a literary review, processed materials on flora and vegetation. Sergey N. Gorbov conducted field research and soil sampling, conducted physical and chemical studies of soil samples, wrote the manuscript, processed statistical data, took part in the preparation of materials, prepared a conclusion. Yulia V. Dzigunova carried out the definition of herbarium material and took part in data processing. 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

Светлана А. Литвинская / Svetlana A. Litvinskaya <https://orcid.org/0000-0003-3805-1359>

Сергей Н. Горбов / Sergey N. Gorbov <https://orcid.org/0000-0002-0174-1631>

Юлия В. Дзигунова / Yulia V. Dzigunova <https://orcid.org/0009-0002-5692-2576>

Оригинальная статья / Original article

УДК 577.13;581.6

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-81-94

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



Экспериментальное изучение структуры изменчивости природных популяций *Origanum vulgare* L. из Горного Дагестана

Абдулахид М. Мусаев, Гаджи К. Раджабов, Аслан М. Алиев, Фатима И. Исламова

Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Абдулахид М. Мусаев, старший научный сотрудник
Горного ботанического сада Дагестанского
федерального научного центра; 367015 Россия,
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 79.

Тел. +79285157298

Email musaev-58@list.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-9005-1324>

Формат цитирования

Мусаев А.М., Раджабов Г.К., Алиев А.М.,
Исламова Ф.И. Экспериментальное изучение
структуры изменчивости природных популяций
Origanum vulgare L. из Горного Дагестана // Юг
России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 81-
94. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-81-94

Получена 2 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 11 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Выявление пластичности и стабильности, а также оценка межпопуляционной дифференциации по накоплению вторичных метаболитов в эколого-географическом эксперименте с двумя модельными популяциями *Origanum vulgare* L., относящимся к разным подвидам и викарирующих вдоль высотного градиента.

Материал и методы. Эколого-географический эксперимент с пересаженными растениями *Origanum vulgare* L. на двух экспериментальных базах (высота 1100 и 1730 м), моделирующих условия горно-долинного и верхнего горного поясов. Суммарное содержание антиоксидантов устанавливалось электрохимическим методом. Эфирное масло получали гидродистилляцией на аппарате Клевенджера. Компонентный состав масла установлен на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором. Идентификация компонентов проводилась при помощи библиотек масс-спектров.

Результаты. Проведено изучение структуры изменчивости по выходу и компонентному составу эфирного масла, а также суммарной антиоксидантной активности у двух популяций *Origanum vulgare* L., относящихся к разным подвидам. Выявлены закономерности, позволяющие отнести изученные популяции к предгорному и высокогорному экотипам.

Выводы. Выход эфирного масла и содержание суммарных антиоксидантов четко скоррелированы с условиями на экспериментальных участках и не связаны с микроэволюционными процессами под контролем абиотических факторов высотного градиента.

Ключевые слова

Межпопуляционная дифференциация, экотипы, высотный градиент, терпеноиды, антиоксиданты, эфирные масла.

Experimental study of the structure of variability of natural populations of *Origanum vulgare* L. from mountainous Dagestan, Russia

Abdulakhid M. Musaev, Gadzhi K. Radzhabov, Aslan M. Aliyev and Fatima I. Islamova

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

Principal contact

Abdulvahid M. Musaev, Senior Researcher, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Scientific Centre; 79 M. Yaragskogo St, Makhachkala, 367015 Russia.

Tel. +79285157298

E-mail musaev-58@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9005-1324>

How to cite this article

Musaev A.M., Radzhabov G.K., Aliyev A.M., Islamova F.I. Experimental study of the structure of variability of natural populations of *Origanum vulgare* L. from mountainous Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 81-94. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-81-94

Received 2 May 2023

Revised 11 July 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To identify plasticity and stability and to evaluate interpopulation differentiation in terms of accumulation of secondary metabolites in an ecological and geographical experiment with two model populations of *Origanum vulgare* L., belonging to different subspecies and vicarious along the altitudinal gradient.

Material and Methods. Ecological and geographical experiment with transplanted plants of *Origanum vulgare* L. at two experimental bases, at altitudes of 1100 and 1730 m and simulating the conditions of the mountain-valley and upper mountain belts. The total content of antioxidants was determined by the electrochemical method. The essential oil was obtained by hydrodistillation on a Clevenger apparatus. The component composition of the oil was established on a gas chromatograph with a mass spectrometric detector. Components were identified using mass spectra libraries.

Results. We studied the structure of variability in the yield and component composition of essential oil, as well as the total antioxidant activity in two populations of *Origanum vulgare* L. belonging to different subspecies. Regularities have been revealed that make it possible to attribute the studied populations to foothill and highland ecotypes.

Conclusions. The yield of essential oil and the content of total antioxidants are clearly correlated with the conditions in the experimental plots and are not associated with microevolutionary processes under the control of abiotic factors of the altitudinal gradient.

Key Words

Interpopulation differentiation, ecotypes, altitudinal gradient, terpenoids, antioxidants, essential oils.

ВВЕДЕНИЕ

Origanum vulgare L. – широко распространенное в умеренном и субтропическом климате северного полушария пряно-ароматическое и лекарственное растение [1–2]. Широкая экологическая амплитуда произрастания предполагает, соответственно, высокую полиморфность и изменчивость вида по биохимическим и морфологическим признакам [3–5].

В работах датского исследователя Итсворта [6–7] впервые был проанализирован обширный материал по данному виду и на основе изучения гербарного материала выделено 6 подвидов. Более подробно эту часть работы можно посмотреть в карте распространения подвидов душицы [8].

К сожалению, при этих исследованиях и выделении подвидов была охвачена только часть ареала вида, а именно европейская часть, Турция и Северная Африка. Вся европейская часть бывшего СССР, а также длинный «хвост» между Центральной Азией и Сибирью, а также горные регионы Кавказа остались неисследованными.

В этой связи, следует напомнить о горных районах с их сложным и расчлененным рельефом, а также наличием географических барьеров, способствующих стабилизирующему отбору изолированных популяций, который детерминирует морфологическую изменчивость и способствует увеличению приспособленности к локальной среде [9–11].

Основное разнообразие рода *Origanum* L., сосредоточено в Малой Азии (Турецкая республика) [12]. На Кавказе и, в частности, в Дагестане распространен один вид – *Origanum vulgare* L. [13–14]

Нами ранее были проведены рекогносцировочные исследования душицы по всему ареалу распространения ее в Горном Дагестане и заложены некоторые популяционно-экологические эксперименты [15], которые позволили нам сделать следующие предварительные выводы:

1. В Дагестане *O. vulgare* встречается от равнин до высокогорий (50–2100 м над уровнем моря).

2. Популяции с высоких предгорий и высокогорий (800–2100 м над уровнем моря) в эколого-географических экспериментах ведут себя как классические климатипы (экоотипы сформированные под воздействием климата) [16–18]. Популяции с равнин и низких предгорий выбиваются из закономерностей характерных для этого ряда климатипов и их фенология напоминает фенологию греческих или южно-итальянских популяций с очень ранним и продолжительным цветением и вторичным цветением осенью [19–20].

3. Эти две группы популяций морфологически различаются, в основном из-за различий в интенсивности окраски околоцветника, числа цветков в соцветии. Однако неоднократная проверка с выездом осенью на места произрастания природных популяций показала, что никакого осеннего или вторичного цветения у равнинных популяций не наблюдается.

Поэтому целью данной работы явилось сравнительное изучение двух природных популяций, собранных в предгорье (Талгинское ущелье, 550 м над уровнем моря) и в высокогорье (Гунибское плато, 1830 м над уровнем моря) по композиционному составу эфирного масла и его выходу, а также содержанию

суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Методика эколого-географического эксперимента

В 2010 г., в период цветения были выкопаны и пересажены живые растения из природных популяций с условными названиями «Талги» и «Гуниб» на заранее подготовленные опытные участки на экспериментальных базах Горного ботанического сада ДФИЦ РАН, на Цудахарскую экспериментальную базу (ЦЭБ, 1100 м над уровнем моря, координаты СШ 42°19'40.11", ВД 47°0'52.97" по GPS) и Гунибскую экспериментальную базу (ГЭБ, 1730 м. над уровнем моря, координаты СШ 42°24'05.04", ВД 46°55'04.26" по GPS). При сборе растений для пересадки выдерживалась не менее 40 м расстояния между растениями, во избежание попадания клонов (одинаковых генотипов) в выборку. Всего было пересажено по 40 генотипов (особей) с каждой популяции. Через три года, в 2014 году, растения были срезаны на фазе массового цветения для проведения дальнейших анализов. Срок в три года, на наш взгляд достаточный, чтобы растения полностью акклиматизировались к новым условиям.

Часть растений выпала за 3 года в силу разных причин, поэтому малая выборка для анализов формировалась по принципу наименьшей выборки, то есть число особей, отбираемых для анализа должно было быть одинаковым с каждой популяции и с каждого опытного участка. Поэтому получилось, что из каждой популяции выборка для анализа формировалась из 25 растений (всего 50 на двух участках). В том же году были собраны выборки из растений (сырье для анализов) из мест первоначального произрастания популяций, т.е. из популяций «Талги» и «Гуниб», также из 25 растений, с соблюдением 40 метрового расстояния между ними.

Растения высушивались в тени, в условиях Гунибской экспериментальной базы и осенью 2014 года из них были получены эфирные масла на аппарате Клевенджера, а также определены суммарные антиоксиданты (в мг/г воздушно сухого сырья). Влажность воздушно сухого сырья 13 %.

Поскольку различия между генотипами не оценивались, данный эксперимент можно отнести к эколого-географическим с двухфакторной структурой организации.

Экспериментальные базы

Гунибская экспериментальная база (ГЭБ)

Среднегодовая температура воздуха 6,7°C, с абсолютным максимумом температуры июля–августа 36°C, абсолютным минимумом температуры января -26°C. Количество солнечных дней в году – 333, средняя продолжительность солнечного сияния – 2250 часов. При среднем количестве осадков 680 мм их годовой ход носит отчетливый одновершинный характер с июньско-июльским максимумом 80–90 % годовой суммы. Почвы бурые лесные и горно-луговые черноземовидные каменисто-щебнистые и маломощные.

Цудахарская экспериментальная база (ЦЭБ)

Среднегодовая температура воздуха 10,1°C с абсолютным максимумом в июле–августе до 40°C, абсолютным минимумом в январе до -23°C. Среднее

количество безморозных дней 270. среднее количество осадков за зимний период около 40 мм, максимальное в июне–июле – 85. Почвы сухостепные, каменисто-щебнистые, маломощные, хрящеватые.

Гидродистилляция

Эфирное масло экстрагировали перегонкой с паром, на приборе Клевенджера определяли содержание масла (мл/100 г), перегонкой с водяным паром в течение 3 ч. при температуре кипения, в 3-кратной повторности в каждом варианте опыта, всего 6-кратно для каждого образца.

Композиционный анализ экстрактов

Композиционный анализ экстрактов проводили на хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 plus на капиллярной колонке Supelco SLB-5ms (30 м × 0,25 мм × 0,25 μm) в режиме «сплит». В качестве газа-носителя использовался гелий высокой чистоты (99,9999 %) с расходом 1 мл/мин. Температуру колонки повышали от 60°C (время выдержки 4 мин) до 150°C со скоростью 10°C/мин, затем до 250°C со скоростью 5°C/мин. Температура инжектора, интерфейса и детектора составляла 250°C. Ионизация осуществлялась электронным ударом с энергией электронов 70 эВ. Ток катодной эмиссии 60 мкА, диапазон регистрируемых ионов 45–500 м/з. Идентификацию компонентов проводили с помощью библиотек масс-спектров NIST08 и FFNSC, а также литературных источников [21]. Перед анализом навеску разбавляли н-гексаном в 1000 раз. Вводили 1 мл разбавленной навески с разделением 1:40.

Метод определения общего содержания антиоксидантов (СОА)

Общее содержание антиоксидантов определяли амперометрическим методом на анализаторе «Цвет Яуза 01 – АА», основанном на измерении электрического тока в электрохимической ячейке, возникающего при приложении к электроду определенного потенциала. При построении градуировочного графика для исключения случайных результатов готовили растворы галловой кислоты (Sigma-Aldrich, чистота >98,5 %) массовой концентрации 0,2; 0,4; 2,0; 4,0 мг/л, и проведено 5 последовательных измерений, из которых 3 повторности учитывались при статистической обработке. В качестве элюента использовали ортофосфорную кислоту (Компонент-реактив, РФ) молярной долей 0,0022 моль/дм³. Данная методика была выбрана потому что она более устойчива к ошибкам, связанным с факторами внешней среды при проведении измерений и результаты хорошо коррелируют с методикой, принятой для измерения суммарных антиоксидантов в ФАО, где качестве стандарта используют не галловую кислоту, как в нашем случае, а синтетический водорастворимый аналог токоферола – тролокс. Более подробно с данным методом можно ознакомиться в нашей работе [22] или в работах разработчиков метода [23–24].

Статистические расчеты

Статистические расчеты проводились с использованием лицензионного пакета статистических программ от StatSoft, Statistica 5.5. Результаты представлены как

среднее значение ± стандартная ошибка. Значимость при $p < 0,05$ оценивали с помощью иерархического двухфакторного дисперсионного анализа по методу главных эффектов. В кластерном анализе в качестве меры расстояния использовалось евклидово расстояние. Дендрограммы строились методом полного сцепления.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения таксономического статуса популяций. Биосистематический статус модельных популяций, фенологические и морфологические особенности межпопуляционной дифференциации

Как уже упоминалось выше, внутривидовая классификация вида по Итсворту [6] *O. vulgare* на 6 подвидов, однако материал с кавказских популяций в данной работе не исследовался, поэтому определение биосистематического статуса модельных популяций представлял большой интерес.

Визуально растения из предгорной популяции выглядели более опушенными, и с более растянутым сроком цветения, что связано с большим числом цветков на одном колоске и с большим числом колосков на терминальном соцветии.

Определение проводилось на гербарном материале, собранном в природных популяциях и на экспериментальных участках в 2012–2013 годах, который хранится в гербарии Горного ботанического сада ДФИЦ РАН (акроним DAG).

По итогам определения предгорная популяция была отнесена к подвиду *O. vulgare ssp. viride*, Высокогорная определена как *O. vulgare ssp. vulgare*.

Сравнительный анализ содержания суммарных антиоксидантов.

Суммарные антиоксиданты являются интегральным показателем приспособленности организма к варьирующим условиям среды. Лабильность или стабильность этого показателя, на наш взгляд, может косвенно оценить адаптивный потенциал и устойчивость к неблагоприятным факторам среды.

Результаты представлены в таблице 1. (дескриптивная статистика) и в таблице 2. (двухфакторный дисперсионный анализ). Также на рисунке 1 показаны профили изменчивости этого показателя в зависимости от происхождения и места посадки. По результатам видно, что статистически достоверные различия связаны только с высотой над уровнем моря произрастания в природной или интродукционной популяции и не связаны с особенностями экотипа или подвида в целом, что нами первоначально выдвигалось в качестве рабочей гипотезы. Компонента дисперсии оценивающая вклад в общую изменчивость различия между вариантами посадки или произрастания забрала 100 % изменчивости, а различия между образцами по первоначальному происхождению являются случайными и данный фактор не контролирует изменчивость суммарных антиоксидантов (табл. 2). Из таблицы 1 и рисунка 1 можно сделать вывод, что в условиях эксперимента у обеих популяций видно заметное линейное возрастание количества суммарных антиоксидантов на участке, расположенном на высоте 1650 м по сравнению с участком на высоте 1100 метров.

Таблица 1. Дескриптивные статистики суммарного содержания антиоксидантов в вариантах эксперимента
Table 1. Descriptive statistics of the total content of antioxidants in the variants of the experiment

Уровни фактора Level of factor	Варианты эксперимента Experimental variants	N	Среднее ± ст. ошибка, (мг/г) Average ± st. error, (mg/g)	CV, (%)
Total		18	24,6 ± 1,19	20,49
{1}pop	Гуниб / Gunib	9	24,2 ± 2,19	27,08
{1}pop	Талги / Talgi	9	25,1 ± 1,07	12,8
{2}site	Гуниб NP / Gunib NP	3	31,8 ± 0,00	0
{2}site	Талги NP / Gunib NP	3	27,3 ± 0,00	0
{2}site	Талги GEB / Talgi GEB	3	27,2 ± 0,00	0
{2}site	Гуниб GEB / Gunib GEB	3	24,1 ± 0,00	0
{2}site	Гуниб TEB / Gunib TEB	3	16,6 ± 0,06	0
{2}site	Талги TEB / Talgi TEB	3	20,8 ± 0,00	0

Примечание: NP – природная популяция, GEB – Гунибская экспериментальная база, TEB – Цудахарская экспериментальная база
 Note: NP – natural populations, GEB – Gunib experimental base, TEB – Tsudakhar experimental base

Таблица 2. Двухфакторный дисперсионный анализ данных по накоплению суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L.

Table 2. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of total antioxidants in an ecological and geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L.

MS Type: I	Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по показателям накопления суммарных антиоксидантов						
	Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of total antioxidants						
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
Участки сбора сырья Raw material collection areas	Random	2	181,0732	2	33,01104	5	0,154196
Популяции Populations	Random	1	3,9387	2	33,01104	0	0,762727
1*2	Random	2	33,0110	12	0,00002	1485497	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта
 Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Как видно из таблицы 2, единственным существенным и статистически достоверным влиянием на накопление суммарных антиоксидантов обладает взаимодействие факторов, которое объясняет 100 % изменчивости в данном дисперсионном комплексе. Ни участки выращивания, ни межпопуляционная дифференциация не оказывают существенного и достоверного влияния на различия между вариантами эксперимента.

Однако на рисунке 1 наглядно видно, что наблюдаемое взаимодействие факторов связано с неоднородностью самих вариантов эксперимента. Если исключить данные по природным популяциям, то взаимодействие факторов по-прежнему остается существенным и достоверным эффектом, влияющим на структуру изменчивости, однако доля варианты,

объясняемая взаимодействием, снижается со 100% до 1% (рис. 2). Оба подвида (популяции) параллельно снижают показатели содержания антиоксидантов в надземной части со снижением высоты над уровнем моря места посадки. Структура изменчивости кардинально меняется, что показано в таблице 3. Хотя влияние обеих учитываемых факторов недостоверно по общепринятому уровню достоверности $p \leq 0,05$, что связано с малым числом степеней свободы, мы посчитали необходимым учесть влияние обоих факторов при расчетах компонент дисперсии (рис. 2). Как видно из рисунка 2, доля вариантов, объясняемая взаимодействием факторов, равна 1 %, а факториальные компоненты дисперсии равны 77,9 % по участкам и 21,1 по популяциям соответственно.

Таблица 3. Двухфакторный дисперсионный анализ данных по накоплению суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L. с исключением данных по природным популяциям
Table 3. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of total antioxidants in an ecological-geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L., data on natural populations

MS Type: I	Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по показателям накопления суммарных антиоксидантов						
	Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of total antioxidants						
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
Участки сбора сырья Raw material collection areas	Random	1	143,4517	1	0,924075	155,24	0,050986
Популяции Populations	Random	1	39,4219	1	0,924075	42,66	0,096718
1*2	Random	1	0,9241	8	0,000025	36963,00	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта
 Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Таким образом подтвердились наши первоначальные предположения о важности воздействия комплекса абиотических факторов высотного градиента на биосинтез этой группы вторичных метаболитов важности

микроразволюционных факторов, сформировавших подвиды как естественно-историческую структуру со своим гомеостазом, влияющим на уровень синтеза антиоксидантов.

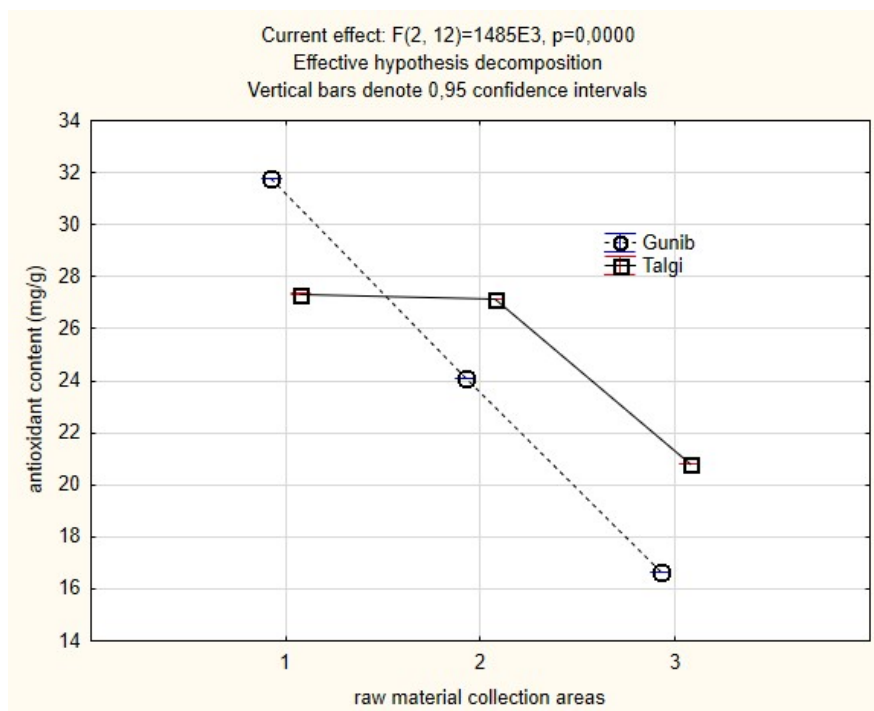


Рисунок 1. Профили изменчивости двух популяций *Origanum vulgare* L. относящихся к разным подвидам, в зависимости от участка произрастания по содержанию суммарных антиоксидантов в воздушно-сухом сырье в надземной части в период массового цветения: 1 – природные популяции, 2 – Цудахарская экспериментальная база, 3 – Гунибская экспериментальная база

Figure 1. Variation profiles of two populations of *Origanum vulgare* L. belonging to different subspecies, depending on the area of growth according to the content of total antioxidants in air-dry raw materials in the aerial part during the period of mass flowering: 1 – natural populations, 2 – Tsudakhar experimental base, 3 – Gunib experimental base

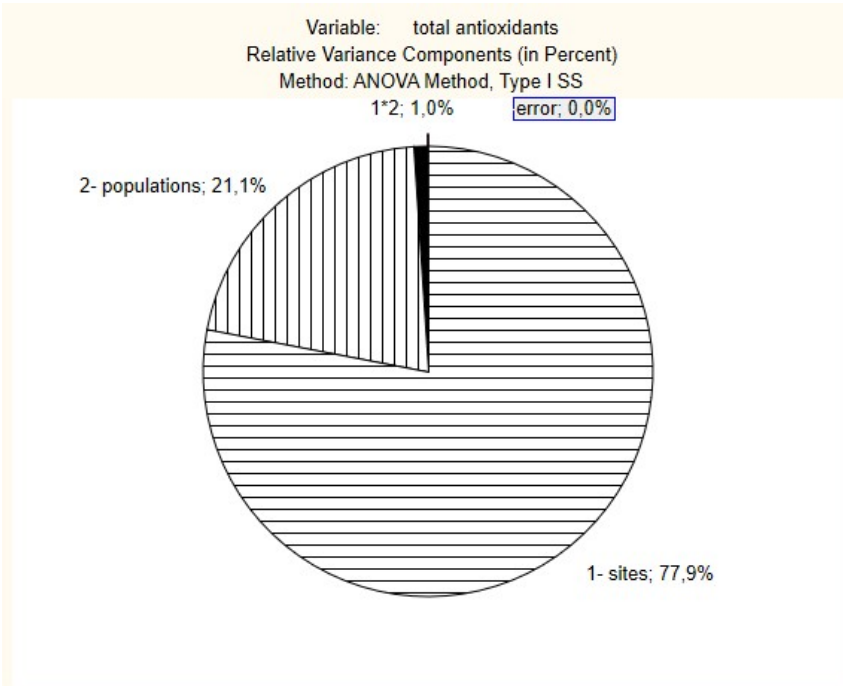


Рисунок 2. Компоненты дисперсии по содержанию суммарных антиоксидантов при обработке материала без учета данных по природным популяциям

Figure 2. The components of the variance in the content of total antioxidants during material processing without taking into account data on natural populations

Сравнительный анализ выхода эфирного масла

Вопрос продуктивности или выхода эфирного масла, а также выявление и оценка факторов, которые его контролируют, очень важен и актуален с точки зрения экономической ботаники. Экспериментального материала в этом отношении накоплено мало и по нему не представляется возможным сделать какие-либо обобщения.

Для *Origanum vulgare* L., вида с широким ареалом и морфологически дифференцированным на ряд групп, объединяемых в подвиды, характерен больший выход эфирного масла для южных популяций и поэтому, в нашей работе, мы спланировали эксперимент таким образом, чтобы выявить межпопуляционную дифференциацию у максимально удаленных пространственно и морфологически изолированных популяций, представленных двумя подвидами.

Таблица 4. Deskriptivnye statistiki po nakopleniyu эфирного масла душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) в зависимости от пункта сбора и выращивания

Tables 4. Descriptive statistics on the accumulation of essential oil of oregano (*Origanum vulgare* L.) depending on the point of collection and cultivation

Варианты эксперимента Experimental variants	N	Среднее ± ст. ошибка Average ± st. error	CV%
Total	18	0,14 ± 0,02	47,14
Гуниб / Gunib	9	0,15 ± 0,02	39,8
Талги / Talgi	9	0,12 ± 0,02	58,3
Гуниб NP / Gunib NP	3	0,09 ± 0	0,7
Талги NP / Talgi NP	3	0,21 ± 0	0
Гуниб GEB / Gunib GEB	3	0,15 ± 0	3,8
Талги GEB / Talgi GEB	3	0,08 ±	7,2
Гуниб TEB / Gunib TEB	3	0,23 ±	2,4
Талги TEB / Talgi TEB	3	0,06 ±	0

Примечание: NP – природная популяции, GEB – Гунибская экспериментальная база, TEB – Цудахарская экспериментальная база

Note: NP – natural populations, GEB – Gunib experimental base, TEB – Tsudakhar experimental base

Таблица 5. Двухфакторный дисперсионный анализ по выходу эфирного масла в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L.

Table 5. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of essential oil in an ecological and geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L.

MS Type: I	Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по выходу эфирного масла Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of essential oil						
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
Участки сбора сырья Raw material collection areas	Random	2	0,002058	2	0,031695	0,065	0,939017
Популяции Populations	Random	1	0,006013	2	0,031695	0,190	0,705647
1*2	Random	2	0,031695	12	0,000017	1895,385	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта

Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Как видно из таблицы 4 и рисунка 3, структура изменчивости по выходу эфирного масла весьма зависима от климатических условий высотного градиента. Гунибская популяция при пересадке с высоты 1800 м на 1650 и 1100 м над уровнем моря почти линейно увеличивает выход эфирного масла, а популяция из Талги наоборот снижает. При этом талгинская популяция, относящаяся к другому подвиду, при пересадке на вышестоящие экспериментальные базы, реагирует резким снижением продуктивности, при этом на высоте 1100 метров над уровнем моря (ЦЭБ) выход масла незначительно меньше, чем на Гунибской экспериментальной базе, статистически достоверных различий между ними нет.

Подвид *O. vulgare* ssp. *viride*, к которому относится талгинская популяция, в условиях посадки на высокогорные и горно-долинные условия (Гунибская и Цудахарская экспериментальные базы соответственно),

обладала растянутым цветением, почти втрое превышавшим аналогичный период у Гунибской популяции и в этих условиях, резко снизила выход эфирного масла.

Подвид *O. vulgare* ssp. *vulgare*, наоборот, чем ниже высаживался от исходной популяции, тем больше увеличивался выход эфирного масла.

По итогам дисперсионного анализа данных по выходу эфирного масла получилась почти такая же картина что и по выходу суммарных антиоксидантов, т.е. вся изменчивость достоверно объясняется лишь взаимодействием факторов, а сами факторы «происхождение популяции» и «место посадки» не имеют достоверного влияния на итоговый результат (табл. 5). Поэтому нами было решено, как и в случае с суммарными антиоксидантами рассмотреть вариабельность данных исключением данных по природным популяциям. Результаты представлены в таблице 6.

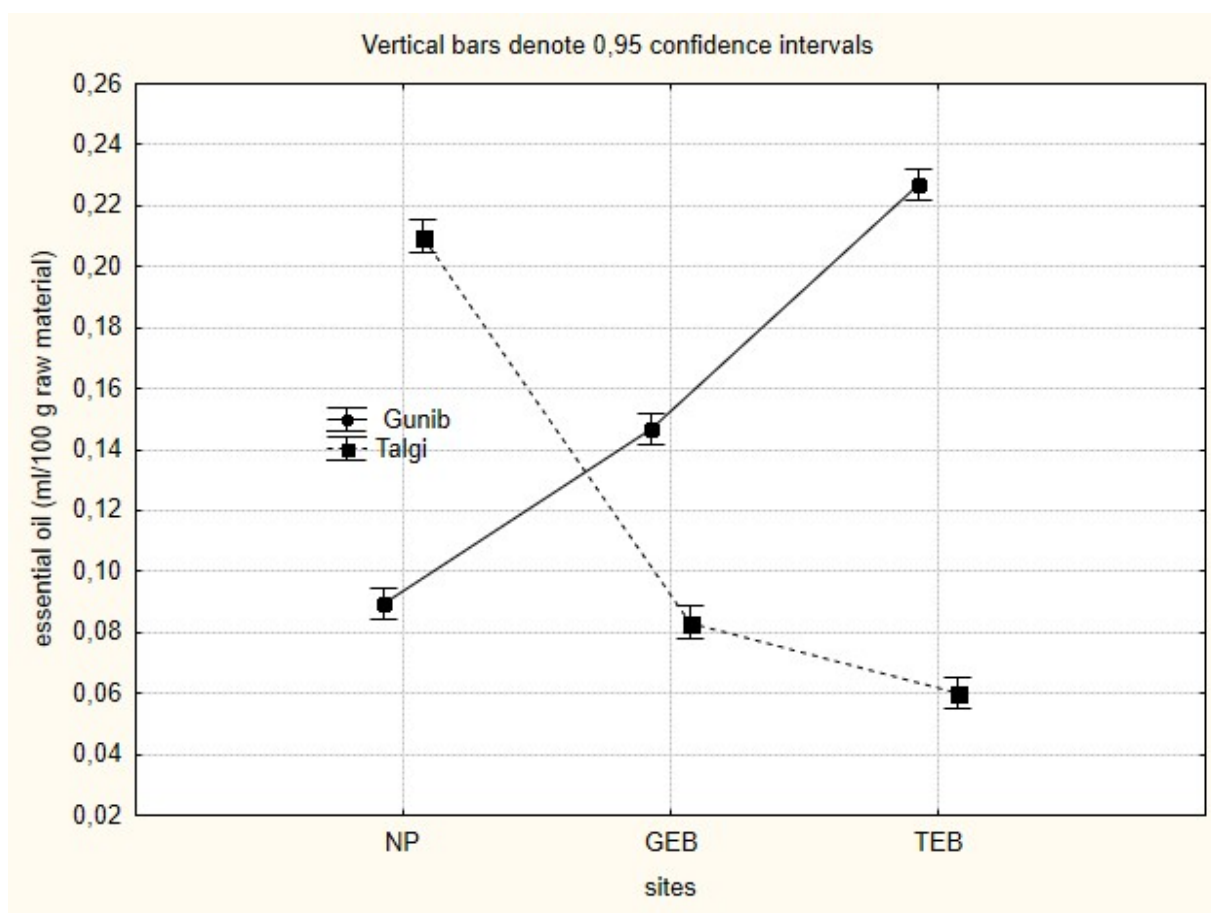


Рисунок 3. Профили изменчивости двух популяций *Origanum vulgare* L. относящихся к разным подвидам, в зависимости от участка произрастания по выходу эфирного масла в воздушно-сухом сырье в надземной части в период массового цветения: NP – природные популяции natural populations, GEB – Гунибская экспериментальная база, TEB – Цудахарская экспериментальная база

Figure 3. Variation profiles of two populations of *Origanum vulgare* L. belonging to different subspecies, depending on the site of growth by the yield of essential oil in air-dry raw materials in the aerial part during the period of mass flowering: NP – natural populations, GEB – Gunib experimental base, TEB – Tsudakhar experimental base

Таблица 6. Двухфакторный дисперсионный анализ по выходу эфирного масла в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L., с исключением данных по природным популяциям

Table 6. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of essential oil in an ecological and geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L. with the exclusion of data on natural populations

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по выходу эфирного масла							
Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of essential oil							
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
{1}Var5	Random	1	0,002408	1	0,008008	0,3007	0,680669
{2}Var6	Random	1	0,039675	1	0,008008	4,9542	0,268813
1*2	Random	1	0,008008	8	0,000025	320,3333	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта
Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Как видно из таблицы 6, по-прежнему, взаимодействие факторов является единственным достоверно подтвержденным предиктором, контролирующим выход эфирного масла, хотя компонента дисперсии фактора «происхождение популяций» тоже можно учесть, поскольку F-критерий имеет значение 4,9542, но нулевая гипотеза опровергается не только на уровне 28,9 %. Тем не менее, доля дисперсии этого фактора в общем дисперсионном комплексе оказалась наибольшей, и ее доля составила 66,3 %, а доля взаимодействия факторов 33,4 (рис. 4).

Влияние абиотических факторов, в том числе комплекса факторов высотного градиента на морфологические и биохимические признаки *Origanum vulgare* L. обсуждается во многих работах [15–18]. В нашем случае совершенно очевиден факт высокой пластичности и вторичных метаболитов, (суммарных антиоксидантов и компонентов эфирного масла) под влиянием участка выращивания (суммарные антиоксиданты) или происхождения популяций (эфирные масла).

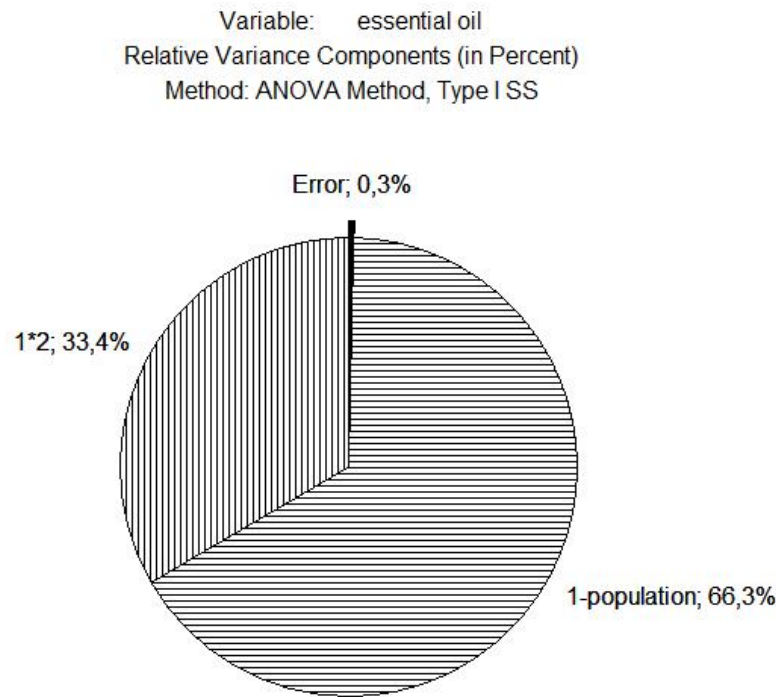


Рисунок 4. Круговая диаграмма по компонентам дисперсии по выходу эфирных масел при обработке данных без учета данных по природным популяциям
Figure 4. Pie chart for the components of the variants in the content of essential oils during data processing without taking into account data on natural populations

Сравнительный анализ компонентного состава эфирного масла

Идентификация компонентов эфирного масла, как уже упоминалось выше, проводилась при помощи лицензионных библиотек масс-спектров NIST08 и FFNSC. Капиллярная трубка Supelco SLB-5ms (30 м × 0,25 мм × 0,25 μm) плохо идентифицировала тяжелые компоненты с большим временем удержания, из-за чего проводилась тщательная проверка этих результатов с использованием справочной литературы [21].

Результаты приводятся в таблице 7. Несмотря на неизбежную громоздкость и неудобство восприятия, эти результаты являются первыми достоверными результатами компонентного состава эфирного масла, позволяющими оценивать в первом приближении генетические ресурсы и селекционный потенциал изолированных популяций *Origanum vulgare* L., произрастающих в гетерогенной среде горных экосистем Горного Дагестана.

Таблица 7. Компонентный состав эфирного масла в природных популяциях эколого-географического эксперимента
Table 7. Component composition of the essential oil of *Origanum vulgare* L. in natural populations an eco-geographical experiment

N	RT	Компоненты, тривиальные названия Components, trivial names	Талги Talgi	Талги ТЕВ Talgi TEB	Талги ГЕВ Talgi GEB	Г у н и б G u n i b	Гуниб ТЕВ Gunib TEB	Гуниб ГЕВ Gunib GEB
1.	8.133	Thujene <alpha->	0,42	0,33	0,13	0,50	0,60	0,29
2.	8.370	Pinene <alpha->	0,60	0,42	0,16	0,32	0,70	0,35
3.	9.446	Sabinene	5,31	5,96	4,01	3,07	6,68	2,23
4.	9.592	Pinene <beta->	0,97	0,65	0,21	0,63	0,88	0,76
5.	9.715	n-Octanone-3	2,38	0,77	1,04	1,32	1,72	0,35
6.	9.829	Myrcene	0,54	0,38	0,28	0,81	0,53	0,45
7.	9.896	2,3-Dehydro-1,8-cineole	0	0	0	0	0	0,10
8.	10.023	Hexanol <ethyl->	0,67	0,24	0,28	0,47	0,88	0,21
9.	10.284	Phellandrene <alpha->	0,08	0,11	0	0,13	0,22	0,05
10.	10.538	Terpinene <alpha->	1,56	1,93	0,75	2,66	5,29	2,22
11.	10.713	Cymene <para->	3,52	2,30	2,89	1,32	1,58	0,88
12.	10.833	Limonene	1,18	0,87	0,52	0,50	1,26	0,70
13.	10.873	Phellandrene <alpha->	0,04	0	0	0,43	0,53	0,37
14.	10.921	Eucalyptol	5,00	3,44	1,95	0,28	0,83	1,96

15.	11.180	beta.-Ocimene	6,70	1,26	1,70	4,51	7,33	5,14
16.	11.472	Terpinene <gamma->	2,92	3,73	2,03	4,11	7,15	3,54
17.	11.741	Sabinene hydrate <trans->	0	0	0	0	0	0,51
18.	11.749	Sabinene hydrate <cis->	0,09	0,11	0	0	0,62	0
19.	12.054	Terpinolene	0,57	0,71	0,28	1,00	2,01	0,90
20.	12.129	Ocimenone <trans->	0,14	0,33	0,24	0,13	0,14	0,04
21.	12.288	Linalool	2,41	4,70	5,19	2,31	2,15	2,51
22.	12.380	n-Nonaldehyde	0,11	0,17	0,15	0	0	0
23.	12.390	Sabinene hydrate <cis->	0	0	0	0	0,31	0,24
24.	12.433	Chrysanthone	0	0,21	0,16	0,12	0,09	0
25.	12.706	Thujone <beta->	0	0,17	0,13	0,12	0,07	0
26.	12.840	Ocim-(4E,6Z)-ene <allo-> (1,4-Hexadiene, 5-methyl-3-(1-methylethylidene)-	0,28	0,23	0,18	0,20	0,57	0,29
27.	13.181	2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	0,12	0	0	0,12	0,37	0,17
28.	13.307	Camphor	0,18	0,94	0,70	0,55	0,44	0,16
29.	13.488	9-Methylbicyclo[3.3.1]nonane	0,08	0	0	0	0,10	0
30.	13.684	Terpineol <delta->	0,09	0	0	0	0	0
31.	13.752	Borneol	0,06	0,06	0	0	0	0
32.	13.875	Terpinen-4-ol	3,25	2,15	0,86	3,63	8,68	4,30
33.	14.127	Terpineol <alpha->	9,79	0,72	0,21	2,16	0,81	10,15
34.	14.346	Piperitol <trans->	0,05	0	0	0,08	0,3	0,15
35.	14.737	Thymol methyl ether	0	0,21	0,62	0	0	0,05
36.	14.776	Carvacryl methyl ether	0,35	0	0	0,15	0	0
37.	14.842	Pulegone	0	0,06	0,08	0,04	0	0
38.	14.908	Cuminaldehyde	0,10	0	0	0	0,09	0
39.	15.576	Thymol	0,04	0,16	0,18	0,34	0	0,20
40.	15.682	Dihydroedulan IIA	0,23	0,50	0,34	0,33	0,15	0
41.	15.723	Carvacrol	0,08	0,51	0,27	0	0,11	0
42.	16.253	1,4-Cyclohexadiene-1-methanol, 4-(1-methylethyl)-	0	0	0	0	0,05	0
43.	16.355	Bicyclogermacrene	0,24	0,23	0,18	0,09	0,56	0,89
44.	17.114	Copaene <alpha->	0,19	0,24	0,17	0,22	0,18	0,24
45.	17.190	10,12-Tricosadiynoic acid, methyl ester, Doconexent, cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexanoic acid, .omega.-3 Marine Triglycerides	0,13	0,25	0,22	0,43	0,13	0
46.	17.278	Bourbonene <beta->	1,47	1,26	2,09	2,60	1,60	2,12
47.	17.339	<u>alpha-Bourbonene</u>	0,05	0	0,08	0,12	0	0,08
48.	17.599	6,8-Nonadien-2-one, 6-methyl-5-(1-methylethylidene)-	0	0	0	0,11	0	0
49.	17.687	Gurjunene <alpha->	0	0	0	0	0,10	0,05
50.	17.929	Caryophyllene	12,34	10,36	13,85	10,19	10,44	10,96
51.	18.012	Bergamotene <alpha-, trans->	0,09	0,27	0,37	0,09	0,17	0,08
52.	18.063	Cubebene <beta->	0,31	0,31	0,38	0,50	0,37	0,42
53.	18.121	Bergamotene <beta-, trans->	0	0	0,11	0,10	0	0
54.	18.227	Farnesene <(E)-, beta->	0,06	0	0,10	0	0	0,11
55.	18.232	(Z)-.beta.-Farnesene	0	0	0	0	0,09	0
56.	18.317	Isogermacrene D	0,22	0	0	0	0,25	0
57.	18.320	Octadecane, 1-chloro-	0	0,30	0,38	0	0	0
58.	18.324	Cedrene <beta->	0	0	0	0,42	0	0,38
59.	18.448	Murolene <epsilon>	0,15	0	0	0,18	0,10	0,12
60.	18.536	Humulene <alpha->	2,48	2,61	2,16	2,30	2,35	2,58
61.	18.626	Caryophyllene <9-epi-(E)->	0,25	0,31	0,24	0,77	0,43	1,06
62.	18.767	Cubebene <alpha->	0,07	0	0,07	0,17	0	0
63.	18.808	(E)-.beta.-Ionone	0,10	0,40	0,14	0,31	0	0
64.	18.815	alpha.-Amorphene	0	0	0	0	0,25	0,20
65.	18.875	(Z,E)-.alpha.-Farnesene	0,11	0	1,29	0,16	0,13	0,13
66.	18.979	Germacrene D	8,55	6,63	7,07	0	0	0
67.	18.993	Cadinene <gamma->	0	0	0	8,34	8,90	9,02
68.	19.139	alpha.-Farnesene	1,60	3,67	1,29	2,93	3,40	2,84
69.	19.234	Bicyclogermacrene	1,30	1,27	0,92	5,19	2,86	4,17

70.	19.295	Bisabolene <beta->	4,51	7,92	14,16	4,29	2,52	4,38
71.	19.506	Cadinene <gamma->	0,09	0,24	0	0,31	0,25	0,38
72.	19.562	Cadinene <delta->	0,74	0,96	0,65	1,74	1,28	3,,00
73.	19.856	Bisabolene <(Z)-, alpha->	0,21	0,17	0,21	0,13	0,09	0,17
74.	19.930	Cadinene <alpha->	0	0	0	0,08	0,05	0,13
75.	20.271	n.i.	0,77	1,52	1,65	0,78	0,46	0,44
76.	20.550	Bicyclo[5.2.0]nonane, 2-methylene-4,8,8-trimethyl-4-vinyl-	0	0	0	0,43	0	0
77.	20.599	Lanceol <cis->	0,10	0	0,12	0	0,11	0,15
78.	20.742	Spathulenol	1,92	4,10	1,80	5,90	2,06	3,04
79.	20.886	Caryophyllene oxide	8,63	12,88	18,22	8,50	4,80	5,45
80.	21.040	Salvial-4(14)-en-1-one	0,20	0,42	0,43	0	0	0
81.	21.093	Cubenol	0,16	0	0	0	0	0
82.	21.102	Maaliene <gamma->	0	0,38	0,35	0,80	0	0
83.	21.294	Globulol	0,14	0	0,30	0,38	0	0
84.	21.299	n.i.	0	0,38	0	0	0,24	0
85.	21.382	Humulene epoxide II	1,09	2,69	2,62	1,40	0,69	0,9
86.	21.636	Viridiflorol	0,07	0,42	0	0,19	0	0,56
87.	21.754	1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	0	0	0	0,28	0	0
88.	21.801	Isopulegyl acetate	0	0,11	0,23	0	0	0
89.	21.867	Bicyclo[7.2.0]undecan-3-ol <11,11-dimethyl-, 4,8-bis(methylene)->	0,28	0,59	0,46	0	0	0
90.	21.885	Cadina-1(6),4-diene	0	0	0	0	0,17	0
91.	21.927	Cadin-4-en-10-ol	0,21	0	0	1,35	0,32	0
92.	21.963	Alloaromadendrene oxide-(1)	0	0	0,22	0	0	0
93.	22.162	.alpha.-Cadinol	0,57	0	0	0,60	0,65	1,24
94.	22.182	Duvatrienediol	0	1,18	0,89	0	0	0
95.	22.445	Isoaromadendrene epoxide	0,49	1,48	1,10	0,69	0,26	0,32
96.	22.696	Cyclopropanemethanol, .alpha.,2-dimethyl-2-(4-methyl-3-pentenyl)-, [1.alpha.(R*),2.alpha.]-	0	0,33	0,14	0	0	0
97.	22.852	6-Isopropenyl-4,8a-dimethyl-1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-naphthalen-2-ol	0,09	0,28	0,20	0,19	0	0,15
98.	23.389	3,7,11-Trimethyl-dodeca-2,4,6,10-tetraenal	0	0,20	0,27	0	0	0
99.	25.423	Phytone	0,11	0,42	0,57	0,64	0,26	0,69
100.	30.387	Phytol	0	0,18	0,10	0,15	0,03	0
Number of components by experimental variants			72	64	67	74	68	63
Число компонентов по вариантам эксперимента			72	64	67	74	68	63

Примечание: Цифры означают массовую долю в % каждого компонента в составе эфирного масла.

RT – время удержания в минутах (Retention Time), n.i. – не идентифицированные компоненты.

Жирным шрифтом выделены основные (мажорные) компоненты

Note: The numbers indicate the mass fraction in % of each component in the composition of the essential oil.

RT – retention time in minutes (Retention Time), n.i. – unidentified components. The main (major) components are highlighted in bold

Как видно из таблицы 7, всего обнаружено 100 компонентов эфирного масла, из них идентифицировано 98, не идентифицировано 2 компонента. Все варианты эксперимента имеют разное количество компонентов, заметна тенденция небольшого превышения числа компонент в эфирном масле, полученном из сырья, собранного в природных популяциях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рисунке 5 показаны результаты кластерного анализа композиционного состава эфирных масел по итогам эколого-географического эксперимента. По результатам видно, что природные популяции расположились по краям дендрограммы, а экспериментальные участки моделирующие условия верхнего горного пояса (Гуниб) и

климатического подрайона горных долин (Цудахар) расположились посередине, причем попарно для каждой популяции. Таким образом, еще раз подтвердилось то, что эфирные масла, как по выходу, так и по композиционному составу больше зависят от происхождения популяции, т.е. от микроэволюционной предыстории до пересадки на экспериментальный участок. А группа вторичных метаболитов, которые входят в состав надземной части, и изучались нами как суммарные антиоксиданты, отличаются более высокой пластичностью (люфтом) и их продуктивность и активность зависят от абиотических параметров на участке и в гораздо меньшей степени от микроэволюционной предыстории до пересадки.

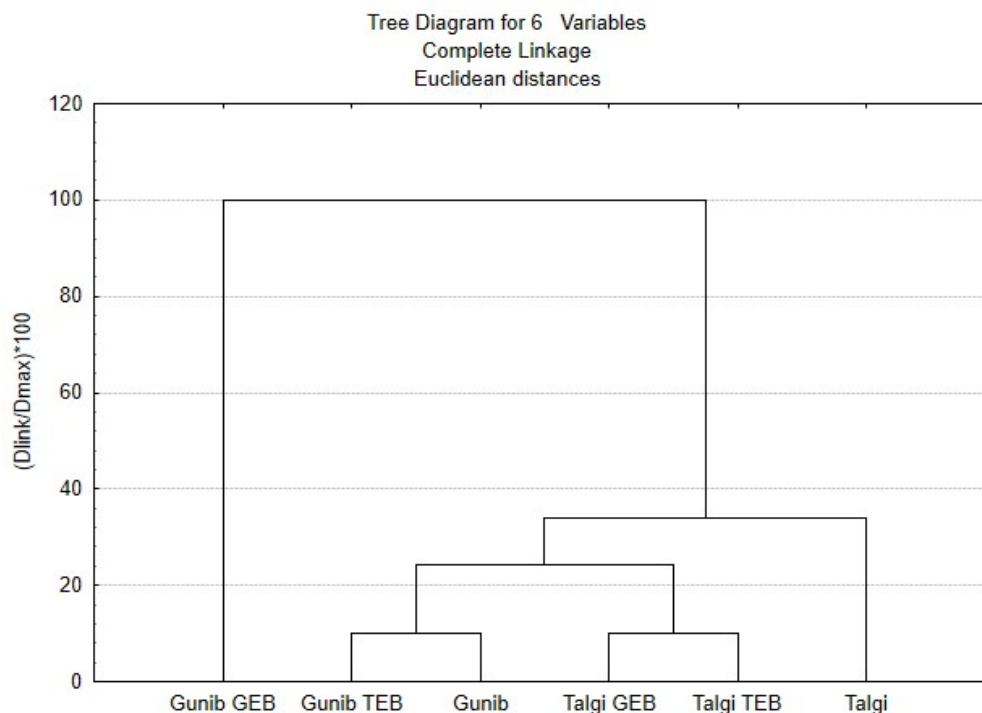


Рисунок 5. Оценка близости компонентного состава эфирного масла *Origanum vulgare* L. в эколого-географическом эксперименте

Figure 5. Assessing the proximity of the component composition of the essential oil of *Origanum vulgare* L. in an ecological-geographical experiment

Таким образом, оценка этих двух популяций показывает высокую пластичность по содержанию суммарных антиоксидантов, важности условий участка, а также климатических условий года для прогноза повышения этого показателя.

Если судить о качественных показателях эфирного масла, то из таблицы 7 видно, что два важнейших компонента эфирного масла карвакрол и тимол присутствуют в совсем небольших количествах (41 и 39 номера в таблице соответственно). Карвакрол обнаружен в количествах 0–0,51 %, тимол 0–0,34 %. Между тем, многие итальянские и греческие популяции имеют выход карвакрола и тимолола более половины по массе в композиционном составе эфирного масла [24–25], существенно (иногда в несколько раз) выше и выход эфирного масла [24]. Известно, что измельченная надземная часть *Origanum vulgare* и *O. majorana*, используются для приготовления традиционной южноевропейской приправы к мясным блюдам, с коммерческим названием «орегано». Из-за низкого содержания вышеупомянутых компонентов дагестанские популяции не смогут конкурировать с греческими и итальянскими популяциями, но все они, обладая приятным запахом, могут входить в состав чайных композиций, тизанов. По нашим наблюдениям, местное население с незапамятных времен использует надземную часть *Origanum vulgare* в качестве отхаркивающего, антипростудного, седативного средства, в виде водных настоев.

Поскольку изучаемый вид на ранних этапах онтогенеза, будучи мелкосемянным видом, выживает и достигает репродуктивной стадии только в условиях ослабленной ценотической конкуренции, а взрослое растение успешно произрастает даже на дерновинных лугах, можно сказать, что его репродуктивная стратегия

меняется от r-стратегии в ювенильном возрасте к K-стратегии во взрослом состоянии, что также является показателем пластичности присущей виду, в том числе, по интенсивности накопления групп вторичных метаболитов.

Поскольку у эфиромасличных видов семейства Яснотковые, особенно у многолетних и корневищных видов межпопуляционная дифференциация вдоль средовых градиентов выражена слабее, чем у однолетников и монокарпиков, изменчивость между генотипами составляет наибольшую долю и для его оценки нужно заложить подобные эксперименты с клонами-генотипами, по итогам которого можно отобрать плюсовые генотипы, у которых содержание эфирных масел может в разы превысить средние значения для популяции. Другими словами, в нашем случае индивидуальный отбор будет намного эффективнее группового отбора для формирования сортов-клонов.

Перспективы дальнейшего исследования этого вида лежат в плоскости эколого-генетических экспериментов, которые хоть и являются трудоемкими, но весьма эффективны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ličina B.Z. et al. Biological activities of the extracts from wild growing *Origanum vulgare* L // Food control. 2013. V. 33. N 2. P. 498–504.
- Teixeira B. et al. Chemical composition and bioactivity of different oregano (*Origanum vulgare*) extracts and essential oil // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013. V. 93. N 11. P. 2707–2714.
- Morshedloo M.R. et al. An over review to *Origanum vulgare* L. and its pharmacological properties // Journal of Medicinal Plants. 2018. V. 17. N 68. P. 15–31.

4. Chalchat J.C., Pasquier B. Morphological and chemical studies of Origanum clones: *Origanum vulgare* L. ssp. *Vulgare* // Journal of Essential Oil Research. 1998. V. 10. N 2. P. 119–125.
5. De Falco E. et al. Chemical composition and biological activity of essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare* L. under different growth conditions // Molecules. 2013. V. 18. N 12. P. 14948–14960.
6. Ietswaart J.H. A taxonomic revision of the genus *Origanum* (Labiatae) // Leiden Botanical Series. 1980. V. 4. N 1. P. 1–153.
7. Ietswaart J.H., Barel R.A., Ikelaar M.E. Male sterility and ecology of Dutch *Origanum vulgare* populations // Acta botanica neerlandica. 1984. V. 33. P. 335–345.
8. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of *Origanum* species. Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano, 8–12 May 1996, CIHEAM, Valenzano (Bari), Italy. 1997. P. 2–12.
9. Fryer J.H., Ledig F.T. Microevolution of the photosynthetic temperature optimum in relation to the elevational complex gradient // Canadian Journal of Botany. 1972. V. 50. N 6. P. 1231–1235.
10. Stöcklin J., Kuss P., Pluess A. Genetic diversity, phenotypic variation and local adaptation in the alpine landscape: case studies with alpine plant species // Botanica Helvetica. 2009. V. 119. N 2. P. 125–133.
11. Baughman O.W. et al. Strong patterns of intraspecific variation and local adaptation in Great Basin plants revealed through a review of 75 years of experiments // Ecology and Evolution. 2019. V. 9. N 1. P. 6259–6275.
12. Baser K.H.C. The turkish origanum species. Oregano. The Genera *Origanum* and *Lippia*. 2002. V. 109. P. 109–126.
13. Мусаев А.М., Сулейманова З.Г. Изучение межпопуляционной дифференциации душицы (*Origanum vulgare* L.) в природных популяциях и при интродукции // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2016. N 4. С. 31–40.
14. Ухова М.О. Родо-видовой анализ семейства Lamiaceae в разных локусах кавказского экорегиона // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. 2019. С. 18–20.
15. Сулейманова З.Г. и др. Структура изменчивости морфологических, биологических и фитохимических признаков *Origanum vulgare* L. и возможности ее использования в лекарственном растениеводстве горных регионов // Биологические и гуманитарные ресурсы развития горных регионов. 2009. С. 121–124.
16. Richardson B.A. et al. Will phenotypic plasticity affecting flowering phenology keep pace with climate change? // Global change biology. 2017. V. 23. N 6. P. 2499–2508.
17. Брынцев В.А., Коженкова А.А. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (*pinus sibirica* du tour) при интродукции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. N 6. С. 89–97.
18. Kitiki A. Status of cultivation and use of oregano in Turkey // Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano. 1996. P. 122–132.
19. Skoula M., Kamenopoulos S. *Origanum dictamnus* L. and *Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) Ietswaart: traditional uses and production in Greece // Proc IPGRI Intern. Workshop on Oregano. Valenzano: Bari, Italy. 1996. P. 26–32.
20. Leto C., Salamone A. Bio-agronomical behaviour in Sicilian *Origanum* ecotypes // Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano. CIHEAM. 1996. P. 68–73.
21. Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry. 5 online ed. Texensis Publishing, 2017.
22. Исламова Ф.И., Мусаев А.М., Раджабов Г.К. Структура изменчивости некоторых пряно-ароматических растений по содержанию суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте // Овощи России. 2019. N 3. С. 87–90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-87-90>
23. Яшин А.Я., Яшин Я.И., Черноусова Н.И. Определение природных антиоксидантов амперометрическим методом // Пищевая промышленность. 2006. N 2. С. 10–12.
24. Яшин А.Я. Инжекционно-проточная система с амперометрическим детектором для селективного определения антиоксидантов в пищевых продуктах и напитках // Российский химический журнал. 2008. Т. 52. N 2. С. 130–135.
25. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of *Origanum* species // Proceedings of the IPGRI international workshop on Oregano. CIHEAM: Valenzano (Bari), Italy, 1996. V. 8. P. 6–12.
26. Kokkini S., Vokou D. Carvacrol – rich plants in Greece // Flavour and Fragrance Journal. 1989. V. 4. N 1. P. 1–7.

REFERENCES

1. Ličina B.Z. et al. Biological activities of the extracts from wild growing *Origanum vulgare* L. Food control. 2013, vol. 33, no. 2, pp. 498–504.
2. Teixeira B. et al. Chemical composition and bioactivity of different oregano (*Origanum vulgare*) extracts and essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013, vol. 93, no.11, pp. 2707–2714.
3. Morshedloo M.R. et al. An over review to *Origanum vulgare* L. and its pharmacological properties. Journal of Medicinal Plants. 2018, vol. 17, no. 68, pp. 15–31.
4. Chalchat J.C., Pasquier B. Morphological and chemical studies of Origanum clones: *Origanum vulgare* L. ssp. *Vulgare*. Journal of Essential Oil Research. 1998, vol. 10, no. 2, pp. 119–125.
5. De Falco E. et al. Chemical composition and biological activity of essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare* L. under different growth conditions. Molecules. 2013, vol. 18, no. 12, pp. 14948–14960.
6. Ietswaart J.H. A taxonomic revision of the genus *Origanum* (Labiatae). Leiden Botanical Series. 1980, vol. 4, no. 1, pp. 1–153.
7. Ietswaart J.H., Barel R.A., Ikelaar M.E. Male sterility and ecology of Dutch *Origanum vulgare* populations. Acta botanica neerlandica. 1984, vol. 33, pp. 335–345.
8. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of *Origanum* species. Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano, 8–12 May 1996, CIHEAM, Valenzano (Bari), Italy. 1997, pp. 2–12.
9. Fryer J.H., Ledig F.T. Microevolution of the photosynthetic temperature optimum in relation to the elevational complex gradient. Canadian Journal of Botany. 1972, vol. 50, no. 6, pp. 1231–1235.
10. Stöcklin J., Kuss P., Pluess A. Genetic diversity, phenotypic variation and local adaptation in the alpine landscape: case studies with alpine plant species. Botanica Helvetica. 2009, vol. 119, no. 2, pp. 125–133.
11. Baughman O.W. et al. Strong patterns of intraspecific variation and local adaptation in Great Basin plants revealed through a review of 75 years of experiments. Ecology and Evolution. 2019, vol. 9, no. 11, pp. 6259–6275.
12. Baser K.H.C. The turkish origanum species. Oregano. The Genera *Origanum* and *Lippia*. 2002, vol. 109, pp. 109–126.
13. Musaev A.M., Suleimanova Z.G. Study of interpopulation differentiation of oregano (*Origanum vulgare* L.) in natural populations and during introduction. Botanicheskii vestnik Severnogo Kavkaza [Botanical Bulletin of the North Caucasus]. 2016, no. 4, pp. 31–40. (In Russian)
14. Ukhova M.O. Genus and species analysis of the family Lamiaceae in different locus of the caucasian ecoregion. Sovremennaya nauka: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii [Modern science: actual issues, achievements and innovations]. 2019, pp. 18–20. (In Russian)

15. Suleimanova Z.G. et al. The structure of the variability of morphological, biological and phytochemical characteristics of *Origanum vulgare* L. and the possibilities of its use in medicinal plant production of mountain regions [Biological and humanitarian resources for the development of mountain regions]. 2009, pp. 121–124. (In Russian)
16. Richardson B.A. et al. Will phenotypic plasticity affecting flowering phenology keep pace with climate change? *Global change biology*. 2017, vol. 23, no. 6, pp. 2499–2508.
17. Bryntsev V.A., Kozhenkova A.A. Geographic variability of siberian stone pine (*pinus sibirica* du tour) at the introduction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal* [News of higher educational institutions. Forest Magazine]. 2016, no.6, pp. 89–97. (In Russian)
18. Kitiki A. Status of cultivation and use of oregano in Turkey // *Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano*. 1996, pp. 122–132.
19. Skoula M., Kamenopoulos S. *Origanum dictamnus* L. and *Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) letswaart: traditional uses and production in Greece. *Proc IPGRI Intern. Workshop on Oregano*. Valenzano: Bari, Italy. 1996, pp. 26–32.
20. Leto C., Salamone A. Bio-agronomical behaviour in Sicilian *Origanum* ecotypes. *Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano*. CIHEAM. 1996, pp. 68–73.
21. Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry. 5 online ed. Texensis Publishing, 2017.
22. Islamova F.I., Musaev A.M., Radzhabov G.K The structure of variability of some spicy-aromatic plants by the content of total antioxidants in an ecological and geographical experiment. *Vegetables of Russia*, 2019, no. 3, pp. 87–90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-87-90> (In Russian)
23. Yashin A.Ya., Yashin Ya.I., Chernousova N.I. Determination of natural antioxidants by amperometric method. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry]. 2006, no. 2, pp. 10–12. (In Russian)
24. Yashin A.Ya. Injection-flow system with an amperometric detector for the selective determination of antioxidants in food products and drinks. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal* [Russian chemical journal]. 2008, vol. 52, no. 2, pp. 130–135. (In Russian)
25. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of *Origanum* species. *Proceedings of the IPGRI international workshop on Oregano*. CIHEAM, Valenzano (Bari), Italy, 1996, vol. 8, pp. 6–12.
26. Kokkini S., Vokou D. Carvacrol - rich plants in Greece. *Flavour and Fragrance Journal*. 1989, vol. 4, no. 1, pp. 1–7.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Абдулахид М. Мусаев обеспечивал общее руководство проектом, планировал эксперимент, интерпретировал результаты и написал статью. Гаджи К. Раджабов собирал образцы с экспериментальных участков, получил образцы эфирного масла на аппарате Клевенлжера. Аслан М. Алиев анализировал компонентный состав эфирных масел на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором. Фатима И. Исламова определила содержание суммарных антиоксидантов амперометрическим методом. 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

Abdulakhid M. Musaev undertook general project management, experiment planning, interpretation of results and writing the article. Gadzhi K. Radzhabov collected samples from experimental site and obtained samples of essential oil using the Klevenlger apparatus. Aslan M. Aliyev analysed the component composition of essential oils on a gas chromatograph with a mass spectrometric detector. Fatima I. Islamova determined the content of total antioxidants by the amperometric method. 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

Абдулахид М. Мусаев / Abdulakhid M. Musaev <https://orcid.org/0000-0002-9005-1324>

Гаджи К. Раджабов / Gadzhi K. Radzhabov <https://orcid.org/0000-0001-9263-5684>

Аслан М. Алиев / Aslan M. Aliyev <https://orcid.org/0000-0002-2181-1801>

Фатима И. Исламова / Fatima I. Islamova <https://orcid.org/0000-0003-4804-3168>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 578

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-95-102



Изучение течения инфекционного процесса в легких кошек при экспериментальном заражении коронавирусом SARS-CoV-2

Анастасия Ю. Филиппова^{1,2}, Марина С. Федотова^{1,2}, Юлия В. Кононова¹,Лидия В. Шестопалова², Марина А. Гуляева^{1,2}¹Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Марина А. Гуляева, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник; Новосибирский государственный университет; 630090 Россия, г. Новосибирск, Новосибирская обл., ул. Пирогова, д. 2. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины»; 630117 Россия, г. Новосибирск, Новосибирская обл., ул. Тимакова, д. 2.
Тел. +79529136513
Email mgulyaeva@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

Формат цитирования

Филиппова А.Ю., Федотова М.С., Кононова Ю.В., Шестопалова Л.В., Гуляева М.А. Изучение течения инфекционного процесса в легких кошек при экспериментальном заражении коронавирусом SARS-CoV-2 // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 95-102. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-95-102

Получена 6 апреля 2023 г.

Прошла рецензирование 23 июля 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Изучить и охарактеризовать особенности протекания коронавирусной инфекции на модели домашней кошки, а также на основе полученных данных оценить опасность SARS-CoV-2, выделенного на территории России, для данных животных, с возможностью экстраполировать на диких представителей семейства кошачьих.

Материал и методы. Для проведения исследования модельные животные – *Felis silvestris catus*, были поделены на 3 группы. Нарботанный на культуре клеток Vero E6 штамм вируса SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020 вводили интраназально в объеме 200 мкл, 10⁵TCID₅₀/мл, первой и второй группам. Животных первой группы выводили из эксперимента и отбирали фрагменты легких на 6 сутки, второй – на 14 сутки. Третьей группе – контрольной, вводили физиологический раствор в эквивалентном объеме. Гистологические срезы, окрашенные гематоксилином и эозином и по Маллори, исследовали на наличие патоморфологических изменений в тканях легкого методом световой микроскопии.

Результаты. Согласно полученным результатам, патоморфологическая картина в легких экспериментальных животных указывает на течение интерстициальной пневмонии как на 6, так и на 14 сутки. Кроме того, было установлено, что к 14 суткам в легких начинается визуализироваться разрастание фиброзной ткани, свидетельствующее о начавшихся в легких регенеративных процессах.

Заключение. В результате исследования было показано, что кошки восприимчивы к вирусу SARS-CoV-2, течение инфекции сопровождается клиническими проявлениями, а патоморфологическая картина в легких свидетельствует о развитии интерстициальной пневмонии.

Ключевые слова

Коронавирус, SARS-CoV-2, COVID-19, домашние животные, кошки.

The study of the course of the infectious process in lungs of cats during experimental infection with SARS-CoV-2

Anastasia Yu. Filippova^{1,2}, Marina S. Fedotova^{1,2}, Yulia V. Kononova¹,
Lidia V. Shestopalova² and Marina A. Gulyaeva^{1,2}

¹Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Marina A. Gulyaeva, PhD in Biology, Associate Professor, Research Scientist; Novosibirsk State University, 2 Pirogova St, Novosibirsk, Russia 630090; Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine, 2 Timakova St, Novosibirsk, 630117 Russia.

Tel. +79529136513

Email mgulyaeva@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

How to cite this article

Filippova A.Yu., Fedotova M.S., Kononova Yu.V., Shestopalova L.V., Gulyaeva M.A. The study of the course of the infectious process in lungs of cats during experimental infection with SARS-CoV-2. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 95-102. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-95-102

Received 6 April 2023

Revised 23 July 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To study and characterise the features of the course of coronavirus infection in a domestic cat model, as well as to assess the danger of SARS-CoV-2 isolated in Russia for these animals based on the data obtained, with the possibility of extrapolating to wild felines.

Material and Methods. For the study, model animals – *Felis silvestris catus* – were divided into 3 groups. The viral strain of SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020 was cultivated on Vero E6 cell culture and then administered intranasally in a volume of 200 µl, 10⁵TCID₅₀/ml, to animals from the first and second groups. Model animals from the first group were euthanized and lung fragments were taken on 6-day post infection (d.p.i.), animals from the second group – on 14 d.p.i. The third group – the control group, was injected with saline in an equivalent volume. Histological sections colored with hematoxylin and eosin were investigated for pathomorphological changes in lung tissue using light microscopy.

Results. According to the obtained results the pathomorphological picture in the lungs of experimental animals indicates the course of interstitial pneumonia for both 6 and 14 d.p.i. In addition, it has been determined that by 14 d.p.i. the growth of fibrous tissue in the lungs begins to be visualised, indicating the beginning of light regenerative processes.

Conclusion. The study showed that cats are susceptible to the SARS-CoV-2 virus, and these model animals are characterized by the emergence of clinical manifestations and morphological patterns in the lungs, which correspond to interstitial pneumonia.

Key Words

Coronavirus, SARS-CoV-2, COVID-19, pets, cats.

ВВЕДЕНИЕ

Коронавирусы (CoV) – обширное семейство РНК-содержащих вирусов, которое делится на два подсемейства Letovirinae и Orthocoronavirinae. К последним, в свою очередь, относят четыре рода: альфа-, бета-, гамма- и дельтакоронавирусы [1–3]. В настоящее время существует семь видов или подвидов Orthocoronavirinae, которые, как было обнаружено, способны вызывать инфекцию у людей, из них – два представителя рода Alphacoronavirus: человеческий коронавирус 229E и человеческий коронавирус NL63, и пять представителей рода Betacoronavirus: человеческий коронавирус OC43, человеческий коронавирус HKU1, коронавирус, связанный с ближневосточным респираторным синдромом (MERS-CoV), коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома (SARS-CoV) и коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома 2 (SARS-CoV-2), который стал третьим коронавирусом, вызвавшим масштабную эпидемию среди людей [1–3]. Было показано, что коронавирусы широко распространены среди представителей животного мира [4]. В литературе описаны случаи выявления данных патогенов у различных животных, среди которых есть птицы, различные представители семейства кошачьих, приматов, рептилий, копытных и другие [4]. В литературе встречаются данные, что заражение кошек SARS-CoV-2 воздушно-капельным путем возможно не только от человека, но и от других представителей семейства кошачьих, что может приводить к циркуляции вируса среди особей [5–11]. Ранее заражение SARS-CoV-2 было зарегистрировано у представителей двух подсемейств, Pantherinae и Felinae, принадлежащих к семейству Felidae. Несмотря на очевидные морфологические различия между кошачьими, вирус способен инфицировать представителей этих двух различных семейств и вызывать схожие клинические признаки. На сегодняшний день выявлено несколько случаев летального исхода у диких кошачьих с подтвержденной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2 [4].

В настоящее время SARS-CoV-2, по-прежнему, имеет широкое распространение среди людей, поэтому существует опасность того, что некоторые животные, например, домашние, могут заразиться через близкий контакт с инфицированными людьми и подвергнуться опасности в случае, если окажутся восприимчивы к вирусу. Или, наоборот, домашние животные могут представлять опасность для человека. В данный момент существуют подтвержденные случаи передачи инфекции от хозяев к домашним животным [5–11]. Также имеются данные, отражающие гистологические изменения в респираторном тракте зараженных животных, однако, поскольку основным источником материала являлись умершие домашние животные, заразившиеся от хозяев, полученные данные требуют дальнейшего уточнения [12]. А также, представляет интерес оценить течение инфекционного процесса на выбранной модели животных, инфицированных вирусом, выделенным на территории России, чтобы в дальнейшем иметь возможность экстраполировать выявленные процессы на дикую популяцию кошачьих.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работы с животными проводились в соответствии с этическими нормами обращения с лабораторными животными (директива 2010/63/еу Европейского парла-

мента и совета по защите животных, используемых в научных целях от 22 сентября 2010), Хельсинской декларации Второй медицинской ассоциации (1964), «Международными положениями проведения биомедицинских исследований с использованием животных» (1985) и «Правил лабораторной практики в Российской Федерации» (Приказ Министерства здравоохранения РФ No267 от 19.06.2003).

Все работы с живым вирусом проводились по договору между ФИЦ ФТМ и Искитимской межрегиональной ветеринарной лабораторией, на базе последней, сертифицированными сотрудниками ФИЦ ФТМ.

В данном исследовании в качестве животной модели была использована модель домашней кошки (*Felis silvestris catus*). Животные были поделены на 3 группы (по 3 в каждой экспериментальной группе, 2 – в контрольной). Экспериментальным группам под наркозом интраназально вводили вирусосодержащую жидкость в суммарном объеме 200 мкл (по 100 мкл в каждую ноздрю), $10^{5.5}$ TCID₅₀/мл SARS-CoV-2 (штамм SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020). Контрольной группе, аналогичным способом, вводили эквивалентный объем физиологического раствора. Кошек, инфицированных вирусом SARS-CoV-2 – группы №1 и №2, выводили из эксперимента на 6 сутки после инфицирования (п.и.) и 14 сутки п.и., соответственно. После выведения животных всех трех групп из эксперимента, у них отбирали легкие для последующего анализа.

Часть легких была использована для приготовления гомогенатов и дальнейшего изучения методом ОТ-ПЦР в режиме реального времени вирусной репликации в данном органе-мишени. Для выделения РНК из биологического материала использовали набор RealBest Extraction 100 (ОАО «Вектор-Бест», Россия). Детектирование РНК SARS-CoV-2 проводили с помощью «RealBest SARS-CoV-2 RNA» (ОАО «Вектор-Бест», Россия). Все манипуляции проводили согласно инструкции производителя. Вирусную нагрузку в легких животных оценивали методом титрования на культуре клеток Vero-E6 используя ранее описанную стандартную методику [13].

Другую часть легких, не задействованную для ПЦР, изучали на предмет патоморфологических изменений с использованием метода световой микроскопии. Для этого, гистологические препараты готовились по стандартной методике. Отобранные легкие фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина при комнатной температуре в течение суток. Фрагменты органов обезвоживали и заливали в парафин. Полученные гистологические парафиновые блоки использовали для приготовления срезов, толщиной 4–5 мкм, с помощью ротационного микротомата. Готовые стекла, с размещенными на них фрагментами легких, окрашивали гематоксилином и эозином и по Маллори.

Полученные препараты оценивались визуально, а также проводилась количественная оценка характера патоморфологических изменений в структурах легких путем определения площади патологически измененных участков. Учитывались следующие показатели: состояние кровеносных сосудов различного калибра, характер и локализация воспалительного инфильтрата, структура альвеол, состояние респираторных и воздухоносных путей (десквамация эпителиоцитов, наличие клеточного детрита/слизи), некрозы. Степень выраженности патоло-

гических изменений оценивалась в баллах от 0 до 5, где: 0 – отсутствие патологии; 1 – минимальные повреждения; 2 – незначительные повреждения; 3 – умеренные повреждения; 4 – выраженные повреждения; 5 – тяжелые повреждения.

Для анализа гистологических препаратов использовали светооптический микроскоп Carl Zeiss Axiostar Plus (рабочие увеличения x100, x200, x400) цифровую фотокамеру Carl Zeiss AxioCam ICc 1 и программное обеспечение AxioVision 4.8.

Расчет средних величин параметров и ошибки среднего проводили с использованием стандартного пакета программ «Statistica». Степени достоверности отличий средних величин обследованных совокупностей были определены при уровне значимости $p \leq 0,05$, стандартным для медико-биологических исследований.

Таблица 1. Титр вируса SARS-CoV-2 в легких котят, lg TCID₅₀/г

Table 1. SARS-CoV-2 virus titer in lungs of kittens, lg TCID₅₀/g

№ животного № of the animal	6 сутки после заражения (1 группа) 6 dpi. (group 1)	14 сутки после заражения (2 группа) 14 dpi (group 2)
1	4,183	1,065
2	3,572	-
3	3,184	-
Среднее арифметическое с ошибкой среднего по группе Arithmetic mean with group average error	3,643±0,254	1,065±0,145*

Примечание: * – достоверность отличий между экспериментальными группами, уровень значимости $p \leq 0,05$

Note: * – significance of differences between experimental groups, significance level $p \leq 0.05$

Таким образом, можно сказать, что вирусная нагрузка к 14-м суткам резко снижается.

Макроскопическая оценка состояния легких эвтаназированных животных не выявила существенных отличий между экспериментальными группами. Легкие у всех исследованных животных были неравномерного красно-розового цвета, с чередующимися участками ателектаза (более темные, спавшиеся участки) и эмфиземы (более светлые, воздушные).

При оценке гистологических срезов методом световой микроскопии, в тканях легких выявлены специфические патологические изменения, характерные для экспериментальных групп животных. Общие признаки, свойственные обеим исследуемым группам, свидетельствуют о течении воспалительного процесса различной степени тяжести. У животных в интерстиции легких наблюдаются множественные очаги лейкоцитарного инфильтрата и точечные геморрагии, альвеолярные перегородки утолщены. При этом, детальное рассмотрение состояния органов в первой и второй группах, выявляет различную визуализируемую картину, которая отличается степенью выраженности патоморфологических изменений структур легких в каждой из групп.

На шестые сутки п.и. у животных наблюдаются значительные поражения органа. Участки ателектазов чередуются с эмфиземами, визуализируются мультифо-

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки вирусной репликации в легких, подвергнутых эвтаназии кошек, были использованы методы ПЦР в режиме реального времени и титрование на культуре клеток.

Результаты ПЦР показали, что вирус детектируется в легких животных на 6 сутки. На 14 сутки вирус в легких был обнаружен у одного животного из трех.

На 6 и 14 сутки после заражения оценивали вирусную нагрузку в легких на культуре клеток Vero-E6. Титр вируса на 6 сутки определяется на уровне $3,643 \pm 0,254$ lg TCID₅₀/г, к 14-м суткам показатель резко снижается, однако у одного животного, по-прежнему, вирус детектируется (табл. 1).

кальные очаги лейкоцитарного инфильтрата в интерстиции и периваскулярно. Межальвеолярные перегородки утолщены, наблюдаются перибронхиальные и периваскулярные отеки, вазодилатация и плазматическое пропитывание стенок сосудов. Сосуды различного калибра выглядят кровенаполненными. Местами в интерстиции встречаются точечные геморрагии и поля некрозов.

Наблюдаемые изменения свидетельствуют о развивающейся интерстициальной пневмонии (рис. 1 А–С). Вокруг кровеносных сосудов наблюдается умеренное разрастание коллагеновых волокон (рис. 1 D).

На 14-е сутки у кошек наблюдается значительное уменьшение патоморфологических изменений тканей легких, местами визуализируются признаки воспаления, такие как утолщение альвеолярных перегородок, лейкоцитарный инфильтрат, точечные геморрагии в интерстиции и др. Местами встречаются очаги ателектаза, которые чередуются с участками легкого, без каких-либо визуальных признаков интерстициальной пневмонии, где альвеолы хорошо расправлены, стенки тонкие, а просвет свободный (рис. 2 А, В). Специфическая окраска по Маллори позволила выявить значительные, в сравнении с шестыми сутками, фибротические разрастания коллагеновых волокон, которые локализовались периваскулярно и перибронхиально, а также мультифокально в интерстиции (рис. 2 С, D).

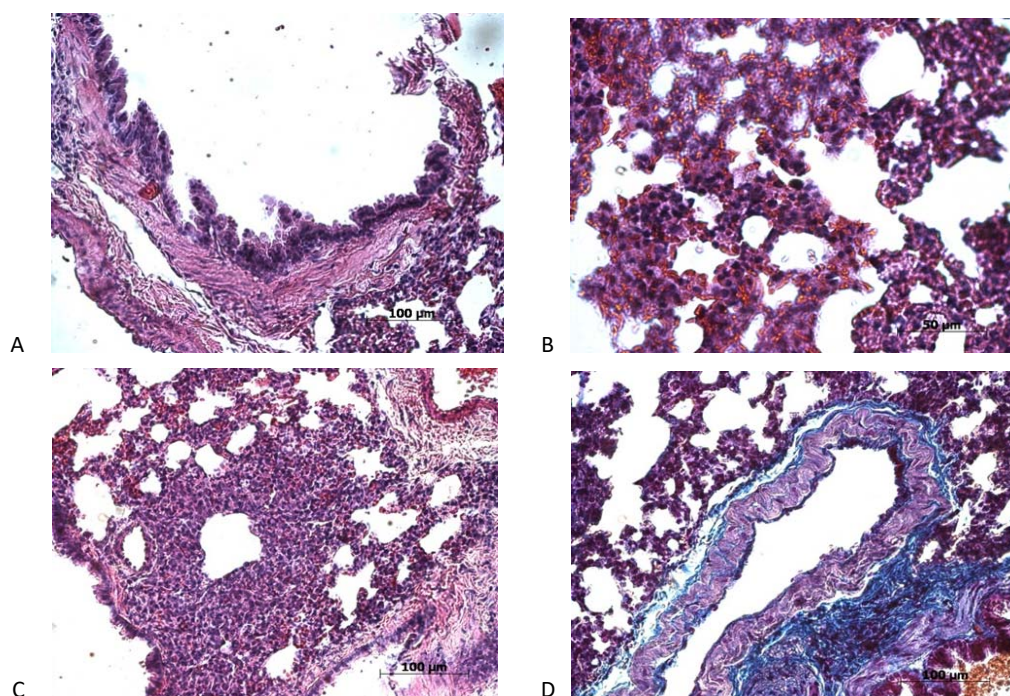


Рисунок 1. Патоморфологические изменения в легких котят, инфицированных SARS-CoV-2, на 6 сутки

Окраска гематоксилином и эозином (А–С), по Маллори (D). Увеличение x200 (А, С, D), x400 (В).

А – десквамация эпителиоцитов бронхиального дерева, перибронхиальный отек; В – утолщение межальвеолярных перегородок, лейкоцитарная инфильтрация, точечные геморрагии; С – очаги ателектаза и эмфиземы, кровенаполненность сосудов; D – умеренное периваскулярное разрастание соединительной ткани

Figure 1. Pathological changes in lungs of kittens infected with SARS-CoV-2 on the 6 d.p.i.

Hematoxylin and eosin staining (A–C), Mallory's staining (D). Magnification x200 (A, C, D), x400 (B).

A – desquamation of bronchial epithelium, peribronchial edema; B – thickening of the alveolar septa, leukocyte infiltration, pinpoint hemorrhages; C – atelectasis and emphysema foci, vascular blood filling; D – moderate peribronchovascular overgrowth of connective tissue

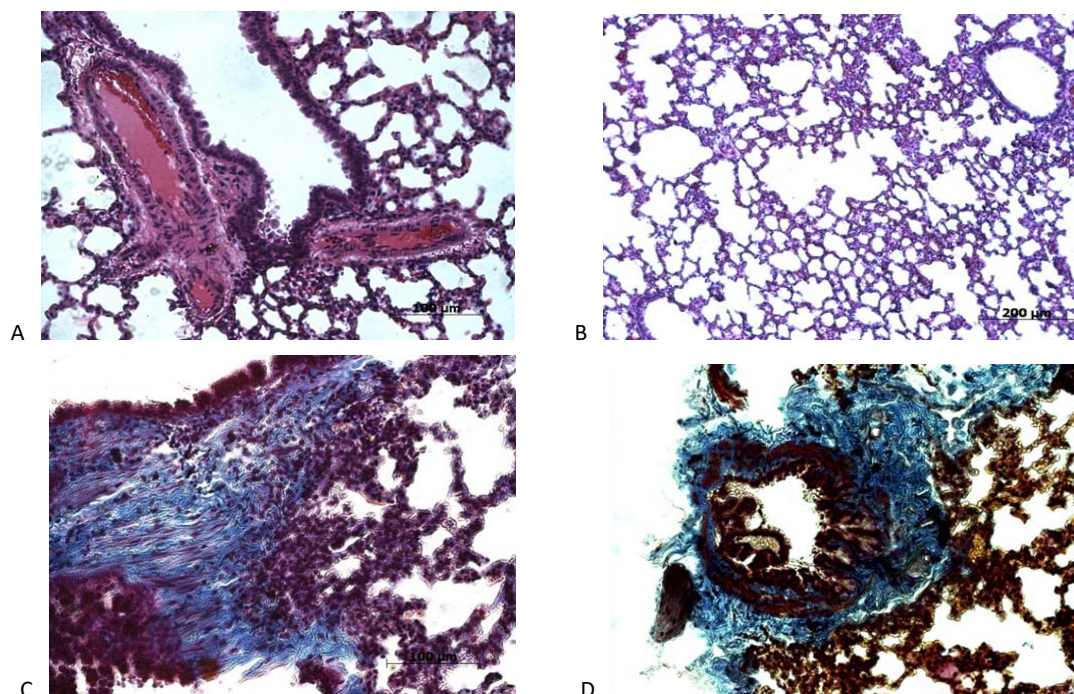


Рисунок 2. Патоморфологические изменения в легких котят, инфицированных SARS-CoV-2, на 14 сутки

Окраска гематоксилином и эозином (А, В), по Маллори (С, D). Увеличение x100 (В), x200 (А, С, D).

А – кровенаполненность сосудов, лейкоцитарный инфильтрат, утолщение альвеолярных перегородок; В – местами умеренное утолщение альвеолярных перегородок; С – разрастание коллагеновых волокон в легочной ткани; D – перибронхиальное разрастание коллагеновых волокон

Figure 2. Pathological changes in lungs of kittens infected with SARS-CoV-2 on the 14 d.p.i.

Hematoxylin and eosin staining (A, B), Mallory's staining (C, D). Magnification x100 (B), x200 (A, C, D).

A – blood filling of vessels, leukocyte infiltrate, thickening of alveolar septa; B – mild thickening of the alveolar septa; C – proliferation of collagen fibres in the lung tissue; D – peribronchovascular proliferation of collagen fibres

К четырнадцатым суткам наблюдается статистически значимое снижение общей степени распространенности

и выраженности воспалительного процесса в легких в сравнении с первой группой животных (табл. 2).

Таблица 2. Степень выраженности воспаления (баллы 0–5) у кошек, инфицированных вирусом SARS-CoV-2 на 6 и 14 сутки п.и.

Table 2. Severity of inflammation (scores 0-5) in cats infected with the SARS-CoV-2 virus on 6 and 14 d.p.i.

№ обследованной группы № of observed group	№№ животных (n – количество животных на группу) №№ of animals (n – the number of animals in the group)	Среднее арифметическое с ошибкой среднего Arithmetic mean with group average error
1	6 сутки п.и. 6 d.p.i. 1-3 (3) 1-3 (3)	3,81±0,150
2	14 сутки п.и. 14 d.p.i. 4-6 (3) 4-6 (3)	2,65±0,134*

Примечание: * – достоверность отличий между экспериментальными группами, уровень значимости $p \leq 0,05$

Note: * – significance of differences between experimental groups, significance level $p \leq 0.05$

Экспериментальные результаты отражают данные, полученные другими исследователями. Причем, важно отметить, что похожие изменения в легких наблюдаются как у людей, так и у кошек. Так, ранее было показано, что самое частое морфологическое изменение при новой коронавирусной инфекции как для животных, так и для людей – диффузное альвеолярное повреждение и в экссудативной (продолжительность в среднем 10 дней), и в пролиферативной фазе (после 10 суток) [14–15]. Картина в экссудативную фазу отличается большой вариативностью и разной степенью отека. В пролиферативную фазу наблюдались пролиферация фибробластов и миофибробластов, отложение экстрацеллюлярного матрикса и внутриальвеолярное скопление фибрина. Воспалительный инфильтрат состоял в основном из мононуклеаров, большая часть из которых являлась лимфоцитами [15]. Также было отмечено, что на 8 сутки сохраняются признаки диффузного альвеолярного повреждения, однако преобладать начинают признаки сосудистых изменений, а именно гистологические признаки фибриноидного васкулита и сосудистого тромбоза [14]. Это также подтверждается данными других исследователей, согласно которым на 11 сутки с момента инфицирования основными находками были сосудистые изменения, такие как интенсивное полнокровие, альвеолярный и периваскулярный отек, наряду с небольшими интерстициальными и альвеолярными кровоизлияниями [16]. Согласно результатам Olivia M. Patania et. al., к 28-м суткам наблюдалось утолщение интерстиция с повышением плотности капилляров. Проведенное исследование показало, что у кошек наблюдались патологические изменения в легочной ткани, свидетельствующие о развитии интерстициальной пневмонии. Визуализировалась большая площадь зон ателектаза, более распространенные геморрагии. Кроме того, окрашивание по Маллори выявило у животных более значительные фибротические изменения к 14 суткам [17].

Данные, полученные в результате эксперимента, указывают на то, что инфицирование вирусом SARS-CoV-2 может быть опасно для кошек. Причем, исходя из имеющейся патоморфологической картины, можно сделать вывод о том, что заболевание протекает в достаточно тяжелой форме и в отдельных случаях

сопровождается вирусной репликацией как минимум до 14-ти суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что новая коронавирусная инфекция может представлять опасность для представителей семейства кошачьих. Данные животные восприимчивы к вирусу SARS-CoV-2, при этом, для них характерно течение инфекции средней степени тяжести, которое сопровождается клиническими проявлениями, а патоморфологическая картина в легких свидетельствует о развитии интерстициальной пневмонии к шестым суткам. К четырнадцатым суткам наблюдаются процессы регенерации в легких животных.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда No 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/>.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Russian Science Foundation according to research project No 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Andersen K.G., Rambaut A., Lipkin W.I. et al. The proximal origin of SARS-CoV-2 // *Nature Medicine*. 2015. V. 26. P. 450–452. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
- Drosten C. et al. Identification of a Novel Coronavirus in Patients with Severe Acute Respiratory Syndrome // *The New England Journal of Medicine*. 2003. N 348. P. 1967–1976. DOI: 10.1056/NEJMoa030747
- Fehr A.R., Perlman S. Coronaviruses: An Overview of Their Replication and Pathogenesis // *Coronaviruses. Methods in Molecular Biology*. 2015. V. 1282. P. 1–23. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2438-7_1
- Giraldo-Ramirez S., Rendon-Marin S., Jaimes J.A., Martinez-Gutierrez M., Ruiz-Saenz J. SARS-CoV-2 Clinical Outcome in Domestic and Wild Cats: A Systematic Review // *Animals*. 2021. V. 11. N 7. P. 2056. DOI: 10.3390/ani11072056
- Zhang Q., Zhang H., Gao J., Huang K., Yang Y., Hui X., et al. A serological survey of SARS-CoV-2 in cat in Wuhan // *Emerging Microbes & Infections*. 2020. V. 9. N 1. P. 2013–2019. DOI: 10.1080/22221751.2020.1817796

6. Newman A., Smith D., Ghai R.R., Wallace R.M., Torchetti M.K., Loiacono C., et al. First reported cases of SARS-CoV-2 infection in companion animals—New York, March–April 2020 // *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2020. V. 6. N 23. P. 710–713. DOI: 10.15585/mmwr.mm6923e3
7. Garigliany M., Van Laere A.S., Clercx C., Giet D., Escrion N., Huon C., et al. SARS-CoV-2 natural transmission from human to cat, Belgium, March 2020 // *Emerging Infectious Diseases*. 2020. V. 26. N 12. P. 3069–3071. DOI: 10.3201/eid2612.202223
8. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., Huang B., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus-2 // *Science*. 2020. V. 368 (6494). P. 1016–1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
9. Mallapaty S. Coronavirus can infect cats–dogs, not so much // *Nature*. 2020. DOI: 10.1038/d41586-020-00984-8
10. Leroy E.M., Ar Gouilh M., Brugère-Picoux J. The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a one-health strategy to control the COVID-19 pandemic // *One Health*. 2020. V. 10. Article ID: 100133. DOI: 10.1016/j.onehlt.2020.100133
11. Csiszar A., Jakab F., Valencak T.G., Lanszki Z., Tóth G.E., Kemenesi G., et al. Companion animals likely do not spread COVID-19 but may get infected themselves // *GeroScience*. 2020. V. 42. P. 1229–1236. DOI: 10.1007/s11357-020-00248-3
12. Куприянов И.И. Циркуляция SARS-COV-2 и проявление COVID-19 у кошки домашней (*felis catus*) // *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2022. N 2 (45). С. 59–65.
13. Ильичёва Т.Н., Нетёсов С.В., Гуреев В.Н. Вирусы гриппа. Методы. М-во науки и высшего образования РФ. Новосибирск: Новосибирский государственный университет. 2019. 258 с.
14. Rudd J.M., Selvan M.T., Cowan S., et al. Clinical and Histopathologic Features of a Feline SARS-CoV-2 Infection Model Are Analogous to Acute COVID-19 in Humans // *bioRxiv*. 2021. V. 13(8). DOI: 10.1101/2021.04.14.439863
15. Zarrilli G., et al. The Immunopathological and Histological Landscape of COVID-19-Mediated Lung Injury // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. V. 22. DOI: 10.3390/ijms22020974
16. Barroso-Arévalo S., Sánchez-Morales L., Barasona J.A., et al. Evaluation of the clinical evolution and transmission of SARS-CoV-2 infection in cats by simulating natural routes of infection // *Vet Res Commun*. 2022. V. 46. P. 837–852. DOI: 10.1007/s11259-022-09908-5
17. Patania O.M., Chiba S., Halfmann P.J., et al. Pulmonary lesions induced by SARS-CoV-2 infection in domestic cats // *Veterinary Pathology*. 2022. V. 59. P. 696–706. DOI: 10.1177/03009858211066840
18. Andersen K.G., Rambaut A., Lipkin W.I. et al. The proximal origin of SARS-CoV-2]. *Nature Medicine*, 2015, vol. 26, pp. 450–452. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
19. Drosten C. et al. Identification of a Novel Coronavirus in Patients with Severe Acute Respiratory Syndrome. *The New England Journal of Medicine*, 2003, no. 348, pp. 1967–1976. DOI: 10.1056/NEJMoa030747
20. Fehr A.R., Perlman S. Coronaviruses: An Overview of Their Replication and Pathogenesis. *Coronaviruses. Methods in Molecular Biology*, 2015, vol. 1282, pp. 1–23. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2438-7_1
21. Giraldo-Ramirez S., Rendon-Marin S., Jaimes J.A., Martinez-Gutierrez M., Ruiz-Saenz J. SARS-CoV-2 Clinical Outcome in Domestic and Wild Cats: A Systematic Review. *Animals*, 2021, vol. 11, no. 7, pp. 2056. DOI: 10.3390/ani11072056
22. Zhang Q., Zhang H., Gao J., Huang K., Yang Y., Hui X., et al. A serological survey of SARS-CoV-2 in cat in Wuhan. *Emerging Microbes & Infections*, 2020, vol. 9, no.1, pp. 2013–2019. DOI: 10.1080/22221751.2020.1817796
23. Newman A., Smith D., Ghai R.R., Wallace R.M., Torchetti M.K., Loiacono C., et al. First reported cases of SARS-CoV-2 infection in companion animals—New York, March–April 2020. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2020, vol. 6, no. 23, pp. 710–713. DOI: 10.15585/mmwr.mm6923e3
24. Garigliany M., Van Laere A.S., Clercx C., Giet D., Escrion N., Huon C., et al. SARS-CoV-2 natural transmission from human to cat, Belgium, March 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, vol. 26, no. 12, pp. 3069–3071. DOI: 10.3201/eid2612.202223
25. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., Huang B., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus-2. *Science*, 2020, vol. 368 (6494), pp. 1016–1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
26. Mallapaty S. Coronavirus can infect cats–dogs, not so much. *Nature*, 2020. DOI: 10.1038/d41586-020-00984-8
27. Leroy E.M., Ar Gouilh M., Brugère-Picoux J. The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a one-health strategy to control the COVID-19 pandemic. *One Health*, 2020, vol. 10, article id: 100133. DOI: 10.1016/j.onehlt.2020.100133
28. Csiszar A., Jakab F., Valencak T.G., Lanszki Z., Tóth G.E., Kemenesi G., et al. Companion animals likely do not spread COVID-19 but may get infected themselves. *GeroScience*, 2020, vol. 42, pp. 1229–1236. DOI: 10.1007/s11357-020-00248-3
29. Kupriyanov I.I. Circulation of SARS-COV-2 and the manifestation of COVID-19 in a domestic cat (*felis catus*). *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina* [Animal husbandry and veterinary medicine]. 2022, pp. 59–65. (In Russian)
30. Ilyicheva T.N., Netesov S.V., Gureev V.N. Virussy grippa. Metody [Influenza viruses. Methods]. Novosibirsk: Novosibirsk State University Publ., 2019, 258 p. (In Russian)
31. Rudd J.M., Selvan M.T., Cowan S., et al. Clinical and Histopathologic Features of a Feline SARS-CoV-2 Infection Model Are Analogous to Acute COVID-19 in Humans. *bioRxiv*, 2021, vol. 13(8). DOI: 10.1101/2021.04.14.439863
32. Zarrilli G., et al. The Immunopathological and Histological Landscape of COVID-19-Mediated Lung Injury. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, vol. 22. DOI: 10.3390/ijms22020974
33. Barroso-Arévalo S., Sánchez-Morales L., Barasona J.A., et al. Evaluation of the clinical evolution and transmission of SARS-CoV-2 infection in cats by simulating natural routes of infection. *Vet Res Commun*, 2022, vol. 46, pp. 837–852. DOI: 10.1007/s11259-022-09908-5
34. Patania O.M., Chiba S., Halfmann P.J., et al. Pulmonary lesions induced by SARS-CoV-2 infection in domestic cats. *Veterinary Pathology*, 2022, vol. 59, pp. 696–706. DOI: 10.1177/03009858211066840

REFERENCES

1. Andersen K.G., Rambaut A., Lipkin W.I. et al. The proximal origin of SARS-CoV-2]. *Nature Medicine*, 2015, vol. 26, pp. 450–452. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
2. Drosten C. et al. Identification of a Novel Coronavirus in Patients with Severe Acute Respiratory Syndrome. *The New England Journal of Medicine*, 2003, no. 348, pp. 1967–1976. DOI: 10.1056/NEJMoa030747
3. Fehr A.R., Perlman S. Coronaviruses: An Overview of Their Replication and Pathogenesis. *Coronaviruses. Methods in*

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Марина С. Федотова провела поиск литературы, проанализировала литературные данные, занималась непосредственной подготовкой образцов для проведения гистологических исследований. Анастасия Ю. Филиппова провела поиск литературы, работу с гистологическими образцами и сравнение полученных данных с литературными. Юлия В. Кононова

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Marina S. Fedotova conducted a literature search, analysed the literature data and was directly involved in the preparation of samples for histological studies. Anastasia Yu. Filippova conducted a literature search, worked with histological samples and compared the obtained data with the literature data. Yulia V. Kononova worked with the virus. Lidia V. Shestopalova analysed the

работала с вирусом. Лидия В. Шестопалова проанализировала данные, определила методологию исследования. Марина А. Гуляева разработала концепцию статьи, отредактировала рукопись до подачи в редакцию, проанализировала 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.

data and determined the research methodology. Marina A. Gulyaeva developed the concept of the article, edited the manuscript before submission to the Editor and undertook data analysis. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

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

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

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

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

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

Способ получения водной вытяжки и сухих этанольных экстрактов травы (смесь цветков с листьями) и стебля зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), обладающих ингибирующей активностью на репликацию коронавируса SARS-CoV-2 *in vitro*

Елена И. Казачинская^{1,2}, Юлия В. Кононова¹, Алла В. Иванова², Лариса Н. Зибарева³, Александр А. Чепурнов¹, Владимир В. Романюк⁴, Апенди А. Бийболатов⁵, Марина А. Гуляева⁶, Александр М. Шестопалов^{1,7}

¹Научно-исследовательский институт вирусологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Новосибирск, Россия

²Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор», Новосибирск, Россия

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

⁴Научно-производственная фирма (НПФ) «Золотая долина», Новосибирск, Россия

⁵Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, Россия

⁶Факультет естественных наук Новосибирского государственного университета, Новосибирск, Россия

⁷Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

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

Тел. +79095307441

Email lena.kazachinskaja@mail.ru

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

Формат цитирования

Казачинская Е.И., Кононова Ю.В., Иванова А.В., Зибарева Л.Н., Чепурнов А.А., Романюк В.В., Гуляева М.А., Шестопалов А.М. Способ получения водной вытяжки и сухих этанольных экстрактов травы (смесь цветков с листьями) и стебля зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), обладающих ингибирующей активностью на репликацию коронавируса SARS-CoV-2 *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 103-117. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-103-117

Получена 22 июня 2023 г.

Прошла рецензирование 2 августа 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Список сокращений

COVID-19 – coronavirus disease, 2019;
SARS-CoV-2 – severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; ЦПД – цитопатическое действие;
ТЦПД₅₀/мл – тканевая цитопатическая доза;
МОИ – множественность инфекции, CC₅₀ – 50%-ная цитотоксическая концентрация; EC₅₀ – 50%-ная эффективная концентрация, БАВ – биологически активные вещества, ДМСО – диметилсульфоксид.

Резюме

Цель. Оценка *in vitro* ингибирующей активности водных вытяжек и сухих этанольных экстрактов зверобоя продырявленного на репликацию SARS-CoV-2 по трем схемам эксперимента – прямая инаktivация (нейтрализация) вируса, а также «профилактика» и «лечение» клеток.

Материалы и методы. Лабораторный штамм SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020 пассирован на культуре клеток Vero. Приготовлены водные вытяжки и сухие этанольные экстракты частей растения *Hypericum perforatum* L., собранного в период цветения в Новосибирской области. Сухие экстракты растворяли в ДМСО. Образцы сравнения – сухие этанольные экстракты чаги, специи гвоздики и черного чая.

Результаты. Показано, что водная вытяжка травы (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. при прямой инаktivации вируса активна в разведении 1/4096. Для сухого этанольного экстракта травы *H. perforatum* L., выявлены 50%-ные эффективные концентрации (EC₅₀), равные 2,44±0,87; 8,79±1,91 и 14,65±1,91 мкг/мл, соответственно, при прямой инаktivации, а также по «профилактической» схеме и при «лечении» клеток. С учетом цитотоксичности и в сравнении с контрольными образцами значения селективных индексов (SI₅₀) исследуемых растительных препаратов при прямой инаktivации были более высокие, чем при других схемах экспериментов и распределились следующим образом (по убывающей): 204,92; 153,68; 115,27; 32,01 и 21,33 для сухих этанольных экстрактов черного чая из Индии, специи гвоздики, травы (смесь цветков с листьями) зверобоя продырявленного, чаги и стебля зверобоя продырявленного, соответственно. Методом ВЭЖХ показано, что в этанольном экстракте травы *H. perforatum* L. содержится большее количество флавоноидов, чем в экстракте стеблей. Тем не менее, противовирусная активность выявлена и для экстракта стеблей этого растения с EC₅₀, равными 14,65±1,91; 78,13±20,05 и 117,19±15,31 мкг/мл (по трем схемам экспериментов), соответственно.

Заключение. Для приготовления противовирусных препаратов можно использовать в качестве сырья растение *H. perforatum* L. целиком, включая стебли.

Ключевые слова

SARS-CoV-2, зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.), ингибирующая активность.

A method for obtaining aqueous and dry ethanol extracts of grass (a mixture of flowers with leaves) and a stalk of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) with inhibitory activity on the replication of the SARS-CoV-2 coronavirus *in vitro*

Elena I. Kazachinskaia^{1,2}, Yulia V. Kononova¹, Alla V. Ivanova², Larisa N. Zibareva³, Alexander A. Chepurnov¹, Vladimir V. Romanyuk⁴, Apendi A. Biibolatov⁵, Marina A. Gulyaeva⁶ and Alexander M. Shestopalov^{1,6}

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

²State Research Centre of Virology and Biotechnology, VECTOR, Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare, Novosibirsk, Russia

³National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

⁴Zolotaya Dolina Research and Production Company, Novosibirsk, Russia

⁵Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia

⁶Department of Natural Science, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

⁷Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Elena I. Kazachinskaia, Doctor of Biology, Leading Researcher, Research Institute of Virology, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; Prospekt Koltsovo 32-1, Novosibirsk, Novosibirskiy region, Russia 630559.

Tel. +79095307441

Email lena.kazachinskia@mail.ru

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

How to cite this article

Kazachinskaia E.I., Kononova Yu.V., Ivanova A.V., Zibareva L.N., Chepurnov A.A., Romanyuk V.V., Gulyaeva M.A., Shestopalov A.M. A method for obtaining aqueous and dry ethanol extracts of grass (a mixture of flowers with leaves) and a stalk of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) with inhibitory activity on the replication of the SARS-CoV-2 coronavirus *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 103-117. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-103-117

Received 22 June 2023

Revised 2 August 2023

Accepted 10 August 2023

Abbreviations list

COVID-19 – coronavirus disease, 2019;
SARS-CoV-2 – severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; CE – cytopathic effect;
MOI – multiplicity of infection, TCID₅₀ – 50 % tissue culture infectious doses; CC₅₀ – % cytotoxic concentration, EC₅₀ – 50 % effective concentration;
BAS – biologically active substances,
DMSO – Dimethyl sulfoxide.

Abstract

Aim. *In vitro* evaluation of the inhibitory activity of aqueous extracts and dry ethanol extracts of St John's wort (*Hypericum perforatum* L.) on the replication of SARS-CoV-2 according to three experimental schemes – direct inactivation (neutralisation) of the virus as well as "prevention" and "treatment" of cells.

Materials and Methods. The laboratory strain SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020 was passed on Vero cell culture. Water extracts and dry ethanol extracts of parts of *H. perforatum* L. collected during the flowering period in the Novosibirsk region were prepared. Dry extracts were dissolved in DMSO. Comparison samples are dry ethanol extracts of *chaga*, cloves and black tea.

Results. It is shown that the aqueous extract of grass (a mixture of flowers with leaves) of *H. perforatum* L. with direct inactivation of the virus it is active in dilution of 1/4096. For the dry ethanol extract of the herb *H. perforatum* L., 50 % effective concentrations (EC₅₀) were found equal to 2.44±0.87; 8.79±1.91 and 14.65±1.91 µg/ml respectively with direct inactivation as well as according to the "preventive" scheme and with the "treatment" of cells. Taking into account cytotoxicity, as well as in comparison with control samples, the values of selective indices (SI₅₀) of the studied herbal preparations during direct inactivation were higher than with other experimental schemes and were distributed as follows (in descending order): 204.92; 153.68; 115.27; 32.01 and 21.33 for dry ethanol extracts of black tea from India, cloves, herbs, a mixture of flowers with leaves, of *H. perforatum*, *chaga* and the stems of *H. perforatum* respectively. The HPLC method has shown that the ethanol extract of the herb *H. perforatum* L. contains a greater amount of flavonoids than the extract of stems. Nevertheless, antiviral activity was also detected for the extract of stems of this plant with EC₅₀ equal to 14.65±1.91; 78.13±20.05 and 117.19±15.31 µg/ml (according to three experimental schemes), respectively.

Conclusion. For the preparation of antiviral drugs the whole plant of *H. perforatum* L., including stems, can be used as raw materials.

Key Words

SARS-CoV-2, St John's wort (*Hypericum perforatum* L.), inhibitory activity.

ВВЕДЕНИЕ

По данным ВОЗ по состоянию на начало января 2023 г. во всем мире было зарегистрировано более 659 миллионов подтвержденных случаев и более 6,6 миллионов смертей от COVID-19 (coronavirus disease) [1]. Передача возбудителя этой болезни – SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) от человека к человеку, в основном, происходит воздушно-капельным путем при тесном контакте с людьми, имеющими симптомы ОРЗ. У большинства инфицированных людей проявляются легкие симптомы, включая лихорадку, кашель, чихание, насморк, головные боли и усталость. Однако могут развиваться тяжелые формы заболеваний, характеризующиеся легочной дисфункцией и острым респираторным дистресс-синдромом (ОРДС) до полиорганной недостаточности и смерти. Основные рецепторы для «проникновения» SARS-CoV-2 в чувствительную клетку – ACE2 (ангиотензин-превращающий фермент 2) и TMPRSS2 (трансмембранная сериновая протеаза 2), экспрессируются в клетках многих органов, что может указывать на возможность прямой вирус-индуцированной патологии внелегочных очагов [2]. Появление новых вариантов SARS-CoV-2 в результате мутаций в структурных и неструктурных белках, создает неизбежные препятствия в программах вакцинации [3]. Лечение от новой болезни по «золотому стандарту» до сих пор отсутствует [4]. Перепрофилирование ранее одобренных лекарственных препаратов в качестве возможных противовирусных средств при COVID-19 пока не привело к успеху [5]. До сих пор нет зарегистрированных препаратов прямого анти-SARS-CoV-2 действия, а по одобренным для лечения (например, по ремдесвиру – ингибитору вирусной РНК-зависимой РНК-полимеразы (RdRp), на сегодняшний день результаты нескольких клинических испытаний отличаются по эффективности [6]. По литературным данным, иммуносупрессивная терапия для контроля синдрома «цитокинового шторма» в тяжелых случаях протекания COVID-19 повышает риск проявления разного рода оппортунистических инфекций бактериальной и вирусной природы. Сообщается о выделении в клинических образцах госпитализированных пациентов аэробных плесневых грибов рода *Aspergillus* spp., дрожжеподобных грибов родов *Candida* spp., *Cryptococcus neoformans* и *Pneumocystis jiroveci* (carinii), круглых червей рода *Strongyloides stercoralis*, туберкулезных микобактерий (*Mycobacterium tuberculosis*), внутриклеточного паразитического одноклеточного эукариота *Toxoplasma gondii*, золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*), энтерококка фекального (*Enterococcus faecalis*), синегнойной палочки (*Pseudomonas aeruginosa*), клебсиелл (*Klebsiella pneumoniae*), а также герпесвирусов (HSVs) разных видов, например, Цитомегаловирус (CMV) и Herpes Simplex Virus (HSV) [7–10]. SARS-CoV-2 может поражать центральную и периферическую нервную систему, вызывая многочисленные неврологические заболевания [11], в частности депрессию [12–14]. Таким образом, для лечения пациентов с COVID-19 предпочтительнее использовать препараты комплексного воздействия – с противовоспалительными и антибактериальными свойствами, прямого антивирусного действия [15; 16], а также с антидепрессивными свойствами [17].

Известно, что лекарственные растения проявляют широкий спектр терапевтических эффектов, включая противовоспалительное, противомикробное и противовирусное действие [18]. Кроме того, в отличие от химически синтезированных препаратов, направленных на одну мишень (на структурные белки или ферменты) конкретного вируса, биологически активные вещества (БАВ) растений могут одновременно и/или сочетано влиять на все важные стадии «жизненного» цикла разных вирусов – на проникновение в клетку, репликацию, транскрипцию, сборку и выход из инфицированной клетки [19].

В обзоре, опубликованном в январе 2022 г., Garg с соавт. обсудили полезность 140 видов растений для лечения психической депрессии и, в результате анализа литературных данных, зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.; «трава Святого Иоанна», St. John's wort) представлен авторами на первом месте по антидепрессивным свойствам [20]. Кроме того, в научной литературе сообщается о подтверждении многофункциональной биологической активности *H. perforatum* L., например, его эфирного масла и различных экстрактов (водных, водно-спиртовых и масляных), проявляющейся в таких эффектах как ранозаживляющее, антиоксидантное, антиноцицептивное (обезболивающее), противоопухолевое, антиангиогенное (ингибирование роста микрососудов обеспечивающих рост опухоли и метастазирование), противовоспалительное, иммуномодулирующее, а также антибактериальное и противовирусное действие [21; 22]. Эти эффекты связывают с богатым химическим составом препаратов, полученных из *H. perforatum* L. В основном, это уникальные для этого рода растений вещества – гиперин (производное антрахинона, пигмент красного цвета, с содержанием 1,0–1,5 % в водно – этанольных экстрактах) [23] и гиперфорин (полифенольный компонент с содержанием в водно – этанольных экстрактах приблизительно 0,3 % [21]. Общее содержание флавоноидов в водно – этанольных экстрактах *H. perforatum* L. от 2,0 до 4,0 % [21].

Есть сообщения об ингибировании гиперином репликации вируса диареи крупного рогатого скота [24], гепатита С [25], ВИЧ [24], гриппа [26], утиного ротавируса [27]. В литературе есть данные об активности гиперина и этилацетатного экстракта травы *H. perforatum* L. и в отношении некоторых коронавирусов (coronaviruses, CoVs), например, против γ -CoV инфекционного бронхита птиц (infectious bronchitis virus, IBV) *in vitro* и *in vivo* [28; 29]. По мнению Chen H. с соавт. анти-IBV эффект гиперина может быть связан с ингибированием как апоптоза, так и продукции активных форм кислорода инфицированными клетками. Активность этилацетатного экстракта эти же авторы связывают с комбинацией гиперозида, кверцитрина, кверцетина, гиперина и псевдогиперина [29]. Zhang с соавт описали активность очищенного гиперина (производства Sigma) при «лечении» клеток, инфицированных α -коронавирусом, вызывающим эпидемическую диарею свиней (porcine epidemic diarrhea virus, PEDV). По данным анализа *in silico* установлена молекулярная стыковка между гиперином и 3-химотрипсиноподобной протеазой (3CLpro) (она же основная протеаза, main-protease, Mpro) PEDV [30]. По результатам молекулярного докинга несколькими научными группами предсказана фармакокинетическая активность гиперина против SARS-CoV-2

путем нацеливания на Mpro/3CLpro этого вируса [31–33]. da Rocha Matos A. с соавт. показали *in vitro*, что по схеме «лечения» клеток, инфицированных SARS-CoV-2 (бразильский изолят 2020 г., MOI 0,01), гиперинцицинг ингибировал вирусную репликацию дозозависимым образом до концентрации препарата 0,01 мМ/мл. По данным анализа *in silico*, авторы предполагают, что гиперинцицин может быть лигандом для двух ферментов SARS-CoV-2 - Mpro/3CLpro и RdRp [34]. Mohamed с соавт. (группа авторов из Германии и Египта) использовали цельный неочищенный сухой метанольный экстракт сухой травы *H. perforatum* L. (производство Indena S.p.AS, Милан, Италия), по результатам ВЭЖХ содержащий 7,8% флавоноидов, 4,4% гиперфорина, 0,28% общего количества гиперинцицинов, и выявили *in vitro* эффективные концентрации диапазоне 1,5–15,0 мкг/мл (при растворении сухого экстракта в ДМСО) по трем схемам эксперимента (инактивация – предварительная инкубация вируса с растворенным экстрактом перед нанесением на монослой клеток, «профилактика» –

обработка этим экстрактом монослоя клеток Vero перед их заражением и «лечение» – обработка клеток экстрактом после их заражения вирусом) [35].

Целью настоящей работы было исследование *in vitro* ингибирующей активности сухих этанольных экстрактов травы (смесь цветков с листьями) и отдельно стеблей *H. perforatum* L., произрастающего в Новосибирской области, на репликацию SARS-CoV-2 по трем схемам эксперимента – прямая инактивация (нейтрализация) вируса, а также «профилактика» и «лечение» клеток.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Растительное сырье. Зверобой продырявленный (верхняя часть растения со стеблем длиной 30–40 см (рис. 1) был собран в период цветения в Новосибирской области (54°48'10.08" с.ш. 83°5'44.88" в.д.). Завяливание и просушку растительного сырья проводили в проветриваемом затемненном помещении при температуре 22–25°C.



Рисунок 1. Зверобой продырявленный, собранный в период цветения в Новосибирской области (54°48'10.08" с.ш. 83°5'44.88" в.д.). Фото авторов

Figure 1. St John's wort collected during flowering period in the Novosibirsk region (54°48'10.08" N 83°5'44.88" E). Photo by the authors

Приготовление сухих этанольных экстрактов *Hypericum perforatum* L. и контрольных образцов – плодового тела чаги (*Inonotus obliquus* Ach. Ex Pers. Pil., Basidiomycota), специи гвоздики (*Syzygium aromaticum* L., Myrtaceae) и черного чая (*Camellia sinensis* L. Kuntze, Theaceae) проводили как описано [36]. Для исследований сухие экстракты растворяли в ДМСО из расчета 2000 мкг/мл при 100 об./мин на механической качалке при комнатной температуре в течение суток.

Культура клеток. Использовали линию клеток Vero (клетки эпителия почки африканской зеленой мартышки), чувствительную к SARS-CoV-2, как описано [37].

Цитотоксичность исследуемых растительных препаратов и контрольных образцов анализировали при нанесении растительных препаратов на культуру Vero в поддерживающей питательной среде двойным шагом (с разведения ½ для водных вытяжек и с

концентрации 2000 мкг/мл по сухому веществу для этанольных экстрактов). Определяли эффективные разведения для водных вытяжек и 50%-ную цитотоксическую концентрацию в мл (50% cytotoxic concentration, CC₅₀/мл) для сухих экстрактов как описано [36].

Вирус. Лабораторный штамм SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020, выделенный и пассированный как описано [37]. Титр инфекционного SARS-CoV-2 выражали в ТЦПД₅₀/мл (тканевых цитопатических дозах вируса, вызывающего 50%-е цитопатическое действие (ЦПД) на инфицированные клетки в лунках). ЦПД SARS-CoV-2 можно наблюдать в световой микроскоп, как показано [38] или фиксировать инфицированные клетки по общепринятой методике: в течение 30 мин раствором формальдегида и 0,05 %-ным раствором кристаллического фиалетового, содержащего 20 % этилового спирта.

Анализ ингибирующей активности растительных препаратов проводили методом классической реакции нейтрализации (инактивации) вирусов как нами недавно описано в работе по исследованию антител пациентов, переболевших COVID-19 [39], т.е. с предварительной инкубацией экстрактов (в соответствующих разведениях) с вирусом перед нанесением на культуру клеток Vero, а также по «профилактической» схеме (нанесение разведений экстрактов на монослой клеток за один час перед их инфицированием) и схеме «лечения» клеток (при предварительном инфицировании клеток в течение часа), как описано в работе [36]. Использовали вирусный препарат с инфекционным титром 10^3 ТЦПД₅₀/мл.

Статистическую обработку результатов по определению значений CC_{50} и 50 %-х эффективных концентраций (EC_{50}) проводили с применением метода Спирмена-Кербера в программе Excel при 95 %-ном уровне надежности ($p \leq 0.05$). Для статистической обработки все анализы *in vitro* проводили и фиксировали в четырех повторах в двух независимых экспериментах.

Селективный индекс (Selectivity index, SI) для исследуемых экстрактов рассчитывали по общепринятой формуле: $SI_{50} = CC_{50} / EC_{50}$, с учетом токсичности, выявленной на момент времени, совпадающий со временем фиксации результатов по цитопатическому действию (ЦПД) SARS-CoV-2 в контрольных рядах инфицированных клеток.

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

Анализ БАВ методом ВЭЖХ выполнен на жидкостном хроматографе «Shimadzu LC-20AD» (Япония). Результаты образцов снимали при 3-х длинах волн: 254 нм (для обнаружения экидистероидов), 272 нм – для всех фенольных соединений, включая флавоноиды, 344-350 нм для выявления флавоноидов. Идентификацию сигналов на хроматограммах осуществляли сопоставлением времен удерживания в минутах (T_R , мин) и максимумов поглощения компонентов экстрактов и стандартных образцов соединений в нанометрах (λ , нм) – катехин ($T_R = 6.609$ мин; $\lambda = 279$ нм), катехина гидрат (6.644; 279), хлорогеновая к-та (7.512; 326); галловая к-та (7.623; 272); кофеин (7.803; 273); шафтозид (12.407; 336/271); ориентин (13.231; 348/267); дегидрохверцетин (15.348; 287); 20-гироксиэкидизон (17.268; 247); гиперозид (17.485; 256/354); рутин (18.088; 256/355); изокверцетрин (18.106; 256/355); цинарозид (18.536; 348/254); кверцетрин гидрат (22.631; 256/349); мирицетин (24.413; 373/253); кверцетин (31.870; 255/369); лютеолин (34.875; 348/253); кемпферол (41.711; 366/266); апигенин (41.814; 338/267) (производство Sigma Aldrich), чистота ≥ 95 %. Содержание БАВ рассчитывалось по площадям пиков образца и соответствующих стандартов с помощью калибровочной кривой, построенной с использованием программного обеспечения LC Postrun Calibration Curve. Анализ проводили в трех повторах, статистические расчеты осуществляли в программе Microsoft Excel, 2007.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Определение цитотоксичности, ингибирующей (эффективной) активности на репликацию SARS-CoV-2, индексов селективности препаратов *H. perforatum* L. и контрольных образцов

По результатам, представленным в табл. 1 видно, что цитотоксичность водных вытяжек травы (смесь цветков с листьями) и стебля *H. perforatum* L. была невысокая – $\frac{1}{4}$ и $\frac{1}{2}$, так же как и контрольных образцов – водных вытяжек чаги ($\frac{1}{2}$) и черного чая ($\frac{1}{4}$). Более заметная токсичность ($1/16$) выявлена для водной вытяжки специи гвоздики, при этом ингибирующая активность в прямой инактивации была одинакова ($1/4096$) для всех исследованных водных вытяжек – травы *H. perforatum* L., чаги, гвоздики и черного чая. Водная вытяжка стебля *H. perforatum* L. проявила активность в разведении $1/512$.

По значениям EC_{50} против 10^3 ТЦПД₅₀/мл SARS-CoV-2 эффективность сухих этанольных экстрактов, растворенных в ДМСО, можно представить в следующем порядке (по убывающей) в прямой инактивации: специя гвоздика ($1,22 \pm 0,31$ мкг/мл), черный чай ($1,83 \pm 0,24$ мкг/мл), трава (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. ($2,44 \pm 0,87$ мкг/мл), чага ($7,32 \pm 0,96$ мкг/мл) и стебель *H. perforatum* L. ($14,65 \pm 1,91$ мкг/мл) (табл. 1); по «профилактической» схеме – чага ($7,32 \pm 0,96$ мкг/мл), трава (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. ($8,79 \pm 1,91$ мкг/мл), специя гвоздика ($13,67 \pm 2,51$ мкг/мл), черный чай ($29,30 \pm 3,83$ мкг/мл) и стебель *H. perforatum* L. ($78,13 \pm 20,05$ мкг/мл) (табл. 2); по схеме «лечения» клеток – черный чай ($12,70 \pm 2,80$ мкг/мл), чага ($13,67 \pm 2,51$ мкг/мл), трава (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. ($14,65 \pm 1,91$ мкг/мл), специя гвоздика ($23,44 \pm 5,79$) и стебель *H. perforatum* L. ($117,19 \pm 15,31$ мкг/мл) (табл. 2).

С учетом цитотоксичности и в результате сравнения показано, что значения SI_{50} исследуемых сухих этанольных экстрактов при прямой инактивации были более высокие, чем при других схемах экспериментов и распределились следующим образом (по убывающей): 204,92; 153,68; 115,27; 32,01 и 21,33 для сухих этанольных экстрактов черного чая из Индии (контрольный образец), специи гвоздики (контрольный образец), травы (смесь цветков с листьями) зверобоя продырявленного, чаги (контрольный образец) и стебля зверобоя продырявленного, соответственно (табл. 1).

По «профилактической» схеме (нанесение разведений экстрактов на монослой клеток за один час перед их инфицированием) $SI_{50} = 12,44$ экстракта травы (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. был чуть меньше, чем у экстракта черного чая ($15,10$), но выше, чем у экстрактов чаги ($9,61$) и гвоздики ($8,00$) (табл. 2). По схеме «лечения» клеток $SI_{50} = 7,47$ экстракта травы (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. оказался почти равным с показателями SI_{50} чаги ($5,14$) и гвоздики ($4,66$) (табл. 2). Из всех исследованных растительных препаратов для экстракта черного чая выявлены самые высокие показатели SI_{50} по трем схемам экспериментов – 204,92; 15,10 и 36,91, что связано с его невысокой цитотоксичностью.

По данным литературы анти-SARS-CoV-2 активность экстрактов чая связана с синергическим действием его полифенолов на гликопротеин S (spike) вирусной оболочки и фермент Mpro/3CLpro этого вируса [40–42].

Таблица 1. Результаты по определению цитотоксичности и ингибирующей (эффективной) концентрации водных вытяжек и сухих этанольных экстрактов травы (смесь цветков с листьями) и стеблей *H. perforatum* L.) и контрольных образцов на репликацию SARS-CoV-2 при прямой инаktivации (нейтрализации)

Table 1. Results of determination of cytotoxicity and inhibitory (effective) concentration of aqueous extracts and dry ethanol extracts of grass (a mixture of flowers with leaves) and stems of *H. perforatum* L.) and control samples on replication of SARS-CoV-2 with direct inactivation (neutralization)

Сухое растительное сырье Dry vegetable raw materials	Цитотоксичность и эффективные концентрации в разведениях* и в мкг/мл** при прямой нейтрализации (инаktivации) в течение 1 ч при 37°C перед инфицированием клеток линии Vero. А также индексы селективности для сухих этанольных экстрактов Cytotoxicity and effective concentrations in dilutions* and in µg/ml** with direct neutralization (inactivation) for 1 h at 37°C before infection of Vero cells. Also selectivity indices for dry ethanol extracts				
	Водные вытяжки * Aqueous extracts*		Сухие этанольные экстракты**, растворенные в ДМСО Dry ethanol extracts** dissolved in DMSO		
	цитотоксичность cytotoxicity	эффективное разведение effective breeding	CC ₅₀	EC ₅₀	SI ₅₀
Трава (смесь цветков с листьями) <i>H. perforatum</i> L. Herbal (mixture of flowers and leaves) <i>H. perforatum</i> L.	1/4	1/4096	281,25±61,25	2,44±0,87	115,27
Стебли <i>H. perforatum</i> L. Stems of <i>H. perforatum</i> L.	1/2	1/512	312,50±80,19	14,65±1,91	21,33
Чара <i>Inonotus obliquus</i> Ach. Ex Pers. Pil. Chaga <i>Inonotus obliquus</i> Ach. Ex Pers. Pil.	1/2	1/4096	234,38±30,62	7,32±0,96	32,01
Гвоздика (специя) <i>Syzygium aromaticum</i> L. Cloves (spice) <i>Syzygium aromaticum</i> L.	1/16	1/4096	187,50±46,30	1,22±0,31	153,68
Черный чай <i>Camellia sinensis</i> L. Black tea <i>Camellia sinensis</i> L.	1/4	1/4096	375,00±92,60	1,83±0,24	204,92
Отриц. контроли Negative controls	нет токсичности no toxicity		нет эффекта no effect		

Примечание: для водных вытяжек представлены медианные значения разведений (n=8); отрицательные контроли: для водных вытяжек – кипяченая дистиллированная вода с поддерживающей питательной средой для клеток (с 2 % прогорелой сыворотки крови крупного рогатого скота) в соотношении 1/2 и поддерживающая среда для клеток; для сухих этанольных экстрактов – поддерживающая среда для клеток и объем ДМСО как растворителя, соответствующий его объему в исследуемых сухих экстрактах, разведенных в этом растворителе
Note: for aqueous extracts median dilution values are presented (n=8); negative controls: for aqueous extracts boiled distilled water with a supporting nutrient medium for cells (with 2% of blood serum of cattle) in a ratio of 1/2 and a supporting medium for cells; for dry ethanol extracts – supporting medium for cells and volume of DMSO as a solvent corresponding to its volume in the studied dry extracts diluted in this solvent

2. Анализ ВЭЖХ биологически активных веществ этанольных экстрактов травы (смесь цветков с листьями) и стеблей *H. perforatum* L., а также контрольных образцов

По данным ВЭЖХ (рис. 2 а), этанольный экстракт травы (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. более насыщен флавоноидами, чем экстракт стебля (рис. 2 б). Общими оказались соединения с временем удерживания (Tr, мин) и максимумом поглощения (λ, нм) – шафтозид с Tr=12.864 и λ=273/332 (с содержанием 0,80 % в экстракте травы и 0,37 % в экстракте стебля) и не идентифицированный флавоноид (с Tr=19.077 и λ=257/349) с почти равным содержанием – 1,15 и 1,03 %. В экстракте травы *H. perforatum* L. выявлено 1,35 % цинарозида (с Tr=18.711, λ=257/351) и 1,16 % кверцетрина гидрата (с Tr=23.426, λ=255/348) (табл. 3).

В этанольном экстракте специи гвоздики (*S. aromaticum* L.) выявлено 4 флавоноида, один из которых идентифицирован как кверцетрин гидрат,

другой – предположительно, рутин или изокверцетрин (которые имеют одинаковые максимумы поглощения 255/355 нм и близкие времена удерживания в мин) (рис. 3 а). В экстракте чаги обнаружено фенольное соединение с характеристиками Tr = 8.033 и λ=274 нм (рис. 3 б), свойственными галловой кислоте, содержание которой составило 0,56 %. По данным хроматограммы (рис. 3 с), мажорным компонентом (17,64 %) в экстракте черного чая, вероятно, является комплекс соединений с пиком по времени удерживания 51.386–52.109 мин (λ=366/272/251 и 366/272/250 нм). Кроме того, в экстракте черного чая содержится галловая кислота (6,70 %) или это общий пик с кофеином, т.к. их характеристики очень близки – галловая кислота (7.623 мин; 272 нм) и кофеин (7.803 мин; 273 нм). Катехин, катехин гидрат и эпикатехин в этанольном экстракте чая не обнаружены.

В данном исследовании нет данных (в связи с отсутствием стандартного образца) по содержанию в

этанольных экстрактах гиперина, который может непосредственно проявлять антивирусную активность и его основная мишень SARS-CoV-2 это Mpro/3CLpro [31–34] и, возможно, RdRp [34]. Тем не менее, по литературным данным известно, что полифенольные соединения также обладают антивирусной активностью, в частности, против SARS-CoV, блокируя как Mpro/3CLpro, папаин-подобную протеазу (PLpro) и хеликазу (nsP13), так и белок S и, соответственно, препятствуя взаимодействию вирусной частицы с клеточными рецепторами [43]. Swargiary с соавт. по результатам *in silico* предсказали, что галлокатехин галлат обладает хорошим связыванием с Mpro/3CLpro и PLpro SARS-CoV-2 [44], а Jena с соавт. выявили для куркумина и катехина высокий потенциал связывания с S-белком SARS-CoV-2 [45]. С использованием рекомбинантного белка Mpro/3CL SARS-CoV-2 показана 50 %-ная ингибирующая активность (IC_{50}) 49-ти коммерчески доступных полифенольных соединений (Sigma). Например, результаты с IC_{50} (в μM): кверцетин – $93,0 \pm 5,0$; EGCG – $171,0 \pm 5,0$; хлорогеновая кислота – $140,0$; кофейная кислота – $197,0 \pm 1,0$ и т.д. [46]. Флавоноид нарингенин может быть многообещающим новым фармакологическим соединением для безопасной и эффективной терапии при COVID-19, т.к. в концентрации $62,5 \mu M$ ингибирует репликацию SARS-CoV-2 в клетках Vero E6 (обработанных препаратом за 1 ч до заражения) [47].

По литературным данным, шафтозид наряду с другими флавоноидами (кверцетином, изокверцитрином и др.) *in silico* проявляет наибольшую энергию связи в комплексе с белком нуклеокапсида (N) и Mpro/3CLpro SARS-CoV-2 [48]. После скрининга 12-ти китайских растительных лекарственных средств и 125-ти соединений, полученных из корня солодки Yi с соавт. обнаружили, что популярный натуральный продукт шафтозид ингибирует Mpro/3CLpro и PLpro со значениями IC_{50} равными $1,73 \pm 0,22$ и $3,91 \pm 0,19$ мкмоль/л соответственно, и инфекционный SARS-CoV-2 в клетках Vero E6 с EC_{50} $11,83 \pm 3,23$ мкмоль/л. Масс-спектрометрический анализ, расчеты квантовой механики/молекулярной механики, а также сайт-направленный мутагенез показали, что противовирусная активность шафтозида связана с нековалентными взаимодействиями с H41, G143 и R188 Mpro/3CLpro и K157, E167 и A246 PLpro. Более того, протеомный анализ и анализ цитокинов показали, что шафтозид также регулирует иммунный ответ и воспаление клеток-хозяев. Противовоспалительная активность шафтозида была подтверждена на мышах с острым повреждением легких, вызванным липополисахаридом. Авторы считают, что фармакокинетические свойства и невысокая токсичность шафтозида может быть многообещающей основой препарата-кандидата для профилактики COVID-19 и лечения заболевших [49].

Таблица 2. Результаты по определению цитотоксичности и ингибирующей (эффективной) концентрации водных вытяжек и сухих этанольных экстрактов травы (смесь цветков с листьями) и стеблей *H. perforatum* L.) и контрольных образцов на репликацию SARS-CoV-2 по схемам «профилактики» и «лечения» клеток

Table 2. Results of determination of cytotoxicity and inhibitory (effective) concentration of aqueous extracts and dry ethanol extracts of grass (a mixture of flowers with leaves) and stems of *H. perforatum* L.) and control samples on replication of SARS-CoV-2 according to schemes of "prevention" and "treatment" of cells

Сухое растительное сырье Dry vegetable raw materials	50%-ные цитотоксичные и эффективные концентрации в мкг/мл этанольных экстрактов, а также индексы селективности 50% cytotoxic and effective concentrations in μg /ml of ethanol extracts as well as selectivity indices					
	Результаты по «профилактической» схеме (нанесение разведений экстрактов на монослой клеток за один час перед их инфицированием) Results according to the "preventive" scheme (application of dilutions of extracts on a monolayer of cells one hour before their infection)			Результаты по схеме «лечения» клеток (при предварительном инфицировании клеток в течение часа) Results according to scheme of "treatment" of cells (with preliminary infection of cells within an hour)		
	CC ₅₀	EC ₅₀	SI ₅₀	CC ₅₀	EC ₅₀	SI ₅₀
Трава (смесь цветков с листьями) <i>H. perforatum</i> L. Herbal (mixture of flowers and leaves) <i>H. perforatum</i> L.	109,38±20,05	8,79±1,91	12,44	109,38±20,05	14,65±1,91	7,47
Стебли <i>H. perforatum</i> L. Stems of <i>H. perforatum</i> L.	437,5±80,19	78,13±20,05	5,60	437,5±80,19	117,19±15,3 1	3,73
Чага <i>Inonotus obliquus</i> Ach. Ex Pers. Pil. Chaga <i>Inonotus obliquus</i> Ach. Ex Pers. Pil.	70,31±15,31	7,32±0,96	9,61	70,31±15,31	13,67±2,51	5,14
Гвоздика (специя) <i>Syzygium aromaticum</i> L. Cloves (spice) <i>Syzygium aromaticum</i> L.	109,38±20,05	13,67±2,51	8,00	109,38±20,05	23,44±5,79	4,66
Черный чай <i>Camellia sinensis</i> L. Black tea <i>Camellia sinensis</i> L.	468,75±61,25	29,30±3,83	15,10	468,75±61,25	12,70±2,80	36,91
Отриц. контроли Negative controls	нет токсичности no toxicity	нет эффекта no effect		нет токсичности no toxicity	нет эффекта no effect	

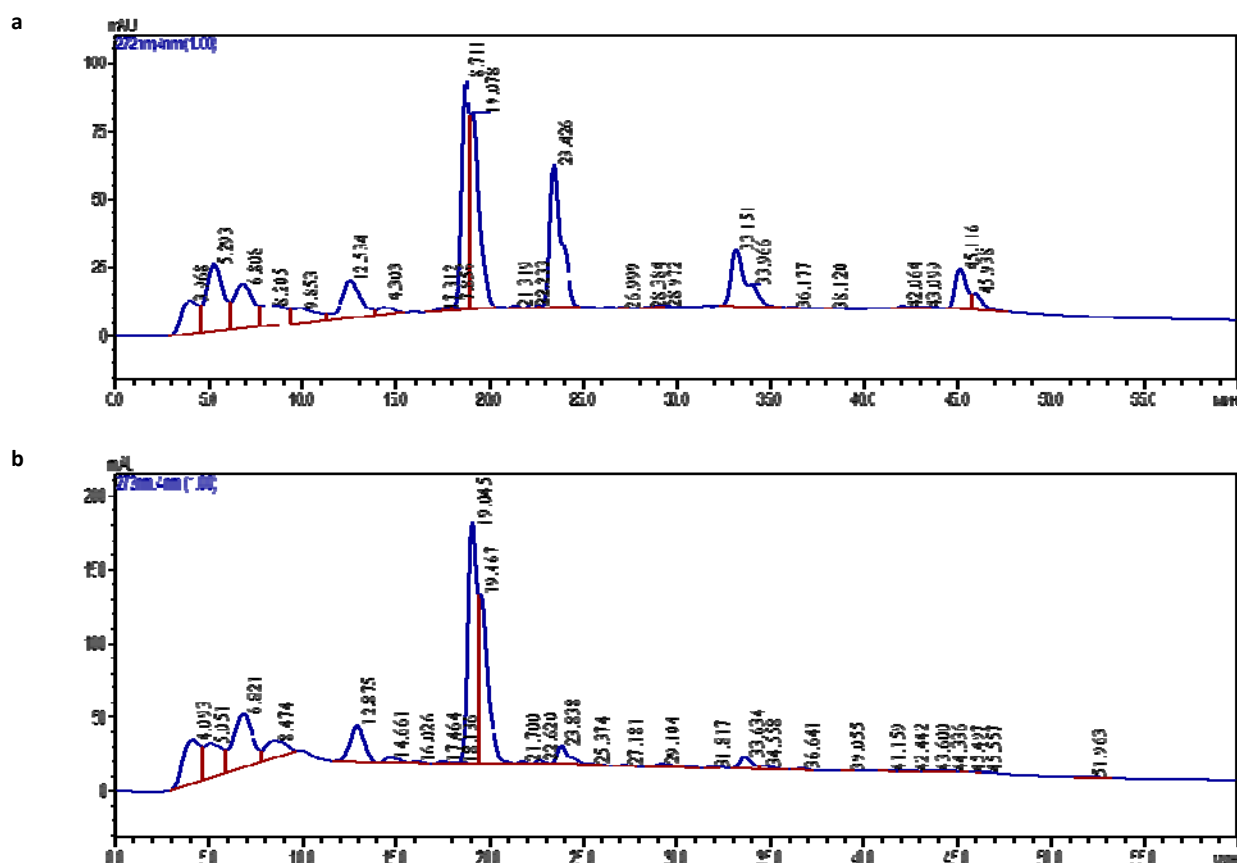


Рисунок 2. Хроматограмма экстрактов *H. perforatum* L. при длине волны 272 нм для всех фенольных соединений, включая флавоноиды – **a.** Экстракт (смесь цветков с листьями); **b.** Экстракт стеблей

Figure 1. Chromatogram extracts of *H. perforatum* L. at a wavelength of 272 nm for all phenolic compounds including flavonoids – **a.** Extract (mixture of flowers and leaves); **b.** Extract of the stems

Таблица 3. Характеристики соединений, обнаруженных в экстрактах травы *H. perforatum* L.

Table 3. Characteristics of compounds found in herbal extracts of *H. perforatum* L.

Экстракты Extracts of <i>H. perforatum</i> L.	T _г , мин Tr, min	λ, нм λ, nm	Площадь Area	Площадь пика, % Peak area, %	Навеска, мг Sample, mg	Содержание в сух. образце, % Content in a dry sample, %	Компоненты Compounds
Экстракт травы (смесь цветков с листьями) Herbal extract (mixture of flowers and leaves)	12.534	272/333	950192	6,3430	21,3	0,80	Шафтозид Shaftoside
	18.711	257/351	2591749	17,3011		1,35	Цинарозид Cinaroside
	19.078	256/352	2212398	14,7688		1,15	Неидент. флавоноид Unidentified flavonoid
	23.426	255/348	2235524	14,9232		1,16	Кверцетрин гидрат Guercetin hydrate
Экстракт стеблей Extract of stems	12.875	273/332	1253606	6,5546	100	0,37	Шафтозид Shaftoside
	19.045	257/349	5606175	29,3126		1,03	Неидент. флавоноид Unidentified flavonoid
	19.467	256/352	3591294	18,7775		0,66	Неидент. флавоноид Unidentified flavonoid

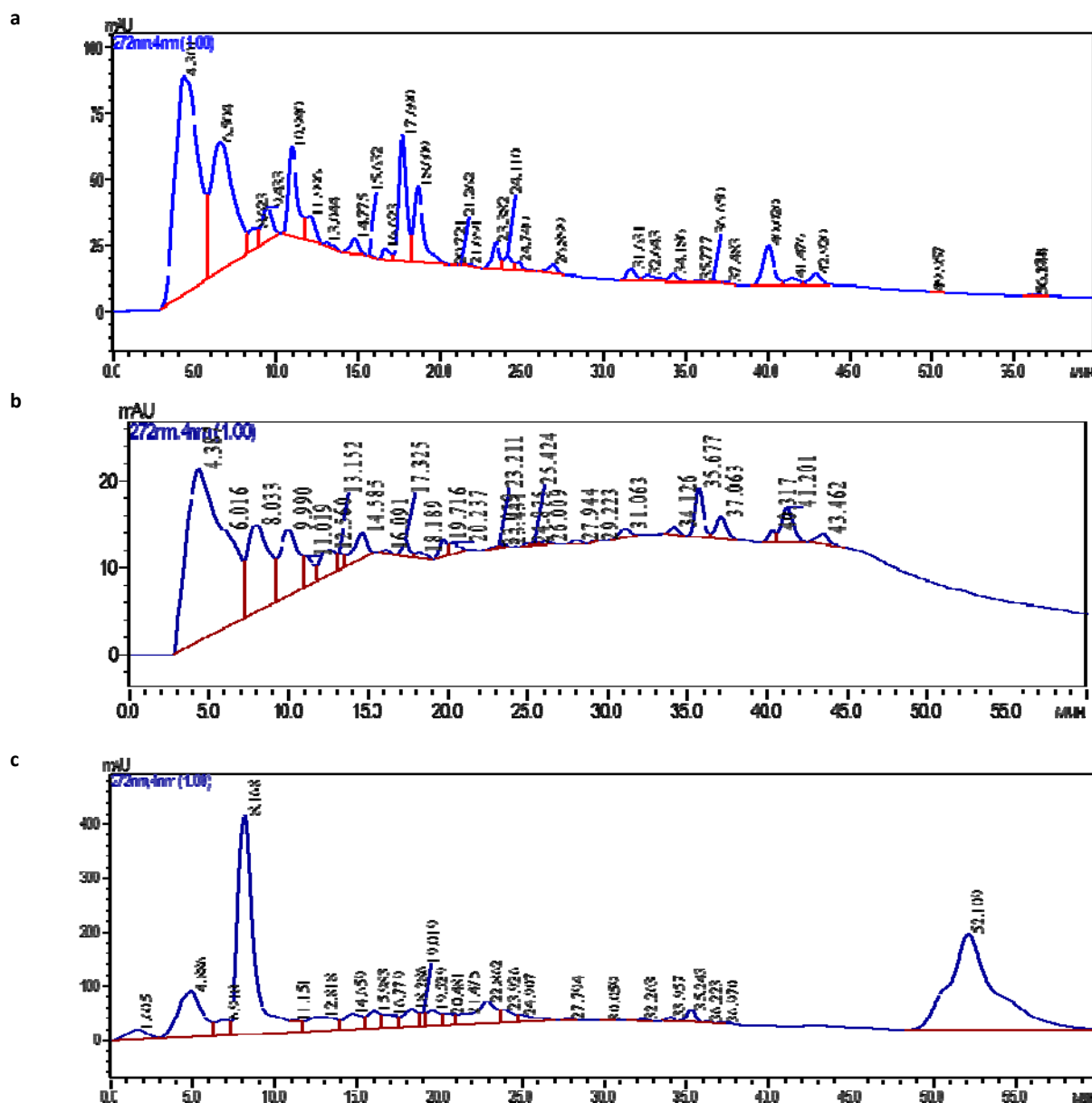


Рисунок 3. Хроматограммы при длине волны 272 нм для всех фенольных соединений, включая флавоноиды

Примечание: а. Экстракт специи гвоздики; б. Экстракт чаги; с. Экстракт черного чая

Figure 3. Chromatograms at 272 nm for all phenolic compounds, including flavonoids

Note: a. Extract of *S. aromaticum* L.; b. Extract of *I. obliquus*; c. Extract of black tea

Цинарозид (также называемый лутеолин 7-глюкозидом (luteolin 7-glucoside), по результатам многочисленных исследований, обладает множеством фармакологических свойств, таких как противовоспалительные, антибактериальные, антиоксидантные и противоопухолевые [50]. В препринте статьи Moezzi с соавт. (в ноябре 2022 г.) по результатам молекулярного докинга *in silico* показано, что основные флавоноиды шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*, Lamiaceae) – рутин, лутеолин-7-глюкозид и апигенин обладают более высокой аффинностью связывания с Mpro/3CLpro SARS-CoV-2, чем коммерческие противовирусные препараты (лопинавир, ремдесивир и фавипиравир) [51].

Методом ВЭЖХ мы выявили в этанольном экстракте травы (смесь цветков с листьями) *H. perforatum* L. флавоноиды: шафтозид (с содержанием 0,80 %), цинарозид (1,35 %) и кверцетрина гидрат (1,16 %)

(табл. 3). Можно предположить, что анти-SARS-CoV-2 активность этанольных экстрактов зверобоя продырявленного, в большей степени может быть связана с шафтозидом, т.к. он обнаружен и в экстракте стебля этого растения (0,37 %).

По данным литературы, готовые фармакологические препараты зверобоя продырявленного с известной антидепрессивной и противовоспалительной активностью, могут быть полезны при лечении пациентов с COVID-19 [52]. Исследования прямой антивирусной активности препаратов, приготовленных из этого растения, также являются перспективными. Как, например, представлены данные молекулярного докинга (*in silico*) da Rocha Matos с соавт. о том, что гиперцин *H. perforatum* L. оказался одним из лучших лигандов для двух ферментов SARS-CoV-2 - Mpro/3CLpro и RdRp [34]. В китайском патенте, опубликованном 06.07.2021, описан

способ получения водного экстракта травы *H. perforatum* L. в соотношении 1/10 (по весу) ультразвуковой обработкой сырья в дистиллированной воде (3-хкратно) при температуре 50°C в течение 30 минут, фильтрованием объединенной смеси, концентрированием и высушиванием концентрата. На основании исследований *in vitro* по ингибированию рекомбинантной Mpro/3CLpro SARS-CoV-2, авторами предложены варианты использования сухого водного экстракта в виде лосьона для дезинфекции рук, раствора для полоскания рта, раствор для промывания глаз, носа и ушей. Экстракт также можно использовать в виде раствора для ванн, в составе шампуня и моющих средств, а также герметично упакованных влажных салфеток [53]. В Европейском патенте Scholz с соавт. (авторы из Германии) для лечения и профилактики инфекции, вызванной SARS-CoV-2, представлены композиции, содержащие метанольные или этанольные экстракты травы зверобоя продырявленного, с целью получения средств в виде растворов для полоскания рта и ингаляции, спрея для носа, леденцов, таблеток и жевательных резинок, а также в виде растворов для инъекций, содержащих очищенный гиперидин и/или псевдогиперидин. По результатам анализа *in vitro* показано потенциальное воздействие экстрактов зверобоя продырявленного с дозой 25 мкг/мл как на псевдовиреус VSV, содержащий S белок SARS-CoV-2, так и на инфекционный коронавирус. Прямая нейтрализация и схемы «профилактики» / «лечения» клеток привели в данном случае к снижению вирусной нагрузки на три логарифмических шага [54]. Доказательством воздействия БАВ *H. perforatum* L. на структурный S белок SARS-CoV-2 может быть работа Mohamed с соавт., в которой они продемонстрировали, что метанольный экстракт травы этого растения активен при прямой инактивации разных вариантов SARS-CoV-2 (Альфа, Бета, Дельта и Омикрон), также как и при схемах «профилактики» и «лечения» клеток в диапазоне эффективных концентраций 1,5–15,0 мкг/мл [35]. Эти данные свидетельствуют о широком механизме действия БАВ метанольного экстракта травы *H. perforatum* L. – как на наружный гликопротеин S (таким образом, нарушая взаимодействие вируса с клеточными рецепторами), так и, возможно, на вирусные ферменты Mpro/3CLpro и RdRp (ингибируя вирусную репликацию внутри инфицированной клетки).

По данным Owen с соавт. БАВ растений могут одновременно и/или сочетано влиять на все важные стадии «жизненного» цикла разных вирусов – на проникновение в клетку, репликацию, транскрипцию, сборку и выход из инфицированной клетки [19]. Наши результаты являются подтверждением разного механизма действия БАВ этанольных экстрактов *H. perforatum* L. на SARS-CoV-2. Кроме того, по нашим данным, стебли зверобоя продырявленного также можно использовать для приготовления противовирусных препаратов с целью экономии растительного сырья.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда No 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/>.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Russian Science Foundation according to research project No 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт ВОЗ. URL: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports> (дата обращения: 12.01.2023)
2. Ning Q., Wu D., Wang X., Xi D., Chen T., Chen G., Wang H., Lu H., Wang M., Zhu L. et al. The mechanism underlying extrapulmonary complications of the coronavirus disease 2019 and its therapeutic implication // *Signal Transduct Target Ther.* 2022. V. 7. Article number: 57. DOI: 10.1038/s41392-022-00907-1
3. Harvey W.T., Carabelli A.M., Jackson B. SARS-CoV-2 variants, spike mutations and immune escape // *Nat Rev Microbiol.* 2021. V. 19. N 7. P. 409–424. DOI: 10.1038/s41579-021-00573-0
4. Chuang S.-T., Buchwald P. Broad-Spectrum Small-Molecule Inhibitors of the SARS-CoV-2 Spike-ACE2 Protein-Protein Interaction from a Chemical Space of Privileged Protein Binders // *Pharmaceuticals (Basel).* 2022. V. 15. N 9. Article ID: 1084. DOI: 10.3390/ph15091084
5. Liu H., Ye F., Sun Q., Liang H., Li C., Li S., Lu R., Huang B., Tan W., Lai L. *Scutellaria baicalensis* extract and baicalin inhibit replication of SARS-CoV-2 and its 3C-like protease in vitro CoV-2 // *J Enzyme Inhib Med Chem.* 2021. V. 36. Iss. 1. C. 497–503. DOI:10.1080/14756366.2021.1873977
6. García-Lledó A., Gómez-Pavón J., Castillo J.G.D., Hernández-Sampelayo T., Martín-Delgado M.C., Sánchez F.J.M., Martínez-Sellés M., García J.M.M., Guillén S.M., Rodríguez-Artalejo F.J., Ruiz-Galiana J., Cantón R., Ramos P.D.L., García-Botella A., Bouza E. Pharmacological treatment of COVID-19: an opinion paper // *Revista Española de Quimioterapia.* 2022. V. 35. N 2. P. 115–130. DOI: 10.37201/req/158.2021
7. Abdoli A., Falahi S., Kenarkoobi A. COVID-19-associated opportunistic infections: a snapshot on the current reports // *Clinical and Experimental Medicine.* 2021. V. 22. N 3. P. 327–346. DOI: 10.1007/s10238-021-00751-7
8. Seeßle J., Hippchen T., Schnitzler P., Gsenger J., Giese T., Merle U. High rate of HSV-1 reactivation in invasively ventilated COVID-19 patients: Immunological findings // *PLoS ONE.* 2021. V. 16. N 7. Article ID: e0254129. DOI: 10.1371/journal.pone.0254129
9. Franceschini E., Cozzi-Lepri A., Santoro A., Bacca E., Lancellotti G., Menozzi M., Gennari W., Meschiari M., Bedini A., Orlando G. et al. Herpes Simplex Virus Re-Activation in Patients with SARS-CoV-2 Pneumonia: A Prospective, Observational Study // *Microorganisms.* 2021. V. 9. N 9. Article number: 1896. DOI: 10.3390/microorganisms9091896
10. Murgia F., Fiamma M., Serra S., Marras G., Argiolas R., Mattana C., Mattu M.G., Garau M. C., Doneddu S., Olla S. et al. The impact of the secondary infections in ICU patients affected by COVID-19 during three different phases of the SARS-CoV-2 pandemic // *Clin Exp Med.* 2022. V. 23. P. 1251–1263. DOI: 10.1007/s10238-022-00959-1
11. Wan D., Du T., Hong W., Chen L., Que H., Lu S., Peng X. Neurological complications and infection mechanism of SARS-CoV-2 // *Signal Transduction and Targeted Therapy.* 2021. N 6. Article number: 406. DOI: 10.1038/s41392-021-00818-7
12. Nawrot J., Gornowicz-Porowska J., Budzianowski J., Nowak G., Schroeder G., Kurczewska J. Medicinal Herbs in the Relief of Neurological, Cardiovascular, and Respiratory Symptoms after COVID-19 Infection A Literature Review // *Cells.* 2022. V. 11. N 12. Article number: 1897. DOI: 10.3390/cells11121897
13. Premraj L., Kannapadi N.V., Briggs J., Seal S.M., Battaglini D., Fanning J., Suen J., Robba C., Fraser J., Cho S.-M. Mid and long-term neurological and neuropsychiatric manifestations of post-COVID-19 syndrome: A meta-analysis // *J Neurol Sci.* 2022. V. 434. Article ID: 120162. DOI: 10.1016/j.jns.2022.120162

14. Chippa V., Aleem A., Anjum F. Book: Post Acute Coronavirus (COVID-19) Syndrome. In: StatPearls [Internet]. 2022. PMID: 34033370.
15. Soleymani S., Naghizadeh A., Karimi M., Zarei A., Mardi R., Kordafshari G., Esmaealzadeh N., Zargaran A. COVID-19: General Strategies for Herbal Therapies // J Evid Based Integr Med. 2022. V. 27. DOI: 10.1177/2515690X211053641
16. Calderon M., Gysin G., Gujjar A., McMaster A., King L., Comandé D., Hunter E., Payne B. Bacterial co-infection and antibiotic stewardship in patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis // BMC Infect Dis. 2023. V. 23. Article number: 14. DOI: 10.1186/s12879-022-07942-x
17. Bonnet U., Juckel G. COVID-19 Outcomes: Does the Use of Psychotropic Drugs Make a Difference? Accumulating Evidence of a Beneficial Effect of Antidepressants-A Scoping Review // J Clin Psychopharmacol. 2022. V. 42. N 3. P. 284–292. DOI:10.1097/JCP.0000000000001543
18. Buza V., Niculae M., Hanganu D., Pall E., Burtescu R.F., Olah N.-K., Matei-Lațiu M.-C., Vlasiuc I., Ioan I., Szakacs A.R., Ielciu I., Ștefănuț L.C. Biological Activities and Chemical Profile of *Gentiana asclepiadea* and *Inula helenium* Ethanolic Extracts // Molecules. 2022. V. 27. Iss. 11. DOI: 10.3390/molecules27113560
19. Owen L., Laird K., Shivkumar M. Antiviral plant-derived natural products to combat RNA viruses: Targets throughout the viral life cycle // Lett Appl Microbiol. 2022. V. 75. N 3. P. 476–499. DOI: 10.1111/lam.13637
20. Garg P., Alambayan J., Garg V. Herbal Approaches in the Management of Mental Depression // CNS Neurol Disord Drug Targets. 2022. DOI: 10.2174/1871527321666220128091408
21. Galeotti N. Hypericum perforatum (St John's wort) beyond depression: A therapeutic perspective for pain conditions // J Ethnopharmacol. 2017. N 200. P. 136–146. DOI: 10.1016/j.jep.2017.02.016
22. Vuko E., Dunkić V., Rušić M., Nazlić M., Mandić N., Soldo B., Šprung M., Fredotović Ž. Chemical Composition and New Biological Activities of Essential Oil and Hydrosol of *Hypericum perforatum* L. ssp. *veronense* (Schränk) H. Lindb // Plants. 2021. V. 10. N 5. DOI: 10.3390/plants10051014
23. Rizzo P., Altschmied L., Ravindran B.M., Rutten T., D'Auria J.C. The Biochemical and Genetic Basis for the Biosynthesis of Bioactive Compounds in *Hypericum Perforatum* L., One of the Largest Medicinal Crops in Europe // Genes. 2020. V. 11. N 10. DOI: 10.3390/genes11101210
24. Prince A.M., Pascual D., Meruelo D., Liebes L., Mazur Y., Dubovi E., Mandel M., Lavie G. Strategies for evaluation of enveloped virus inactivation in red cell concentrates using hypericin // Photochem Photobiol. 2000. V. 71. N 2. P. 188–195. DOI: 10.1562/0031-8655(2000)071<0188:sfeoev>2.0.co;2
25. Shih C.-M., Wu C.-H., Wu W.-J., Hsiao Y.-M., Ko J.-L.. Hypericin inhibits hepatitis C virus replication via deacetylation and down-regulation of heme oxygenase-1 // Phytomedicine. 2018. V. 46. P. 193–198. DOI: 10.1016/j.phymed.2017.08.009
26. Pu X., Liang J., Wang X., Xu T., Hua L., Shang R. Anti-influenza A virus effect of Hypericum perforatum L. extract // Virol. Sin. 2009. V. 24. P. 19–27. DOI:10.1007/s12250-009-2983-x
27. Du X., Xiao R., Fu H., Yuan Z., Zhang W., Yin L., He C., Li C., Zhou J., Liu G., Shu G., Chen Z. Hypericin-loaded graphene oxide protects ducks against a novel duck reovirus // Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl. 2019. V. 105. Article ID: 110052. DOI: 10.1016/j.msec.2019.110052
28. Chen H., Feng R., Muhammad I., Abbas G., Zhang Y., Ren Y., Huang X., Zhang R., Diao L., Wang X., et al. Protective effects of hypericin against infectious bronchitis virus induced apoptosis and reactive oxygen species in chicken embryo kidney cells // Poult. Sci. 2019. V. 98. P. 6367–6377. DOI: 10.3382/ps/pez465
29. Chen H., Muhammad I., Zhang Y., Ren Y., Zhang R., Huang X., Diao L., Liu H., Li X., Sun X., Abbas G., Li G. Antiviral Activity Against Infectious Bronchitis Virus and Bioactive Components of *Hypericum perforatum* L // Front Pharmacol. 2019. V. 10. DOI: 10.3389/fphar.2019.01272
30. Zhang Y., Chen H., Zou M., Oerlemans R., Shao C., Ren Y., Zhang R., Huang X., Li G., Cong Y. Hypericin Inhibit Alpha-Coronavirus Replication by Targeting 3CL Protease // Viruses. 2021. V. 13. N 9. DOI: 10.3390/v13091825
31. Islam R., Parves M.R., Paul A.S., Uddin N., Rahman M.S., Mamun A.A., Hossain M.N., Ali M.A., Halim M.A. A molecular modeling approach to identify effective antiviral phytochemicals against the main protease of SARS-CoV-2 // J. Biomol. Struct. Dyn. 2021. V. 39. N 9. P. 3213–3224. DOI: 10.1080/07391102.2020.1761883
32. Shivanika C., Kumar D.S., Ragunathan V., Tiwari P., Sumitha A., Devi B.P. Molecular docking, validation, dynamics simulations, and pharmacokinetic prediction of natural compounds against the SARS-CoV-2 main-protease // J. Biomol. Struct. Dyn. 2022. V. 40. N 2. P. 585–611. DOI: 10.1080/07391102.2020.1815584
33. Saravanan K.M., Zhang H., Senthil R., Vijayakumar K.K., Sounderrajan V. Wei Y., Shakila H. Structural basis for the inhibition of SARS-CoV2 main protease by Indian medicinal plant-derived antiviral compounds // J. Biomol. Struct. Dyn. 2022. V. 40. N 5. P. 1970–1978. DOI: 10.1080/07391102.2020.1834457
34. da Rocha Matos A., Caetano B.C., de Almeida Filho J.L., de Carvalho Martins J.S.C., de Oliveira M.G.P., das Chagas Sousa T., Horta M.A.P., Siqueira M.M., Fernandez J.H. Identification of Hypericin as a Candidate Repurposed Therapeutic Agent for COVID-19 and Its Potential Anti-SARS-CoV-2 Activity // Front. Microbiol. 2022. V. 13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.828984
35. Mohamed F.F., Anhlán D., Schöfbänker M., Schreiber A., Classen N., Hensel A., Hempel G., Scholz W., Kühn J., Hrincius E.R., Ludwig S. *Hypericum perforatum* and Its Ingredients Hypericin and Pseudohypericin Demonstrate an Antiviral Activity against SARS-CoV-2 // Pharmaceuticals (Basel). 2022. V. 15. N 5. P. 530. DOI: 10.3390/ph1505053
36. Казачинская Е.И., Романова В.Д., Иванова А.В., Чепурнов А.А., Муртазалиева З.А., Кононова Ю.В., Шауло Д.Н., Романюк В.В., Шестопалов А.М. Ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 4. С. 111–129. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-111-129
37. Чепурнов А.А., Шаршов К.А., Казачинская Е.И., Кононова Ю.В., Казачкова Е.А., Хрипко О.П., Юрченко К.С., Алексеев А.Ю., Воевода М.И., Шестопалов А.М. Антигенные свойства изолята коронавируса SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020, выделенного от пациента в Новосибирске // Журнал инфектологии. 2020. Т. 12. N 3. С. 42–50. DOI: 10.22625/2072-6732-2020-12-3-42-50
38. Казачинская Е.И., Чепурнов А.А., Кононова Ю.В., Шелемба А.А., Романюк В.В., Магомедов М.Г., Шестопалов А.М. Ингибирующая активность чайных композиций и их составляющих ингредиентов на репликацию SARS-CoV-2 *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 2. С. 76–90. DOI:10.18470/1992-1098-2022-2-76-90
39. Kazachinskaja E.I., Chepurnov A.A., Shcherbakov D.N., Kononova Yu.V., Shanshin D.V., Romanova V.D., Khripko O.P., Saroyan T.A., Gulyaeva M.A., Voevoda M.I., Shestopalov A.M. IgG Study of Blood Sera of Patients with COVID-19 // Pathogens. 2021. V. 10. N 11. DOI:10.3390/pathogens10111421
40. Mhatre S., Naik S., Patravale V. A molecular docking study of EGCG and theaflavin digallate with the druggable targets of SARS-CoV-2 // Comput. Biol. Med. 2021. N 129. DOI: 10.1016/j.combiomed.2020.104137

41. Mhatre S., Srivastava T., Naik S., Patravale V. Antiviral activity of green tea and black tea polyphenols in prophylaxis and treatment of COVID-19: A review // *Phytomedicine*. 2021. V. 85. DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153286
42. Ishimoto K., Hatanaka N., Otani S., Maeda S., Xu B., Yasugi M., Moore J.E., Suzuki M., Nakagawa S., Yamasaki S // *Lett. Appl. Microbiol.* 2022. V. 74. N 1. P. 2–7. DOI:10.1111/lam.13591
43. Shoaib S., Ansari M.A., Kandasamy G., Vasudevan R., Hani U., Chauhan W., Alhumaidi M.S., Altammar K.A., Azmi S., Ahmad W., Wahab S., Islam N. An Attention towards the Prophylactic and Therapeutic Options of Phytochemicals for SARS-CoV-2: A Molecular Insight // *Molecules*. 2023. V. 28. N 2. DOI: 10.3390/molecules28020795
44. Swargiary A., Mahmud S., Saleh M.A. Screening of phytochemicals as potent inhibitor of 3-chymotrypsin and papain-like proteases of SARS-CoV-2: An in silico approach to combat COVID-19 // *J. Biomol. Struct. Dyn.* 2022. V. 40. P. 2067–2081. DOI: 10.1080/07391102.2020.1835729
45. Jena A.B., Kanungo N., Nayak V., Chainy G.B.N., Dandapat J. Catechin and curcumin interact with S protein of SARS-CoV-2 and ACE2 of human cell membrane: Insights from computational studies // *Sci. Rep.* 2021. Article number: 2043. DOI: 10.1038/s41598-021-81462-7
46. Nguyen T., Jung J.-H., Kim M.-K., Lim S., Choi J.-M., Chung B., Kim D.-W., Kim D. The inhibitory effects of plant derivate polyphenols on the main protease of SARS coronavirus 2 and their structure–activity relationship // *Molecules*. 2021. V. 26. DOI: 10.3390/molecules26071924
47. Clementi N., Scagnolari C., D'Amore A., Palombi F., Criscuolo E., Frasca F., Pierangeli A., Mancini N., Antonelli G., Clementi M., et al. Naringenin is a powerful inhibitor of SARS-CoV-2 infection *in vitro* // *Pharmacol. Res.* 2021. V. 163. DOI: 10.1016/j.phrs.2020.105255
48. Jupudi S., Rajala S., Gaddam N.R., Swaminathan G., Peesa J.P., Rajagopal K. Azam M.A. Revisiting the South Indian traditional plants against several targets of SARS-CoV-2 - An In silico approach // *Curr. Comput.-Aided Drug Des.* 2022. DOI: 10.2174/1573409919666221230105758.
49. Yi Y., Zhang M., Xue H., Yu R., Bao Y.-O., Kuang Y., Chai Y., Ma W., Wang J., Shi X. et al. Schaftoside inhibits 3CL^{pro} and PL^{pro} of SARS-CoV-2 virus and regulates immune response and inflammation of host cells for the treatment of COVID-19 // *Acta Pharm. Sin. B.* 2022. V. 12. N 11. P. 4154–4164. DOI: 10.1016/j.apsb.2022.07.017
50. Ji J., Wang Z., Sun W., Li Z., Cai H., Zhao E., Cui H. Effects of Cynaroside on Cell Proliferation, Apoptosis, Migration and Invasion through the MET/AKT/mTOR Axis in Gastric Cancer // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. V. 22. N 22. DOI: 10.3390/ijms222212125
51. Moezzi M.S. Comprehensive in silico screening of flavonoids against SARS-CoV-2 main protease // *J. Biomol. Struct. Dyn.* 2022. P. 1–14. DOI: 10.1080/07391102.2022.2142297
52. Masiello P., Novelli M., Beffy P., Menegazzi M. Can Hypericum perforatum (SJW) prevent cytokine storm in COVID-19 patients? // *Phytother. Res.* 2020. V. 34. N 7. P. 1471–1473. DOI: 10.1002/ptr.6764
53. Ge Guangbo, Zhu Guanghao, Zhang Yani, Xiong Yuan, Hu Qing, Chen Hongzhuan Hypericum perforatum extract for inhibiting coronavirus 3CL proteolytic enzyme and medical application thereof // *Patent China*. CN113069486. 06.07.2021
54. Scholz W., Ludwig S., Hempel G., Hensel A. Compositions for treating SARS-CoV2 infection // *Patent Germany*. EP4094756A1-2022-11-30.
2. Ning Q., Wu D., Wang X., Xi D., Chen T., Chen G., Wang H., Lu H., Wang M., Zhu L. et al. The mechanism underlying extrapulmonary complications of the coronavirus disease 2019 and its therapeutic implication. *Signal Transduct Target Therapy*, 2022, vol. 7, article number: 57. DOI: 10.1038/s41392-022-00907-1
3. Harvey W.T., Carabelli A.M., Jackson B. SARS-CoV-2 variants, spike mutations and immune escape. *Nat Rev Microbiol.*, 2021, vol. 19, no. 7, pp. 409–424. DOI: 10.1038/s41579-021-00573-0
4. Chuang S.-T., Buchwald P. Broad-Spectrum Small-Molecule Inhibitors of the SARS-CoV-2 Spike-ACE2 Protein-Protein Interaction from a Chemical Space of Privileged Protein Binders. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2022, vol. 15, no. 9, article id: 1084. DOI: 10.3390/ph15091084
5. Liu H., Ye F., Sun Q., Liang H., Li C., Li S., Lu R., Huang B., Tan W., Lai L. *Scutellaria baicalensis* extract and baicalin inhibit replication of SARS-CoV-2 and its 3C-like protease in vitro CoV-2. *J Enzyme Inhibition Medicinal Chemistry*, 2021, vol. 36, no. 1, pp. 497–503. DOI:10.1080/14756366.2021.1873977
6. García-Lledó A., Gómez-Pavón J., Castillo J.G.D., Hernández-Sampelayo T., Martín-Delgado M.C., Sánchez F.J.M., Martínez-Sellés M., García J.M.M., Guillén S.M., Rodríguez-Artalejo F.J., Ruiz-Galiana J., Cantón R., Ramos P.D.L., García-Botella A., Bouza E Bouza E. Pharmacological treatment of COVID-19: an opinion paper. *Revista Española de Quimioterapia*, 2022, vol. 35, no. 2, pp. 115–130. DOI: 10.37201/req/158.2021
7. Abdoli A., Falahi S., Kenarkoobi A. COVID-19-associated opportunistic infections: a snapshot on the current reports. *Clinical and Experimental Medicine*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 327–346. DOI: 10.1007/s10238-021-00751-7
8. Seeßle J., Hippchen T., Schnitzler P., Gsenger J., Giese T., Merle U. High rate of HSV-1 reactivation in invasively ventilated COVID-19 patients: Immunological findings. *PLoS ONE*, 2021, vol. 16, no. 7, article id: e0254129. DOI: 10.1371/journal.pone.0254129
9. Franceschini E., Cozzi-Lepri A., Santoro A., Bacca E., Lancellotti G., Menozzi M., Gennari W., Meschiari M., Bedini A., Orlando G. et al. Herpes Simplex Virus Re-Activation in Patients with SARS-CoV-2 Pneumonia: A Prospective, Observational Study. *Microorganisms*, 2021, vol. 9, no. 9, article number: 1896. DOI: 10.3390/microorganisms9091896
10. Murgia F., Fiamma M., Serra S., Marras G., Argiolas R., Mattana C., Mattu M.G., Garau M. C., Doneddu S., Olla S. et al. The impact of the secondary infections in ICU patients affected by COVID-19 during three different phases of the SARS-CoV-2 pandemic. *Clin Exp Med.*, 2022, vol. 23, pp. 1251–1263. DOI: 10.1007/s10238-022-00959-1
11. Wan D., Du T., Hong W., Chen L., Que H., Lu S., Peng X. Neurological complications and infection mechanism of SARS-CoV-2. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 2021, no. 6, article number: 406. DOI: 10.1038/s41392-021-00818-7
12. Nawrot J., Gornowicz-Porowska J., Budzianowski J., Nowak G., Schroeder G., Kurczewska J. Medicinal Herbs in the Relief of Neurological, Cardiovascular, and Respiratory Symptoms after COVID-19 Infection A Literature Review. *Cells*, 2022, vol. 11, no. 12, article number: 1897. DOI: 10.3390/cells11121897
13. Premraj L., Kannapadi N.V., Briggs J., Seal S.M., Battaglini D., Fanning J., Suen J., Robba C., Fraser J., Cho S.-M. Mid and long-term neurological and neuropsychiatric manifestations of post-COVID-19 syndrome: A meta-analysis. *Journal of the Neurological Sciences*, 2022, vol. 434, article id: 120162. DOI: 10.1016/j.jns.2022.120162
14. Chippa V., Aleem A., Anjum F. Book: Post Acute Coronavirus (COVID-19) Syndrome. In: StatPearls [Internet]. 2022. PMID: 34033370. Bookshelf id: NBK570608
15. Soleymani S., Naghizadeh A., Karimi M., Zarei A., Mardi R., Kordafshari G., Esmaealzadeh N., Zargaran A. COVID-19:

REFERENCES

1. WHO website. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports> (accessed 12.01.2023)

- General Strategies for Herbal Therapies. *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*, 2022, vol. 27. DOI: 10.1177/2515690X211053641
16. Calderon M., Gysin G., Gujjar A., McMaster A., King L., Comandé D., Hunter E., Payne B. Bacterial co-infection and antibiotic stewardship in patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *BMC Infectious Diseases*, 2023, vol. 23, article number: 14. DOI: 10.1186/s12879-022-07942-x
 17. Bonnet U., Juckel G. COVID-19 Outcomes: Does the Use of Psychotropic Drugs Make a Difference? Accumulating Evidence of a Beneficial Effect of Antidepressants-A Scoping Review. *J Clin Psychopharmacol*, 2022, vol. 42, no. 3, pp. 284–292. DOI:10.1097/JCP.0000000000001543
 18. Buza V., Niculae M., Hanganu D., Pall E., Burtescu R.F., Olah N.-K., Matei-Lațiu M.-C., Vlasiciu I., Iozon I., Szakacs A.R., Ielciu I., Ștefănuț L.C. Biological Activities and Chemical Profile of *Gentiana asclepiadea* and *Inula helenium* Ethanolic Extracts. *Molecules*, 2022, vol. 27, iss. 11. DOI: 10.3390/molecules27113560
 19. Owen L., Laird K., Shivkumar M. Antiviral plant-derived natural products to combat RNA viruses: Targets throughout the viral life cycle. *Letters in Applied Microbiology*, 2022, vol. 75, no. 3, pp. 476–499. DOI: 10.1111/lam.13637
 20. Garg P., Alambayan J., Garg V. Herbal Approaches in the Management of Mental Depression. *CNS Neurol Disord Drug Targets*, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 98–124. DOI: 10.2174/1871527321666220128091408
 21. Galeotti N. *Hypericum perforatum* (St John's wort) beyond depression: A therapeutic perspective for pain conditions. *Journal of Ethnopharmacology*, 2017, vol. 200, pp. 136–146. DOI: 10.1016/j.jep.2017.02.016
 22. Vuko E., Dunkić V., Rušić M., Nazlić M., Mandić N., Soldo B., Šprung M., Fredotović Ž. Chemical Composition and New Biological Activities of Essential Oil and Hydrosol of *Hypericum perforatum* L. ssp. *veronense* (Schränk) H. Lindb. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 5. DOI: 10.3390/plants10051014
 23. Rizzo P., Altschmied L., Ravindran B.M., Rutten T., D'Auria J.C. The Biochemical and Genetic Basis for the Biosynthesis of Bioactive Compounds in *Hypericum Perforatum* L., One of the Largest Medicinal Crops in Europe. *Genes*, 2020, vol. 11, no. 10. DOI: 10.3390/genes11101210
 24. Prince A.M., Pascual D., Meruelo D., Liebes L., Mazur Y., Dubovi E., Mandel M., Lavie G. Strategies for evaluation of enveloped virus inactivation in red cell concentrates using hypericin. *Photochem Photobiology*, 2000, vol. 71, no. 2, pp. 188–195. DOI: 10.1562/0031-8655(2000)071<0188:sfeoev>2.0.co;2
 25. Shih C.-M., Wu C.-H., Wu W.-J., Hsiao Y.-M., Ko J.-L. Hypericin inhibits hepatitis C virus replication via deacetylation and down-regulation of heme oxygenase-1. *Phytomedicine*, 2018, vol. 46, pp. 193–198. DOI: 10.1016/j.phymed.2017.08.009
 26. Pu X., Liang J., Wang X., Xu T., Hua L., Shang R. Anti-influenza A virus effect of *Hypericum perforatum* L. extract. *Virologica sinica*, 2009, vol. 24, pp. 19–27. DOI:10.1007/s12250-009-2983-x
 27. Du X., Xiao R., Fu H., Yuan Z., Zhang W., Yin L., He C., Li C., Zhou J., Liu G., Shu G., Chen Z. Hypericin-loaded graphene oxide protects ducks against a novel duck reovirus. *Mater. Sci. Eng. C. Biol. Appl.*, 2019, vol. 105, article id: 110052. DOI: 10.1016/j.msec.2019.110052
 28. Chen H., Feng R., Muhammad I., Abbas G., Zhang Y., Ren Y., Huang X., Zhang R., Diao L., Wang X., et al. Protective effects of hypericin against infectious bronchitis virus induced apoptosis and reactive oxygen species in chicken embryo kidney cells. *Poult. Sci.*, 2019, vol. 98, pp. 6367–6377. DOI: 10.3382/ps/pez465
 29. Chen H., Muhammad I., Zhang Y., Ren Y., Zhang R., Huang X., Diao L., Liu H., Li X., Sun X., Abbas G., Li G. Antiviral Activity Against Infectious Bronchitis Virus and Bioactive Components of *Hypericum perforatum* L. *Front. Pharmacol.*, 2019, vol. 10. DOI: 10.3389/fphar.2019.01272
 30. Zhang Y., Chen H., Zou M., Oerlemans R., Shao C., Ren Y., Zhang R., Huang X., Li G., Cong Y. Hypericin Inhibit Alpha-Coronavirus Replication by Targeting 3CL Protease. *Viruses*, 2021, vol. 13, no. 9. DOI: 10.3390/v13091825
 31. Islam R., Parves M.R., Paul A.S., Uddin N., Rahman M.S., Mamun A.A., Hossain M.N., Ali M.A., Halim M.A. A molecular modeling approach to identify effective antiviral phytochemicals against the main protease of SARS-CoV-2. *J. Biomol. Struct. Dyn.*, 2021, vol. 39, no. 9, pp. 3213–3224. DOI: 10.1080/07391102.2020.1761883
 32. Shivanika C., Kumar D.S., Ragunathan V., Tiwari P., Sumitha A., Devi B.P. Molecular docking, validation, dynamics simulations, and pharmacokinetic prediction of natural compounds against the SARS-CoV-2 main-protease. *J. Biomol. Struct. Dyn.*, 2022, vol. 40, no. 2, pp. 585–611. DOI: 10.1080/07391102.2020.1815584
 33. Saravanan K.M., Zhang H., Senthil R., Vijayakumar K.K., Sounderrajan V. Wei Y., Shakila H. Structural basis for the inhibition of SARS-CoV2 main protease by Indian medicinal plant-derived antiviral compounds. *J. Biomol. Struct. Dyn.*, 2022, vol. 40, no. 5, pp. 1970–1978. DOI: 10.1080/07391102.2020.1834457
 34. da Rocha Matos A., Caetano B.C., de Almeida Filho J.L., de Carvalho Martins J.S.C., de Oliveira M.G.P., das Chagas Sousa T., Horta M.A.P., Siqueira M.M., Fernandez J.H. Identification of Hypericin as a Candidate Repurposed Therapeutic Agent for COVID-19 and Its Potential Anti-SARS-CoV-2 Activity. *Front. Microbiol.*, 2022, vol. 13, article id: 828984. DOI: 10.3389/fmicb.2022.828984
 35. Mohamed F.F., Anhlán D., Schöfbänker M., Schreiber A., Classen N., Hensel A., Hempel G., Scholz W., Kühn J., Hrincius E.R., Ludwig S. *Hypericum perforatum* and Its Ingredients Hypericin and Pseudohypericin Demonstrate an Antiviral Activity against SARS-CoV-2. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2022, vol. 15, no. 5. DOI: 10.3390/ph1505053
 36. Kazachinskaia E.I., Romanova V.D., Ivanova A.V., Chepurinov A.A., Kononova Y.V., Shaulo D.N., Romanyuk V.V., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of dry ethanol extracts of *Artemisia* spp. on SARS-CoV-2 replication *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 4, pp. 111–129. DOI: 10.18470/1992-1098-2-22-4-111-129 (In Russian)
 37. Chepurinov A.A., Sharshov K.A., Kazachinskaya E.I., Kononova Yu.V., Kazachkova E.A., Khripko O.P., Yurchenko K.S., Alekseev A.Yu., Voevoda M.I., Shestopalov A.M. Antigenic properties of sARs-CoV-2/human/RUs/nsk-FRCfTM-1/2020 coronavirus isolate from a patient in Novosibirsk. *Journal of Infectology*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 42–50. DOI:10.22625/2072-6732-2020-12-3-42-50. (In Russian)
 38. Kazachinskaia E.I., Chepurinov A.A., Kononova Y.V., Shelemba A.A., Romanyuk V., Magomedov M.G., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of tea compositions and their constituent ingredients on SARS-CoV-2 replication *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 76–90. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-76-90 (In Russian)
 39. Kazachinskaia E.I., Chepurinov A.A., Shcherbakov D.N., Kononova Yu.V., Shanshin D.V., Romanova V.D., Khripko O.P., Saroyan T.A., Gulyaeva M.A., Voevoda M.I., Shestopalov A.M. IgG Study of Blood Sera of Patients with COVID-19. *Patogens*, 2021, vol. 10, no. 11. DOI:10.3390/pathogens10111421
 40. Mhatre S., Naik S., Patravale V. A molecular docking study of EGCG and theaflavin digallate with the druggable targets of SARS-CoV-2. *Comput. Biol. Med.*, 2021, no. 129. DOI: 10.1016/j.combiomed.2020.104137
 41. Mhatre S., Srivastava T., Naik S., Patravale V. Antiviral activity of green tea and black tea polyphenols in prophylaxis

- and treatment of COVID-19: A review. *Phytomedicine*, 2021, vol. 85. DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153286
42. Ishimoto K., Hatanaka N., Otani S., Maeda S., Xu B., Yasugi M., Moore J.E., Suzuki M., Nakagawa S., Yamasaki S. Tea crude extracts effectively inactivate severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. *Lett. Appl. Microbiol.*, 2022, vol. 74, no. 1, pp. 2–7. DOI:10.1111/lam.13591
43. Shoaib S., Ansari M.A., Kandasamy G., Vasudevan R., Hani U., Chauhan W., Alhumaidi M.S., Altammar K.A., Azmi S., Ahmad W., Wahab S., Islam N. An Attention towards the Prophylactic and Therapeutic Options of Phytochemicals for SARS-CoV-2: A Molecular Insight. *Molecules*, 2023, vol. 28, no. 2. DOI: 10.3390/molecules28020795
44. Swargiary A., Mahmud S., Saleh M.A. Screening of phytochemicals as potent inhibitor of 3-chymotrypsin and papain-like proteases of SARS-CoV-2: An in silico approach to combat COVID-19. *J. Biomol. Struct. Dyn.*, 2022, vol. 40, pp. 2067–2081. DOI: 10.1080/07391102.2020.1835729
45. Jena A.B., Kanungo N., Nayak V., Chainy G.B.N., Dandapat J. Catechin and curcumin interact with S protein of SARS-CoV-2 and ACE2 of human cell membrane: Insights from computational studies. *Sci. Rep.*, 2021, article number: 2043. DOI: 10.1038/s41598-021-81462-7
46. Nguyen T., Jung J.-H., Kim M.-K., Lim S., Choi J.-M., Chung B., Kim D.-W., Kim D. The inhibitory effects of plant derivate polyphenols on the main protease of SARS coronavirus 2 and their structure–activity relationship. *Molecules*, 2021, vol. 26. DOI: 10.3390/molecules26071924
47. Clementi N., Scagnolari C., D'Amore A., Palombi F., Criscuolo E., Frasca F., Pierangeli A., Mancini N., Antonelli G., Clementi M., et al. Naringenin is a powerful inhibitor of SARS-CoV-2 infection *in vitro*. *Pharmacol. Res.*, 2021, vol. 163. DOI: 10.1016/j.phrs.2020.105255
48. Jupudi S., Rajala S., Gaddam N.R., Swaminathan G., Peesa J.P., Rajagopal K. Azam M.A. Revisiting the South Indian traditional plants against several targets of SARS-CoV-2 - An In silico approach. *Curr. Comput.-Aided Drug Des.*, 2022. DOI: 10.2174/1573409919666221230105758
49. Yi Y., Zhang M., Xue H., Yu R., Bao Y.-O., Kuang Y., Chai Y., Ma W., Wang J., Shi X. et al. Schaftoside inhibits 3CL^{pro} and PL^{pro} of SARS-CoV-2 virus and regulates immune response and inflammation of host cells for the treatment of COVID-19. *Acta Pharm. Sin. B*, 2022, vol. 12, no. 11, pp. 4154–4164. DOI: 10.1016/j.apsb.2022.07.017
50. Ji J., Wang Z., Sun W., Li Z., Cai H., Zhao E., Cui H. Effects of Cynaroside on Cell Proliferation, Apoptosis, Migration and Invasion through the MET/AKT/mTOR Axis in Gastric Cancer. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 22. DOI: 10.3390/ijms222212125
51. Moezzi M.S. Comprehensive in silico screening of flavonoids against SARS-CoV-2 main protease. *J. Biomol. Struct. Dyn.*, 2022, pp. 1–14. DOI: 10.1080/07391102.2022.2142297
52. Masiello P., Novelli M., Beffy P., Menegazzi M. Can *Hypericum perforatum* (SJW) prevent cytokine storm in COVID-19 patients? *Phytother. Res.*, 2020, vol. 34, no. 7, pp. 1471–1473. DOI: 10.1002/ptr.6764
53. Ge Guangbo, Zhu Guanghao, Zhang Yani, Xiong Yuan, Hu Qing, Chen Hongzhan *Hypericum perforatum* extract for inhibiting coronavirus 3CL proteolytic enzyme and medical application thereof. Patent China. CN113069486. 06.07.2021
54. Scholz W., Ludwig S., Hempel G., Hensel A. Compositions for treating SARS-CoV2 infection. Patent Germany. EP4094756A1-2022-11-30.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена И. Казачинская оформила литературный обзор, провела эксперименты по исследованию ингибирующей активности, а также обработала результаты.

Юлия В. Кононова внесла идею исследования, культивировала клетки Vero, провела титрование вируса и подготовку аликвот с определенным инфекционным титром.

Алла В. Иванова работала с сухим растительным сырьем по разделению на отдельные части (листья, цветки, стебли), провела экстракцию для получения сухих экстрактов и эксперименты по тестированию цитотоксичности экстрактов.

Лариса Н. Зибарева провела анализ БАВ высокоэффективной жидкостной хроматографией.

Александр А. Чепурнов наработал SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020.

Владимир В. Романюк провел сбор растительного сырья в природе и определение вида *Hypericum perforatum* L.

Марина А. Гуляева и Апенди А. Бийболатов участвовали в составлении литературного обзора и редактировании рукописи до подачи в редакцию.

Александр М. Шестопалов руководил организационной и материальной частью лабораторного исследования. Все вышеуказанные авторы участвовали в обсуждении полученных результатов в формате научной дискуссии. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena I. Kazachinskaia designed the literature review and conducted experiments for study of inhibitory activity and processed the results.

Yulia V. Kononova introduced the idea of the study, cultured Vero cells, titrated the virus and prepared aliquots with an infectious titer.

Alla V. Ivanova worked with dry plant raw materials by dividing them into separate parts (stems, inflorescences, leaves), carried out extraction to obtain dry extracts and conducted experiments for testing of cytotoxicity.

Larisa N. Zibareva analyzed BAS with high-performance liquid chromatography.

Alexander A. Chepurinov cultivated SARS-CoV-2/human/RUS/Nsk-FRCFTM-1/2020.

Vladimir V. Romanyuk collected plant raw materials in nature and determined the type of *Hypericum perforatum* L.

Marina A. Gulyaeva and Apendi A. Biibolatov participated in the preparation of the literature review and edited the manuscript before submission to the Editor.

Alexander M. Shestopalov led the organisational and material aspects of the laboratory research. Authors participated in the discussion of the results obtained in the format of a scientific discussion. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Елена И. Казачинская / Elena I. Kazachinskaya <https://orcid.org/0000-0002-1856-6147>

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

Алла В. Иванова / Alla V. Ivanova <https://orcid.org/0000-0001-9102-6756>

Лариса Н. Зибарева / Larisa N. Zibareva <https://orcid.org/0000-0002-4417-8340>

Александр А. Чепурнов / Alexander A. Chepurnov <https://orcid.org/0000-0002-5966-8633>

Владимир В. Романюк / Vladimir V. Romanyuk <https://orcid.org/000-0002-6860-9168>

Апенди А. Бийболатов / Apendi A. Biibolatov <https://orcid.org/0009-0008-3921-0407>

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

Александр М. Шестопалов / Alexander M. Shestopalov <https://orcid.org/0000-0002-9734-0620>

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.3/636.034

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-118-125



Колиформные бактерии как компоненты биопленок навозных стоков

Лариса В. Пилип¹, Надежда В. Сырчина², Тамара Я. Ашихмина^{2,3}, Екатерина П. Колеватых⁴¹Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия²Вятский государственный университет, Киров, Россия³Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия⁴Кировский государственный медицинский университет, Киров, Россия

Контактное лицо

Лариса В. Пилип, кандидат ветеринарных наук, доцент, кафедра зооигиены, физиологии и биохимии, Вятский государственный агротехнологический университет; 610000 Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133. Тел. +79991008078

Email pilip_larisa@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

Формат цитирования

Пилип Л.В., Сырчина Н.В., Ашихмина Т.Я., Колеватых Е.П. Колиформные бактерии как компоненты биопленок навозных стоков // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 118-125. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-118-125

Получена 17 марта 2022 г.

Прошла рецензирование 14 апреля 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Изучить внутривидовое разнообразие колиформных бактерий, представленных в микробных сообществах биопленок свинных навозных стоков (НС) и оценить влияние химических реагентов на состав микробных консорциумов и некоторые свойства бактерий рода *Escherichia*.

Материал и методы. Биопленки НС получали в лабораторных условиях, изучали их качественный и количественный микробный состав. Для обработки НС применяли растворы H_2SO_4 и $NaOCl$. Состав микробиоты определяли методом посева на питательные среды.

Результаты. Преобладающими группами микроорганизмов в биопленках НС были облигатно-и факультативно-анаэробные бактерии родов *Clostridium*, *Bacteroides* и *Escherichia*. Род *Escherichia* представлен *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. blattae* (*Shimwellia blattae*), *E. coli inactive*, *E. vulneris* с различной биохимической активностью. Повышенным колонизационным потенциалом, способствующим выживаемости популяций бактерий в микробном консорциуме, обладают *Escherichia fergusonii*, *Escherichia coli inactive*, *Escherichia vulneris*. Бактерии рода *Escherichia* способны образовывать ассоциации с факультативным анаэробом *Proteus vulgaris* и дрожжами *Rhodotorula glutinis*. Выявлена значительная устойчивость *E. coli* к воздействию химических реагентов, используемых для обезвреживания и устранения запаха НС (H_2SO_4 до pH 5,5±0,1; внесение 12,5 мг/л активного хлора в составе $NaOCl$). Обработка НС не привела к полной гибели *E. coli*, однако снизило концентрацию на 2 порядка. Использование указанных химических препаратов позволяет снизить общий объем выделяющихся газов на 30–40% и уменьшить интенсивность неприятного запаха.

Заключение. Полученные результаты могут найти практическое применение при разработке составов биопрепаратов для снижения запаха и повышения эффективности рациональной утилизации побочных продуктов животноводства.

Ключевые слова

Побочные продукты животноводства, биопленки, колиформные бактерии, *Escherichia*, консортивные связи микроорганизмов.

Coliform bacteria as components in biofilm of manure effluents

Larisa V. Pilip¹, Nadezhda V. Syrchina², Tamara Ya. Ashikhmina^{2,3} and Ekaterina P. Kolevatykh⁴

¹Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

²Vyatka State University, Kirov, Russia

³Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

⁴Kirov State Medical University, Kirov, Russia

Principal contact

Larisa V. Pilip, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chair, Zoohygiene, Physiology and Biochemistry, Vyatka State Agrotechnological University; 133 Oktyabrsky Ave, Kirov, Russia 610000. Tel. +79991008078

Email pilip_larisa@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

How to cite this article

Pilip L.V., Syrchina N.V., Ashikhmina T.Ya., Kolevatykh E.P. Coliform bacteria as components in biofilm of manure effluents. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 118-125. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-118-125

Received 17 March 2022

Revised 14 April 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To study the intraspecific diversity of coliform bacteria represented in microbial communities in biofilms of manure effluents (ME), as well as to evaluate the effect of chemical reagents on the composition of microbial consortia and some properties of bacteria of the genus *Escherichia*.

Material and Methods. Biofilms of ME were obtained under laboratory conditions and their qualitative and quantitative microbial composition studied. H₂SO₄ and NaOCl solutions were used for entry into ME. The composition of the microbiota was determined by the method of inoculation on nutrient media.

Results. The dominant groups of microorganisms in biofilms of ME were obligate and facultative anaerobic bacteria of the genera *Clostridium*, *Bacteroides* and *Escherichia*. The genus *Escherichia* is represented by *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. blattae* (*Shimwellia blattae*), *E. coli inactive* and *E. vulneris* with varying biochemical activity. *Escherichia fergusonii*, *Escherichia coli inactive* and *Escherichia vulneris* have increased colonization potential, which contributes to the survival of bacterial populations in the bacterial consortium. Bacteria of the genus *Escherichia* are able to form associations with the facultative anaerobe *Proteus vulgaris* and the yeast *Rhodotorula glutinis*. The significant resistance of *E. coli* to the effects of chemical reagents used to neutralize and eliminate the smell of ME (H₂SO₄ to pH 5.5±0.1; introduction of 12.5 mg/l of active chlorine in NaOCl) was revealed. ME treatment did not lead to the complete death of *E. coli*. However, it reduced the concentration by 2 orders of magnitude. The use of these chemicals can reduce the total volume of gases released by 30–40% and reduce the intensity of unpleasant u.

Conclusions. The results obtained can find practical application in the development of formulations of biological products to reduce odour and improve the efficiency of rational disposal of animal by-products.

Key Words

By-products of animal husbandry, biofilms, coliform bacteria, *Escherichia*, consort bonds of microorganisms.

ВВЕДЕНИЕ

К числу важнейших экологических задач, стоящих перед современным промышленным животноводством, относится защита окружающей среды от химического и биологического загрязнения. Основными источниками загрязнения являются побочные продукты животноводства (ППЖ): навоз и навозные стоки, которые только после специальной обработки (обезвреживания) могут вноситься в пашню в качестве органических удобрений. Однако, внесение соответствующих удобрений приводит не только к повышению плодородия почв, но и к переносу в окружающую среду широкого спектра несвойственных природным экосистемам микроорганизмов (МО), включая патогенные и условно патогенные. Вместе с МО в почву попадают резистентные к антибиотикам бактерии и гены устойчивости, сформировавшиеся в желудочно-кишечном тракте сельскохозяйственных животных под влиянием ветеринарных препаратов и стимуляторов роста. Распространение антибиотикорезистентной микробиоты в окружающей среде становится глобальной проблемой современности, существенно усложняющей возможности лечения инфекционных заболеваний [1; 2].

Состав микробиоты ППЖ формируется не только на основе МО, попадающих в навоз из кишечника животных, но и из внешней среды с водой, кормами, почвой. Доминирующая часть микробиоты ППЖ представлена анаэробными или факультативно анаэробными видами бактерий, что обусловлено бескислородными условиями толстого кишечника. Далеко не все населяющие кишечник МО способны существовать вне живого организма. Большинство представителей кишечной микробиоты погибает, однако наиболее устойчивые сохраняют свою жизнеспособность в природных условиях. К числу МО, способных существовать не только в условиях кишечника, но и во внешней среде, относятся колиформные бактерии (КБ). Наиболее изученным представителем КБ является кишечная палочка (*Escherichia coli*), впервые выделенная и описанная в 1885 г. австрийским ученым Теодором Эшерихом. *E. coli* входит в число МО, населяющих нижние отделы кишечника человека и теплокровных животных (резидентная микрофлора). Большинство штаммов *E. coli* не представляют угрозы для здоровья, однако некоторые представители этой группы (условно-патогенная и патогенная микрофлора) могут приводить к развитию инфекционных заболеваний. Например, тяжелые кишечные расстройства – эшерихиозы может вызывать *Diarheagenic E. coli*, менингиты новорожденных – *Neonatal Meningitis E. coli*, заболевания мочеполовой системы – *Uropathogenic E. coli*, а развитие сепсиса – *Sepsis associated pathogenic E. coli* [3; 4].

E. coli принимает активное участие в процессах аммонификации органических веществ, содержащихся в ППЖ. Продуктами разложения являются аммиак, биогенные амины, сероводород, тиолы (меркаптаны), летучие жирные кислоты, индол, скатол, фенол, крезол и другие соединения с неприятным запахом [5; 6]. Запахообразующие вещества, попадающие в атмосферу в результате микробиологических процессов деструкции навоза, доставляют значительный дискомфорт населению, проживающему вблизи размещения животноводческих предприятий [7; 8]. Различные виды КБ отличаются ферментативными свойствами и антигенной структурой. В последние годы были описаны

редкие формы бактерий рода *Escherichia* (*E.*), среди которых выделяют *E. blatte* (*Shimwellia blattae*), *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. fergusonii*, *E. vulneris*, *E. coli inactive*, *E. albertii*, *E. faecalis*, *E. marmotae*, *E. senegalensis* [9–11]. Соответствующие бактерии могут играть заметную роль в развитии патологических процессов у животных и человека [12]. Одним из источников распространения редких форм бактерий рода *Escherichia* (РФБЭ) в природе может стать навоз животных. В настоящее время проблема масштабов и вероятных последствий переноса РФБЭ в окружающую среду практически не изучена, что сопряжено с определенными экологическими рисками.

Для бактерий рода *Escherichia* характерно образование разнообразных консорциумов с другими МО. Примером таких консорциумов могут служить биопленки, формирующиеся на поверхности НС. Выживаемость и продуктивность МО в составе консорциумов обычно выше, чем вне него. В связи с этим изучение состава биопленок и факторов, оказывающих влияние на консортивные связи между отдельными видами МО, представляет большой практический интерес [13–15].

Целью настоящей работы явилось изучение внутривидового разнообразия колиформных бактерий, представленных в микробных сообществах биопленок жидкой фракции свиных НС, а также оценка влияния химических реагентов на состав микробных сообществ и некоторые свойства бактерий рода *Escherichia*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования явились колиформные бактерии, выделенные из биопленок, формирующихся на поверхности свиных НС. Для проведения исследований использовали свежие НС из цеха доразивания (влажность НС $99,5 \pm 0,1\%$). В качестве реагентов для обработки НС применяли растворы серной кислоты (H_2SO_4) и щелочного гипохлорита натрия ($NaOCl$). НС помещали в бутылки из PET пластика, вносили добавки реагентов и укрепляли на горловинах бутылей специальные пакеты из FEP пленки для сбора выделяющихся газов (объем бутылей – 5 л, объем НС – 4 л).

Варианты эксперимента: 1 – контроль (НС без добавок, pH = 6,9); 2 – НС с добавкой H_2SO_4 (опыт 1); 3 – НС с добавкой $NaOCl$ (опыт 2).

Раствор H_2SO_4 (10%) добавляли в НС до pH $5,5 \pm 0,1$; щелочной раствор $NaOCl$ (pH $11,5 \pm 0,1$; содержание активного хлора – 5%) вносили в НС в количестве 12,5 мг активного хлора на 1,0 л НС. Количество реагентов определяли исходя из следующих требований: уровень подкисления не должен вызывать коррозию оборудования и ухудшать свойства ППЖ как удобрения, т. е. pH подкисленных НС не должен быть ниже 5,0. Добавка $NaOCl$ должна обеспечивать заметный бактерицидный эффект, но не приводить к чрезмерному увеличению расходов животноводческого предприятия на приобретение реагента. Содержание реагентов в НС не должно представлять опасности для окружающей среды.

На протяжении всего эксперимента (14 суток) бутылки с НС находились в затемненном помещении при температуре $22 \pm 1^\circ C$. В конце эксперимента определяли микробиологический состав поверхностных биопленок, общий объем выделившихся газов (откачивание газа производили шприцем Жанэ) и интенсивность запаха.

Для органолептической оценки запаха привлекали группу экспертов из 5 человек. Интенсивность запаха оценивали в баллах по шкале от 0 (запах отсутствует) до 5 (очень сильный неприятный запах).

Образцы биопленок отбирали с поверхности НС в стерильные емкости с соблюдением правил асептики и антисептики и транспортировали в микробиологическую лабораторию для идентификации и подсчета количества МО. Из исследуемого материала готовили ряд серийных разведений с применением стерильного физиологического раствора, посев осуществляли в питательную среду Эндо, инкубировали при 37°C в течение 24 часов. Изучали колонии, характерные для бактерий рода *Escherichia*. Морфологические особенности клеток определяли при микроскопии фиксированных препаратов, окрашенных методом Грама. Идентификацию проводили с помощью набора ЭНТЕРОтест 24 (Erba Lachema, Чехия), предназначенного для биохимической дифференциации.

Все исследования проводили в трёхкратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов выполняли стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполненных микробиологических исследований было установлено, что общее количество МО в биопленках нативных НС (контроль) в конце эксперимента составило $(6,6 \pm 1,2) \cdot 10^7$ КОЕ/мл. Микро-биоценоз НС в основном был представлен облигатными (93,2%) и факультативными анаэробами (6,4%). Среди облигатно-анаэробных МО преобладали бактерии родов *Clostridium* (97,7%) и *Bacteroides* (1,14%). Факультативные анаэробы включали *Escherichia coli* (94,9%), *Klebsiella* sp. (2,14%), *Proteus* ssp. (1,43%), *Staphylococcus epidermidis* (1,41%) и др.

E. coli были обнаружены в количестве $(4,0 \pm 0,9) \cdot 10^6$ КОЕ/мл, при этом спектр представителей бактерий рода *Escherichia* в НС по видовому составу был крайне разнообразен и включал как распространенные (*E. coli*), так и редкие формы бактерий (*E. fergusonii*, *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. blattae* (*Shimwellia blattae*), *E. vulneris*). По морфологическим характеристикам перечисленные виды бактерий идентичны между собой и представляют палочки, не образующие спор и капсул, имеющие жгутики по всей поверхности тела клеток. При проведении биохимических исследований обнаружена различная протеолитическая и сахаролитическая активность бактерий рода *Escherichia* (табл. 1).

Таблица 1. Дифференциация бактерий рода *Escherichia* по биохимическим свойствам

Table 1. Differentiation of bacteria of the genus *Escherichia* according to biochemical properties

Тест / субстрат Test / substrate	<i>Escherichia</i>				
	<i>coli</i>	<i>hermannii</i>	<i>vulneris</i>	<i>fergusonii</i>	<i>blattae</i>
Образование индола Formation of indole	±	+	-	+	-
Орнитин / Ornithine	±	+	-	+	+
Сахароза / Sucrose	±	±	-	-	-
Дульцит / Dulcitol	±	+	-	+	-
Адонит / Adonite	±	-	-	+	-
Сорбит / Sorbitol	±	-	-	-	-
Малонат натрия Sodium malonate	-	-	±	±	+
Целлобиоза Cellobiose	-	+	+	+	-
Желтый пигмент Yellow pigment	-	+	±	-	-

Примечание: «+» – характерно, «-» – не характерно, «±» – переменный признак

Note: «+» – is characteristic, «-» – is not characteristic, «±» – is a variable sign

Согласно результатам эксперимента, наиболее биохимически активными оказались *E. coli*, *E. hermannii*, *E. fergusonii*, менее активными *E. vulneris* и *E. blattae*. Полученные в настоящей работе данные хорошо согласуются с опубликованными результатами других исследований [12].

В ходе исследований было обнаружено, что бактерии рода *Escherichia* в биопленках НС способны образовывать межвидовые микробные ассоциации, а также ассоциации с *Proteus vulgaris* и *Rhodotorula glutinis*. Бактерии рода *Proteus*, также, как и род *Escherichia* входит в семейство *Enterobacteriaceae*. *Proteus vulgaris* является обычным представителем микробиоты кишечника многих животных. Эти МО способны выживать в навозе, почве и водной среде. *Proteus vulgaris* относится к патогенным МО, в связи с этим повышение его жизнеспособности в составе микробных сообществ биопленок является нежелательным.

Анаэробные дрожжи *Rhodotorula glutinis*, в отличие от *Proteus vulgaris*, попадают в НЖ не из кишечника, а из внешней среды (например, в составе корма). Требования к условиям обитания у энтеробактерий и дрожжей существенно различаются и, тем не менее, между этими МО в поверхностных биопленках формируются консортивные связи. Возможность установления соответствующих связей между *E. coli* и некоторыми представителями дрожжей была показана во многих исследованиях [16; 17]. В настоящее время консорциумы *E. coli* и дрожжей находят широкое применение в биотехнологических процессах для производства ценных продуктов медицинского и промышленного назначения. В смешанных сообществах организмов реализуются такие возможности, как уменьшение метаболической нагрузки на отдельные виды, разделение клеток эукариот на компартменты, в которых локализуются отдельные биохимические процессы, комбинирование каталитических особеннос-

тей разных видов для оптимизации биохимических реакций и др. [18]. Следует отметить, что консортивные связи между *E. coli* и дрожжами способствуют увеличению количества последних в биопленках. Выявленный факт может найти практическое применение при разработке составов биопрепаратов для снижения запахового загрязнения атмосферного воздуха и воздуха в помещениях для содержания животных. Известно, что различные виды дрожжей способствуют уменьшению

эмиссии запахообразующих веществ из биогенных отходов, в том числе из свиного навоза [19].

В результате настоящих исследований статистически достоверно доказано участие в бактериальном консорциуме *Escherichia fergusonii*, *Escherichia coli inactive*, *Escherichia vulneris*. Данные, характеризующие количество различных видов рода *Escherichia* в монокультуре и в ассоциации с другими МО, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Ассоциации энтеробактерий рода *Escherichia**

Table 2. Associations of enterobacteria of the genus *Escherichia**

Микроорганизмы Microorganisms		Количество микроорганизмов, КОЕ/мл Number of microorganisms, CFM /ml	
		в монокультуре in monoculture	в ассоциации in association
<i>Escherichia</i>	<i>coli</i>	$(6,6 \pm 1,2) \cdot 10^7$	$(6,9 \pm 0,3) \cdot 10^7$
	<i>blattae</i>	$(4,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(8,2 \pm 0,3) \cdot 10^3$
	<i>coli inactive</i>	$(7,1 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(5,1 \pm 0,3) \cdot 10^5$
	<i>fergusonii</i>	$(6,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(6,2 \pm 0,3) \cdot 10^4$
	<i>hermannii</i>	$(5,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(5,3 \pm 0,5) \cdot 10^3$
	<i>vulneris</i>	$(7,1 \pm 0,3) \cdot 10^1$	$(6,1 \pm 0,3) \cdot 10^4$
<i>Proteus vulgaris</i>		$(6,2 \pm 0,3) \cdot 10^4$	$(7,2 \pm 0,4) \cdot 10^6$
<i>Rhodotorula glutinis</i>		$(5,3 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(7,1 \pm 0,3) \cdot 10^4$

Примечание: * Жирным шрифтом выделены микроорганизмы, достоверно ($P < 0,001$) отличающиеся от количества МО в монокультуре

Note: The microorganisms that differ significantly ($P < 0.001$) from the number of microorganisms in the monoculture are highlighted in bold

Различные микроорганизмы проявляют разную устойчивость к воздействию тех или иных приемов обезвреживания. Для бактерий рода *Escherichia* характерна высокая устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов [20]. Проведенные нами

исследования показали, что на численность бактерий рода *Escherichia* оказывают существенное влияние различные физико-химические факторы, среди которых изменение активной реакции среды и действие окислителей (табл. 3).

Таблица 3. Влияние химических реагентов на численность *E. coli*, *Proteus vulgaris*, *Rhodotorula glutinis*, образующих консорциумы в биопленках навозных стоков*

Table 3. Effect of chemical reagents on the abundance of *E. coli*, *Proteus vulgaris* and *Rhodotorula* forming consortia in biofilms of manure effluents*

Вариант эксперимента Experimental variant	Количество микроорганизмов в 1 мл, КОЕ/мл Quantity of microorganisms in 1 ml, CFM/ml			Объем выделив- шихся газов из 4-х л НС, мл Volume of released gases from 4 litres of ME, ml	Интенсив- ность запаха, баллы Intensity of odour, points
	<i>E. coli</i>	<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Rhodotorula glutinis</i>		
Контроль (НС без добавок) Control (ME without additives)	$(4,0 \pm 0,9) \cdot 10^6$	$(6,0 \pm 1,7) \cdot 10^4$	$(7,0 \pm 2,2) \cdot 10^4$	4925,0 $\pm$ 14,4	5
Опыт 1 (подкисление НС раствором H₂SO₄ до pH 5.5$\pm$0.1) Experiment 1 (acidification of ME with a solution of H ₂ SO ₄ to pH 5.5 $\pm$ 0.1)	$(7,0 \pm 0,9) \cdot 10^4$	$(7,0 \pm 1,4) \cdot 10^5$	$(9,0 \pm 1,5) \cdot 10^5$	3310,0$\pm$18,3	3
Опыт 2 (внесение в НС 12.5 мг/л активного хлора в форме раствора NaOCl) Experiment 2 (introduction of 12.5 mg/l of active chlorine into the ME in the form of solution NaOCl)	$(7,0 \pm 1,3) \cdot 10^4$	$(5,0 \pm 0,8) \cdot 10^4$	$(8,0 \pm 1,0) \cdot 10^5$	2836,7$\pm$18,6	2

Примечание: * Жирным шрифтом выделены варианты с добавками, достоверно ($P < 0,001$) отличающиеся от вариантов без добавок

Note: Variants with additives that differ significantly ($P < 0.001$) from variants without additives are highlighted in bold

Согласно приведенным в табл. 3 данным, *E. coli* оказалась весьма устойчивой к воздействию химических реагентов, однако подкисление до pH=5,5±0,1, а также добавка окислителя (щелочной раствор NaOCl) существенно снизило концентрацию этих бактерий (почти на 2 порядка). Можно предположить, что подкисление вызывает нарушение работы ферментативных систем бактериальных клеток, а внесение в НС NaOCl приводит к окислительному стрессу за счет накопления свободных радикалов в клеточных мембранах микроорганизмов. В ранее выполненных исследованиях было показано, что оба реагента оказывают существенное влияние на качественный и количественный состав микробиоты и могут найти применение для обработки НС с целью снижения эмиссии запахообразующих и токсичных веществ, в том числе H₂S и NH₃, в атмосферный воздух [21; 22]. *Proteus vulgaris* и *Rhodotorula glutinis* проявили высокую толерантность к воздействию реагентов. Численность этих МО при внесении в НС растворов H₂SO₄ и NaOCl не изменилась или несколько увеличилась.

E. coli принимают активное участие в аммонификации азотсодержащих органических соединений. Уменьшение количества этих бактерий в биопленках коррелирует со снижением объема выделившихся газов и интенсивностью неприятного запаха НС. В таблице 3 приведены данные, характеризующие общий объем газов, выделившихся за 14 дней из 4-х л НС в каждом варианте эксперимента.

В нативных НС объем выделившихся газов за время эксперимента был самым высоким (4925,0±14,4 мл), а интенсивность неприятного запаха оценивалась в 5 баллов. Подкисление НС позволило снизить выделение газообразных продуктов на 30 %, при этом интенсивность неприятного запаха уменьшилась до 3 баллов. При обработке НС раствором NaOCl образование газов снизилось на 40 %, а интенсивность неприятного запаха была оценена в 2 балла. Можно предположить, что основную роль в снижении интенсивности неприятного запаха играют входящие в состав биопленок дрожжи *Rhodotorula glutinis*, количество которых в опытных образцах НС увеличилось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе биопленок свиных НС преобладают облигатно-анаэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы родов *Clostridium*, *Bacteroides*, *Escherichia*. Кроме *E. coli* в составе формирующихся на поверхности НС биопленок, выявлен широкий спектр других видов этого рода. Наиболее биохимически активными оказались *E. coli*, *E. hermannii*, *E. fergusonii*, менее активными *E. vulniferis* и *E. blattae*.

E. coli проявляет значительную устойчивость к обработке НС растворами H₂SO₄ (до pH 5,5) и NaOCl (12,5 мг/л активного хлора). Внесение в НС реагентов в соответствующей дозировке способствует уменьшению численности, но не приводит к гибели *E. coli*.

Бактерии рода *Escherichia* в биопленках образуют консорциумы с дрожжами *Rhodotorula glutinis*, а также с факультативными анаэробами *Proteus vulgaris*. Количество *Rhodotorula glutinis* и *Proteus vulgaris* при подкислении НС и внесении NaOCl увеличивается или не изменяется. Выявленный факт может найти практическое применение при разработке составов биопрепаратов для повышения эффективности обработки ППЖ методом компостирования.

Обработка НС растворами H₂SO₄ и NaOCl позволяет снизить общий объем выделяющихся газов на 30-40%, интенсивность неприятного запаха при этом уменьшается, что, вероятно, связано с увеличением численности дрожжей в поверхностных биопленках. Соответствующий эффект может быть использован для улучшения качества воздуха в помещениях при содержании животных и снижения затрат на вентиляцию.

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 № 1220401000325.

ACKNOWLEDGMENT

The study was supported by the framework of the state task of the Institute of Biology, 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 EGISU N 1220401000325.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилова Н.В., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю. Мультирезистентность бактерий к ветеринарным антибиотикам в образцах навоза и помета сельскохозяйственных животных // Ученые записки Казанского университета. 2016. N 4. С. 507–516.
2. Трифонова Т.А., Космачева А.Г., Чеснокова С.М. Влияние антибиотиков на целлюлозолитическую и нитрифицирующую активности серой лесной почвы // Юг России: экология, развитие. 2020. N 15(4). С. 52–62. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-52-62>
3. Kaper J.B., Nataro J.P., Mobley H.L.T. Pathogenic *Escherichia coli* // Nature reviews microbiology. 2004. T. 2. N 2. С. 123–140. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2005.06.008>
4. Литусов Н.В. Эшерихии. Екатеринбург: УГМА, 2016. 36 с.
5. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2000. T. 78. pp. 93–106. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00116-4)
6. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Ашихмина Т.Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. N 2. С. 26–34. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-026-034>
7. Mackie R.I., Stroot P.G., Varel V.H. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste // Journal of Animal Science. 1998. T. 76. С. 1331–1342. <https://doi.org/10.2527/1998.7651331x>
8. Пилип Л.В., Сырчина Н.В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков // Известия КГТУ. 2023. N 68. С. 46–54. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>
9. Popescu G.A., Daha I., Popescu C., Mitache E. *Staphylococcus aureus* and *Escherichia hermannii* in diabetes patient // Emerging Infectious Diseases. 2004. N 10(7). С. 1335–1337. <https://doi.org/10.3201/eid1007.030567>
10. Savini V., Catavittello C., Talia M., Manna A. et al. Multidrug-resistant *Escherichia fergusonii*: a case of acute cystitis // Clinical Microbiology. 2008. N 46(4). С. 1551–1552. <https://doi.org/10.1128/JCM.01210-07>
11. Leung J.M., Gallant C.V. Infections due to *Escherichia* and *Shigella* // Reference Module in Biomedical Sciences: Reference Module in Biomedical Sciences. 2014. N 6. С. 1–10. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.05090-X>

12. Частоедова Е.В., Колеватых Е.П. Веретация редких видов бактерий рода *Escherichia* на слизистых оболочках влагалища женщин репродуктивного возраста // Вятский медицинский вестник. 2017. N 1(53). С. 52–56.
13. Brenner K., Karig D.K., Weiss R., Arnold F.H. Engineered bidirectional communication mediates a consensus in a microbial biofilm consortium // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. T. 104. N 44. С. 17300–17304. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704256104>
14. Qingxin M., Yang W., Men M., Bello A., Xu X., Xu B., Deng L., Jiang X., Sheng S., Wu X., Han Y., Zhu H. Microbial community succession and response to environmental variables during cow manure and corn straw composting // *Frontiers in microbiology*. 2019. T. 10. С. 93–106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00529>
15. Wan J., Wang X., Yang T., Wei Z., Banerjee S., Friman V., Mei X., Xu Y., Shen Q. Livestock manure type affects microbial community composition and assembly during composting // *Frontiers in Microbiology*. 2021. T. 12. С. 93–106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.621126>
16. Zhou K., Qiao K., Edgar S., Stephanopoulos G. Distributing a metabolic pathway among a microbial consortium enhances production of natural products // *Nature biotechnology*. 2015. T. 33. N 4. С. 377–383. <https://doi.org/10.1038/nbt.3095>
17. Wang C., Liwei M., Park J.B., Jeong S.H., Wei G., Wang Y., Kim S.W. Microbial platform for terpenoid production: *Escherichia coli* and yeast // *Frontiers in microbiology*. 2018. T. 9. С. 2460–2472. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02460>
18. Shong J., Diaz M.R.J., Collins C.H. Towards synthetic microbial consortia for bioprocessing // *Current Opinion in Biotechnology*. 2012. T. 23. N 5. С. 798–802. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.02.001>
19. Kim B.N., Ahn J.Y., Song M.S., Kim H., Yu K., Kim S., Wee J., Kim Y., Min, J. Development of odorous gases reduction agents using recombinant yeast-derived extract // *Toxicology and Environmental Health Sciences*. 2019. T. 11. С. 271–277. <https://doi.org/10.1007/s13530-019-0420-6>
20. Терехов В.И., Сердюченко И.В. Бактерии рода *Escherichia* (Аналитический обзор) // Вестник ветеринарии. 2016. N 2(77). С. 35–42.
21. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Колеватых Е.П., Ашихмина Т.Я., Кузнецов Д.А. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков // Поволжский экологический журнал. 2023. N 1. С. 107–116. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-107-116>
22. Пилип Л.В., Козвонин В.А., Сырчина Н.В., Колеватых Е.П., Ашихмина Т.Я. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики // Теоретическая и прикладная экология. 2020. N 3. С. 161–167. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167>
23. Danilova N.V., Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu. Multiresistance of bacteria to veterinary antibiotics in samples of manure and droppings of agricultural animals. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta* [Scientific notes of Kazan State University]. 2016, no. 4. pp. 507–516. (In Russian)
24. Trifonova T.A., Kosmacheva A.G., Chesnokova S.M. Effect of antibiotics on the cellulolytic and nitrification activity of gray forest soil. *South of Russia: ecology, development*, 2020, no. 15(4), pp. 52–62. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-52-62>
25. Kaper J.B., Nataro J.P., Mobley H.L.T. Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature reviews microbiology*, 2004, vol. 2, no. 2, pp. 123–140. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2005.06.008>
26. Litusov N.V. *Escherichia* [Escherichia]. Ekaterinburg, USMA, 2016, 36 p. (In Russian)
27. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, vol. 78, pp. 93–106. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00116-4)
28. Syrchina N.V., Pilip L.V., Ashikhmina T.Ya. Control of odor pollution of atmospheric air (review). *Theoretical and applied ecology*, 2022, no. 2. pp. 26–34. (In Russian) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-026-034>
29. Mackie R.I., Stroob P. G., Varel V. H. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *Journal of Animal Science*, 1998, vol. 76, pp. 1331–1342. <https://doi.org/10.2527/1998.7651331x>
30. Pilip L.V., Syrchina N.V. The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia. *KSTU News*, 2023, no. 68. pp. 46–54. (In Russian) <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>
31. Popescu G.A., Daba I., Popescu C., Mitache E. *Staphylococcus aureus* and *Escherichia hermanii* in diabetes patient. *Emerging Infectious Diseases*, 2004, no. 10(7), pp. 1335–1337. <https://doi.org/10.3201/eid1007.030567>
32. Savini V., Catavittello C., Talia M., Manna A. et al. Multidrug-resistant *Escherichia fergusonii*: a case of acute cystitis. *Clinical Microbiology*, 2008, no. 46(4), pp. 1551–1552. <https://doi.org/10.1128/JCM.01210-07>
33. Leung J.M., Gallant C.V. Infections due to *Escherichia* and *Shigella*. *Reference Module in Biomedical Sciences: Reference Module in Biomedical Sciences*, 2014, no. 6, pp. 1–10 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.05090-X>
34. Chastodoeva E.V., Kolevatykh E.P. Vegetation rare species of bacteria of the genus *Escherichia* in the vaginal mucous membranes of reproductive age women. *Vyatskii meditsinskii vestnik* [Vyatka Medical Bulletin]. 2017, no. 1(53). pp. 52–56. (In Russian)
35. Brenner K., Karig D.K., Weiss R., Arnold F.H. Engineered bidirectional communication mediates a consensus in a microbial biofilm consortium. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, vol. 104, no. 44, pp. 17300–17304. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704256104>
36. Qingxin M., Yang W., Men M., Bello A., Xu X., Xu B., Deng L., Jiang X., Sheng S., Wu X., Han Y., Zhu H. Microbial community succession and response to environmental variables during cow manure and corn straw composting. *Frontiers in microbiology*, 2019, vol. 10, pp. 93–106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00529>
37. Wan J., Wang X., Yang T., Wei Z., Banerjee S., Friman V., Mei X., Xu Y., Shen Q. Livestock manure type affects microbial community composition and assembly during composting. *Frontiers in Microbiology*, 2021, vol. 12, pp. 93–106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.621126>
38. Zhou K., Qiao K., Edgar S., Stephanopoulos G. Distributing a metabolic pathway among a microbial consortium enhances production of natural products. *Nature biotechnology*, 2015, vol. 33, no. 4, pp. 377–383. <https://doi.org/10.1038/nbt.3095>
39. Wang C., Liwei M., Park J.B., Jeong S.H., Wei G., Wang Y., Kim S.W. Microbial platform for terpenoid production: *Escherichia coli* and yeast. *Frontiers in microbiology*, 2018, vol. 9, pp. 2460–2472. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02460>
40. Shong J., Diaz M.R.J., Collins C.H. Towards synthetic microbial consortia for bioprocessing. *Current Opinion in Biotechnology*, 2012, vol. 23, no. 5, pp. 798–802. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.02.001>
41. Kim B.N., Ahn J.Y., Song M.S., Kim H., Yu K., Kim S., Wee J., Kim Y., Min, J. Development of odorous gases reduction agents using recombinant yeast-derived extract. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 2019, vol. 11, pp. 271–277. <https://doi.org/10.1007/s13530-019-0420-6>
42. Терехов В.И., Сердюченко И.В. Бактерии рода *Escherichia* (аналитический обзор). *Vestnik veterinarii* [Veterinary Bulletin]. 2016, no. 2(77), pp. 35–42. (In Russian)
43. Syrchina N.V., Pilip L.V., Kolevatykh E.P., Ashikhmina T.Ya., Kuznetsov D.A. Effect of sodium hypochlorite on the microbiota and odor of manure effluents. *Povolzhskiy journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 107–116. (In Russian) <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-107-116>

REFERENCES

1. Danilova N.V., Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu. Multiresistance of bacteria to veterinary antibiotics in samples of manure and droppings of agricultural animals. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta* [Scientific notes of Kazan State University]. 2016, no. 4. pp. 507–516. (In Russian)
2. Trifonova T.A., Kosmacheva A.G., Chesnokova S.M. Effect of antibiotics on the cellulolytic and nitrification activity of gray forest soil. *South of Russia: ecology, development*, 2020, no. 15(4), pp. 52–62. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-52-62>
3. Kaper J.B., Nataro J.P., Mobley H.L.T. Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature reviews microbiology*, 2004, vol. 2, no. 2, pp. 123–140. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2005.06.008>
4. Litusov N.V. *Escherichia* [Escherichia]. Ekaterinburg, USMA, 2016, 36 p. (In Russian)
5. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, vol. 78, pp. 93–106. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00116-4)

22. Pilip L.V., Kozvonin V.A., Syrchina N.V., Kolevatykh E.P., Ashikhmina T.Ya. Effects of acidifying manure effluent on its microbiological characteristics. *Theoretical and applied ecology*,

2020, no. 3, pp. 161–167. (In Russian)
<https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лариса В. Пилип отбирала образцы. Екатерина П. Колеватых проводила микробиологические исследования. Лариса В. Пилип и Надежда В. Сырчина проводили химические исследования. Лариса В. Пилип, Надежда В. Сырчина, Тамара Я. Ашихмина проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Larisa V. Pilip collected soil samples. Ekaterina P. Kolevatykh conducted microbiological studies. Larisa V. Pilip and Nadezhda V. Syrchina conducted chemical studies of the soil. Larisa V. Pilip, Nadezhda V. Syrchina and Tamara Ya. Ashikhmina analyzed the data and wrote the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest

ORCID

Лариса В. Пилип / Larisa V. Pilip <https://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

Надежда В. Сырчина / Nadezhda V. Syrchina <https://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Тамара Я. Ашихмина / Tamara Ya. Ashikhmina <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>

Екатерина П. Колеватых / Ekaterina P. Kolevatykh <https://orcid.org/0000-0001-6147-3555>

Оригинальная статья / Original article
УДК 619:616.9-036.22 УДК 578.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-126-132



Актуальность использования методов молекулярной эпидемиологии ВИЧ для характеристики территориальных эпидемий: Сахалинская область

Ирина П. Осипова¹, Алексей В. Тотменин¹, Павел Г. Берсенева², Елена Ю.Ильина²,
Елена А. Ломакина², Наталья М. Гашникова¹

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

²Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Сахалинский областной центр по профилактике и борьбе со СПИД», Южно-Сахалинск, Россия

Контактное лицо

Наталья М. Гашникова, кандидат биологических наук, ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора; 630559 Россия, Новосибирская область, Новосибирск, р/п Кольцово.
Тел. +79139405479
Email nmgashnikova@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Формат цитирования

Осипова И.П., Тотменин А.В., Берсенева П.Г., Ильина Е.Ю., Ломакина Е.А., Гашникова Н.М. Актуальность использования методов молекулярной эпидемиологии ВИЧ для характеристики территориальных эпидемий: Сахалинская область // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 126-132. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-126-132

Получена 30 июля 2023 г.
Прошла рецензирование 14 августа 2023 г.
Принята 21 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Исследовать молекулярно-эпидемиологические особенности территориального распространения ВИЧ-инфекции в Сахалинской области.

Материалы и методы. Выполнен комплексный анализ молекулярно-генетических характеристик ВИЧ-1 и клинико-эпидемиологических данных 64 ВИЧ-инфицированных жителей Сахалинской области. Нуклеотидные последовательности области гена *pol*, кодирующей протеазу, обратную транскриптазу и интегразу ВИЧ-1 получали секвенированием амплифицированных фрагментов вируса. Генотипирование, филогенетический и мутационный анализы проводили с использованием специализированных программных ресурсов.

Результаты. Среди исследованных ВИЧ-1 в 81,3 % случаев выявлены ВИЧ-1 субтипа А6, 58,4 % из них достоверно кластеризовались в группы близких ВИЧ, что указывает на развитие внутренних эпидемических сетей распространения инфекции. Дополнительно обнаружены ВИЧ-1 CRF63_02A6 и 06_srx по 4,7 % каждого варианта, субтипа В и В/Г по 3,1 %, субтипов С и А1 по 1,6 %. В группе МСМ выявлены ВИЧ-1 А6, варианты В/Г и субтип А1, близкий к средиземноморским ВИЧ из Греции и Кипра. Наивные пациенты в 10,8 % имели ВИЧ с мутацией K103N, в одном случае выделен ВИЧ с множественной лекарственной устойчивостью.

Заключение. Современная территориальная эпидемия ВИЧ-инфекции в Сахалинской области характеризуется наличием внутренних эпидемических сетей, регистрацией и распространением завозных ВИЧ. Ключевые группы населения с ВИЧ-инфекцией требуют особого внимания в связи с зарегистрированной передачей резистентных к АРТ вирусов. Изучение особенностей распространения ВИЧ-инфекции в отдельных регионах России важно для разработки эффективных мероприятий, направленных на прекращение передачи ВИЧ в стране.

Ключевые слова

ВИЧ-1, субтипы, филогенетический анализ, мутации лекарственной устойчивости.

The relevance of using methods of molecular epidemiology of HIV to characterize territorial epidemics: Sakhalin region, Russia

Irina P. Osipova¹, Alexei V. Totmenin¹, Pavel G. Bersenev², Elena Yu. Ilyina²,
Elena A. Lomakina² and Natalya M. Gashnikova¹

¹State Research Centre of Virology and Biotechnology, Vector, Koltsovo, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia

²Sakhalin Regional Centre for Prevention and Control of AIDS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Principal contact

Natalya M. Gashnikova, Ph.D., State Research Center of Virology and Biotechnology, Vector; Koltsovo, Novosibirsk, Novosibirskiy region, Russia 630559.

Tel. +79139405479

Email nmgashnikova@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

How to cite this article

Osipova I.P., Totmenin A.V., Bersenev P.G., Ilyina E.Yu., Lomakina E.A., Gashnikova N.M. The relevance of using methods of molecular epidemiology of HIV to characterize territorial epidemics: Sakhalin region, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 126-132. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-126-132

Received 30 July 2023

Revised 14 August 2023

Accepted 21 August 2023

Abstract

Aim. To investigate the molecular-epidemiological characteristics of the territorial distribution of HIV infection in the Sakhalin region.

Materials and Methods. A comprehensive analysis of molecular-genetic characteristics of HIV-1 and clinical-epidemiological data of 64 HIV-infected residents of the Sakhalin region was conducted. Nucleotide sequences of the pol gene region encoding protease, reverse transcriptase, and integrase of HIV-1 were obtained by sequencing amplified virus fragments. Genotyping, phylogenetic and mutational analyses were performed using specialized software resources.

Results. Among the HIV-1 cases studied, the HIV-1 subtype A6 was detected in 81.3 % of cases, with 58.4 % of them reliably clustering into closely related HIV groups, indicating the development of internal epidemic networks of infection transmission. Additionally, HIV-1 CRF63_02A6 and 06_cpx were detected in 4.7 % of cases each, subtype B and B/G in 3.1 %, subtypes C and A1 in 1.6 %. HIV-1 A6, B/G variants, and subtype A1 similar to Mediterranean HIV were detected in the MSM group. In 10.8 % of cases, treatment-naïve patients had HIV-1 with the K103N mutation, and in one case, multiple drug resistance was identified.

Conclusion. The contemporary territorial epidemic of HIV infection in the Sakhalin region is characterised by the presence of internal epidemic networks and the registration and spread of imported HIV. Key population groups with HIV infection require special attention due to the documented transmission of ART-resistant viruses. Studying the peculiarities of HIV infection spread in individual regions of Russia is important for the development of effective measures aimed at ending HIV transmission in the country.

Key Words

HIV-1, subtypes, phylogenetic analysis, drug resistance mutations.

ВВЕДЕНИЕ

Современные возможности изучения молекулярно-генетических характеристик циркулирующих вариантов вируса иммунодефицита человека первого типа (ВИЧ-1) в комплексе с классическим анализом эпидемии позволяет понять особенности распространения инфекции, вызванной данным вирусом, что является необходимым для разработки эффективных мероприятий, направленных на стабилизацию эпидемии и снижение бремени ВИЧ-инфекции как для отдельного человека, так и для общества в целом. Основной задачей молекулярно-эпидемиологического мониторинга за ВИЧ является контроль генетической изменчивости патогена, способной оказать влияние на эффективность применяемых и разрабатываемых средств диагностики и терапии ВИЧ-инфекции.

Социально-географические особенности регионов нашей страны еще на начальном этапе распространения ВИЧ определили различия в развитии территориальных эпидемий ВИЧ-инфекции. Сахалинская область занимает срединное положение по совокупным эпидемиологическим показателям среди дальневосточных субъектов и относится к территориям России с невысоким уровнем инфицированности. ВИЧ-инфекция в Сахалинской области впервые была зарегистрирована в 1993 году. Однако первые два десятилетия эпидемический процесс в области характеризовался умеренным ростом заболеваемости, ВИЧ распространялся преимущественно при незащищенных половых контактах (в среднем 70 % от числа лиц с установленным путем передачи). До 2013 года Сахалин оставался одним из немногих регионов страны, где существенно преобладал гетеросексуальный путь передачи инфекции. С 2014 по 2017 годы в области отмечается резкий подъем заболеваемости ВИЧ-инфекцией, связанный с распространением ВИЧ среди лиц, употребляющих внутривенные наркотики (ЛУИН): более чем в 55 % случаев причиной заражения ВИЧ являлось немедицинское парентеральное введение психотропных препаратов. С 2021 г. на Сахалине наметилось уменьшение доли лиц, заразившихся парентеральным наркотическим путем, в 2022 году этот показатель снизился до 49 %.

ВИЧ-инфекция в Сахалинской области зарегистрирована среди населения всех муниципальных образований. С 2018 года по настоящее время наблюдается снижение показателя заболеваемости, который в 2022 году составил 34,3 на 100 тысяч населения, что на 4,3 % ниже показателя 2021 года (35,8). В гендерной структуре вновь выявленных ВИЧ-инфицированных устойчиво преобладают мужчины, их доля в 2022 году составила 64,5 %. Самым поражаемым возрастом в 2022 году, как и в последние пять лет, является возраст 30-39 лет. Вовлечение старших возрастных групп связано с активным распространением ВИЧ среди основного населения, практикующего незащищенные гетеро и гомосексуальные контакты. Выявление ВИЧ в этой группе, очевидно, также связано и с пропусками клинических показаний для обследования на ВИЧ на поликлиническом этапе, на этапе госпитализации в стационар у пациентов в прошлом. Наибольшая доля среди выявленных ВИЧ-инфицированных в 2020-х годах приходится на работающих граждан, с преимущественным вовлечением лиц рабочих профессий. Пораженность ВИЧ-инфекцией ЛУИН Сахалинской области в 2021 году, обратившихся за амбулаторной наркологической помощью, составила

5,5 % [1]. На 01.07.2023 г. на диспансерном учете ЦСПИД состоит 1494 жителей области с ВИЧ-инфекцией, в 2022 году диагноз ВИЧ-инфекции впервые установлен 145 жителям Сахалинской области, 11 жителям других субъектов РФ и 21 иностранному гражданину.

Приведенные факты свидетельствуют о высоком уровне миграционных процессов и указывают на необходимость оценки их влияния на распространение ВИЧ в регионе. Существующая генотипическая классификация и специфика распространения ВИЧ на отдельных территориях мира при использовании современных специализированных программных ресурсов позволяют изучить молекулярно-генетические характеристики ВИЧ, определить их происхождение и филогенетические отношения [2; 3].

А.С. Тумановым с соавторами был выполнен анализ 53 вариантов ВИЧ, выделенных на Сахалине в 2013 году, на тот момент в ГБУЗ «Сахалинский областной центр по профилактике и борьбе со СПИДом» был зарегистрирован 501 ВИЧ-инфицированный пациент [4]. Целью настоящей работы являлся молекулярно-эпидемиологический анализ распространения ВИЧ-инфекции в Сахалинской области, изучение актуальных циркулирующих штаммов ВИЧ и современных тенденций развития эпидемического процесса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование было включено 64 жителя Сахалинской области с диагностированной ВИЧ-инфекцией. Сбор клинических образцов плазмы периферической крови продолжался в период с декабря 2022 г. по март 2023 г. в Сахалинском областном центре по профилактике и борьбе со СПИД. Образцы крови были связаны с демографическими и клиническими данными через закодированные идентификационные номера в соответствии с требованиями этических норм России. Клинический материал использовали для исследования после получения информированного согласия пациентов. Клинико-демографические данные пациентов включали их пол, возраст, наиболее вероятный путь инфицирования, даты первого положительного теста на ВИЧ, наличие практик рискованного поведения в отношении заражения ВИЧ (употребление наркотиков, незащищенные сексуальные контакты), показатель концентрации РНК ВИЧ в плазме крови (вирусную нагрузку, ВН) и количество клеток CD4, наличие АРТ и схемы применяемых антиретровирусных препаратов.

Суммарную вирусную РНК выделяли из 100 мкл плазмы с помощью набора «РИБО-золь-С» («АмплиСенс», Россия) в соответствии с рекомендациями производителя. Для реакции обратной транскрипции и амплификации использовали готовый лиофилизированный мастер микс, содержащий все компоненты для обратной транскрипции и ПЦР (Вектор-Бест, Россия) и разработанный лабораторный набор праймеров. Для каждого образца были получены фрагменты гена *pol* ВИЧ-1, кодирующие область протеазы-обратной транскриптазы (PR-RT, 1400 нт) и интегразы (IN, 960 нт) вируса. Определение нуклеотидной последовательности ВИЧ-1 проводили на автоматическом секвенаторе 3130xl (AppliedBiosystems, США). Все расшифрованные фрагменты ВИЧ-1 собирали в целые последовательности в программном обеспечении Sequencher 4.1 (GeneCodesCorporation, Ann Arbor, MI). Собранные последовательности фрагментов *pol* (PR-RT и IN) сравнивали с соответствующими эталонными последова-

тельными различными подтипов и рекомбинантных форм ВИЧ-1 из международной базы данных Los Alamos National Laboratory HIV Sequence Database [2] с использованием программного обеспечения MEGA11 [5].

Для исследуемых последовательностей был проведен филогенетический анализ методом максимального правдоподобия с использованием IQTree v1.6.12. [6] с бутстрепом 1000 повторов на основе модели замещения GTR+I+G. Статистическую значимость топологии филогенетического дерева оценивали с помощью анализа бутстрепов.

Анализ наличия мутаций, связанных с развитием лекарственной устойчивости ВИЧ-1, выполняли с использованием Stanford HIV Drug Resistance Database (HIVdb Program) [7]. Применяли классификацию мутаций в соответствии со списком мутаций ВОЗ [8]. Развитие резистентности ВИЧ оценивали с учетом применяемой пациентом схемы АРТ и данных о его приверженности к лечению.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период с ноября 2022 по апрель 2023 гг. было собрано 72 образца плазмы крови ВИЧ-инфицированных лиц Сахалинской области с впервые диагностированной в 2022–2023 гг. ВИЧ-инфекцией (62,5 %) и пациентов, обратившихся в Центр в плановом порядке (37,5 %). Вирусная нагрузка в образцах составляла от 126 до 195000 копий РНК/мл. Для 64 пациентов были успешно получены вирусные фрагменты. Таким образом, в исследование циркулирующих ВИЧ были включены 64 жителя области, из них – 43 мужчины (67,2 %) и 21 женщина (32,8 %). Среди мужчин, вовлеченных в исследование, 23 человека сообщили о потреблении инъекционных наркотиков (ЛУИН, 53,5 %), 15 было инфицировано при гетеросексуальных контактах (ГС, 34,9 %), 5 мужчин – при гомосексуальных контактах (МСМ, 11,6 %). Большинство женщин были инфицированы ВИЧ, практикуя незащищенные ГС контакты (71,4 %), 23,8 % были ПИН, в одном случае был передан ВИЧ вертикально, от матери (4,8 %).

Филогенетический анализ ВИЧ-1, выделенных от инфицированных лиц Сахалинской области, в 81,3% случаев выявил ВИЧ-1 субтипа А6 (рис. 1). При этом 37,5 % данных вирусов достоверно кластеризовались в две филогенетические группы близких ВИЧ. На рисунке 1 данные кластеры выделены желтым (кластер 1) и голубым (кластер 2) цветом. Первый кластер объединил 16 лиц, включенных в исследование (25 %), с диагностированным ВИЧ в 2018–2023 гг., из них 13 мужчин и 3 женщины. 8 мужчин являлись ЛУИН, 5 были инфицированы ГС, 3 женщины, входящие в данную группу, также инфицированы при ГС контактах. Все лица являлись жителями Южно-Сахалинска или близлежащих населенных пунктов. Дополнительно кластер 1 включал 20 последовательностей ВИЧ, выделенных ранее у жителей Сахалина, инфицированных с 2013 по 2021 гг., депонированных в международную базу данных.

Второй кластер, отмеченный голубым, объединил 8 из изученных нами ВИЧ и 6 вирусов из GenBank, выделенных в 2015–2021 гг. Среди 8 лиц исследуемой выборки 7 являлись ЛУИН, один мужчина сообщил о ГС инфицировании.

Так как при проведении филогенетического анализа были использованы все доступные в GenBank последовательности ВИЧ, был идентифицирован еще один кластер генетически близких ВИЧ, выделенных от 14 жителей Сахалина (на рис. 1 выделен зеленым цветом). Данная группа включала лишь 1 пациента из исследованной нами выборки, это была женщина, ЛУИН, проживающая в с. Троицкое, с диагностированной ВИЧ-инфекцией в 2013 г.

Коэффициент поддержки каждой из описанных выше филогенетических ветвей составляет 100, что указывает на достоверное объединение всех образцов ВИЧ, циркулирующих на территориях, близких к Южно-Сахалинску.

В изученной выборке пациентов были инфицированные жители географически отдаленных территорий Сахалина. Вирусы, выделенные у трех из четырех пациентов, жителей города Оха (город расположен на противоположной стороне острова относительно столицы – Южно-Сахалинска), диагностированных в 2017–2018 гг., инфицированных при ГС контактах субтипом А6 ВИЧ, достоверно формировали отдельную ветвь филогенетического дерева (нижняя часть рисунка 1, образцы 46_23_SAKH, 47_23_SAKH, 48_23_SAKH). При этом ВИЧ субтипа А6, выделенный от четвертого жителя г. Оха с выявленной ВИЧ-инфекцией в 2023 году, сообщившем о практике незащищенных ГС, не группировался с описанными выше вирусами.

Вирусы субтипа А6 были также обнаружены среди мужчин, практикующих секс с мужчинами – образцы 31_SAKH и 43_23_SAKH. ВИЧ 31_SAKH А6 достоверно объединялся в отдельную группу с вирусами, выделенными в 2019 г. у жителя Хабаровска и в 2022 г. у двух жителей Биробиджана.

ВИЧ субтипа А6, выделенный у пациента 43_23_SAKH, практикующего гомосексуальные отношения, не имел статистически значимых связей с другими исследованными последовательностями ВИЧ, что указывает на существование разных путей заноса вирусов субтипа А6 на Сахалин.

Важно отметить, что даже при исследовании небольшой по численности случайной выборки ВИЧ-инфицированных жителей географически изолированной территории страны – острова Сахалин, большая часть инфицированных лиц (58,4 %) с учетом филогенетических связей, выделенных у них ВИЧ, распределяется по отдельным растущим цепочкам распространения ВИЧ-инфекции внутри региона. В данном исследовании показано, что такие группы в основном включают жителей Сахалина, практикующих употребление наркотиков, и их половых партнеров.

При включении в филогенетический анализ ранее депонированных в GenBank последовательностей ВИЧ, выделенных на территориях Дальнего Востока России, в Республике Саха мы также наблюдаем формирование различных филогенетических кластеров близких ВИЧ, объединяющихся по географическому принципу. На рисунке 1 приведен пример такого кластера ВИЧ (выделен розовым цветом), включающего образцы вирусов, выделенных от жителей Магаданской области. Исследования Котовой В.О. с соавторами выявляют аналогичные тенденции при молекулярно-генетических исследованиях ВИЧ на других территориях Восточной части России [9].

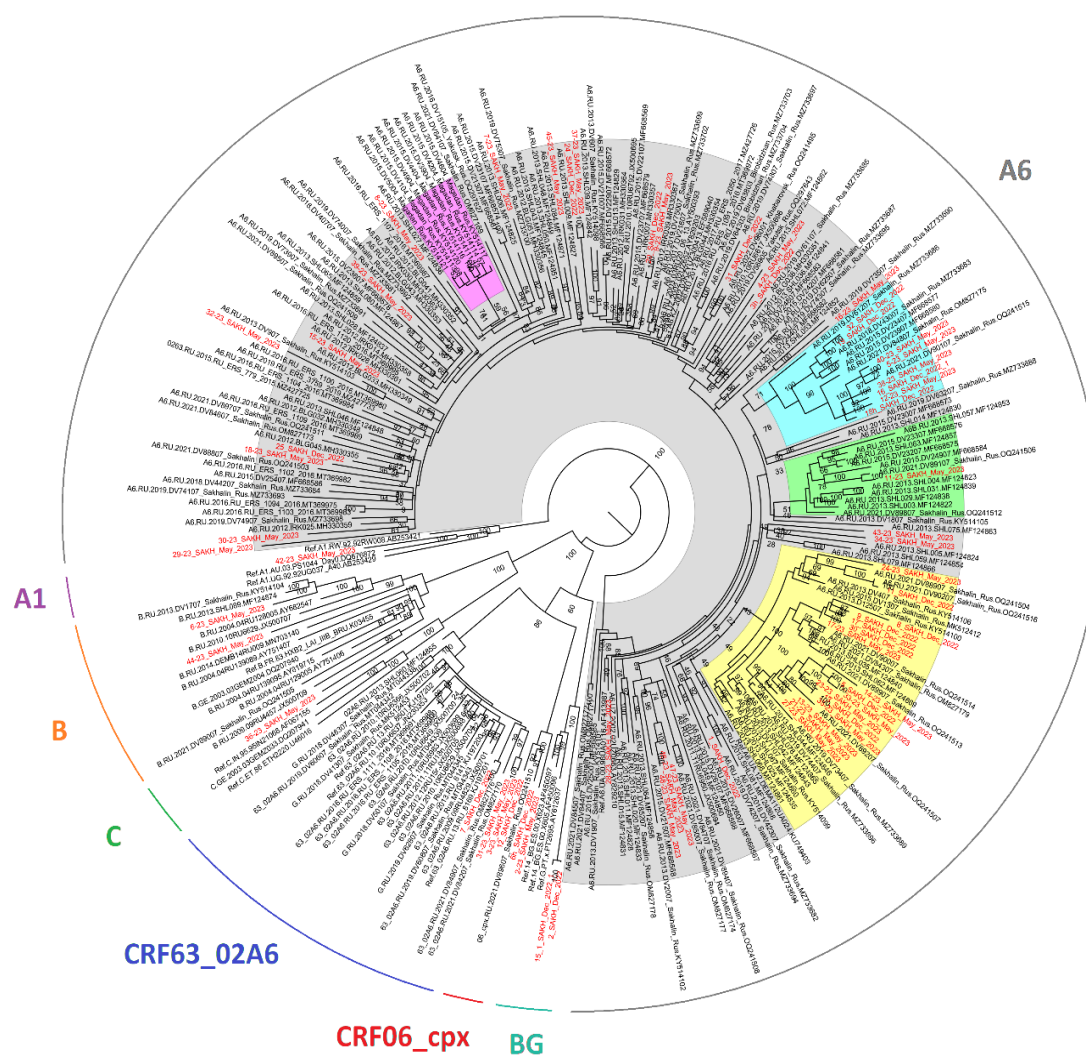


Рисунок 1. Филогенетическое дерево фрагмента гена Pol ВИЧ-1. Исследованные в работе ВИЧ-1, выделенные от жителей Сахалина, отмечены красным шрифтом. Цветом выделены филогенетические кластеры генетически близких ВИЧ

Figure 1. Phylogenetic tree of a fragment of the HIV-1 Pol gene. The HIV-1 strains investigated in this study, isolated from inhabitants of Sakhalin, are highlighted in red font. Phylogenetic clusters of genetically related HIV strains are indicated by colour

Обобщение и анализ эпидемических данных лиц, входящих в каждую из описанных при филогенетическом анализе групп, могут позволить разработать специфические программы профилактики распространения ВИЧ-инфекции на отдельных территориях в конкретных ключевых группах населения.

Среди оставшихся образцов изученных А6 ВИЧ, в основном выделенных от лиц, инфицированных ГС, не было выявлено больших кластеров вирусов, тем не менее многие из них формировали статистически достоверно связанные пары-тройки ВИЧ, выделенных от жителей Сахалина или ДФО.

Кроме ВИЧ субтипа А6 в трех случаях (4,7 %) были найдены ВИЧ-1 CRF63_02A6. Данный геновариант ВИЧ, характерный для Сибирских территорий России [10; 11], был найден у трех жителей Южно-Сахалинска с выявленной в 2021–2023 гг. ВИЧ-инфекцией, инфицированных при гетеросексуальных контактах (2) и при потреблении наркотических веществ внутривенно (1). ВИЧ субтипа В выявлен в двух случаях у мужчины и женщины, инфицированных ГС (3,1 %); по одному случаю зарегистрированы вирусы субтипов С (1,6 %; выделен у

ЛУИН) и А1 (1,6 %; выделен у МСМ). Если субтип С ВИЧ-1 встречается в ДФО среди ключевой группы ЛУИН и их половых партнеров [12], то регистрация субтипа А1 ВИЧ в ключевой группе МСМ описана впервые. Ближайшие родственники выделенного на Сахалине ВИЧ субтипа А1 (образец 42–23_SAKH) — средиземноморские штаммы ВИЧ из курортных территорий: Греции и Кипра. Рекомбинантные вирусы, отнесенные к группе В/Г ВИЧ, также были выявлены у мужчин, практикующих секс с мужчинами. Необходимо отметить, что среди МСМ выявлен не совсем обычный для данной ключевой группы спектр вирусов. В трех случаях у двух мужчин, ЛУИН, и женщины, указавших ГС путь заражения, выделены ВИЧ геноварианта. Эта CRF ранее выявлялась на Сахалине [13]. ВИЧ 06_crx из изученной в настоящей выборке вирусов образовали специфический Сахалинский кластер из 4-х вирусов с ранее выделенным от жителя Сахалина ВИЧ, что указывает на распространение ВИЧ 06_crx среди жителей Сахалина.

Выполненный в работе молекулярно-эпидемиологический анализ циркулирующих ВИЧ показал, что на протяжении десяти лет на Сахалине сохраняется

доминирование ВИЧ субтипа А6 на уровне 81 %, продолжается ограниченная циркуляция ВИЧ субтипа В и CRF63_02A1. До сих пор идет регистрация завозных геновариантов ВИЧ из других территорий России и мира, одни из которых начинают распространяться среди ключевых групп населения Сахалина (рекомбинантные вирусы В/Г в группе МСМ, CRF06_срх среди ЛУИН и их половых партнеров), другие, например, ВИЧ CRF11_срх, имеют более ограниченную циркуляцию, так как не были найдены в исследованной выборке вирусов.

Впервые для циркулирующих на Сахалине ВИЧ выполнена оценка распространения первично резистентных штаммов вируса. В изученной выборке наивные пациенты составили 54,7 %. В 10,8 % случаев в данной группе были найдены ВИЧ с основной мутацией K103N, вызывающей высокий уровень резистентности к EFV и NVP. Двое из этих лиц являлись ЛУИН, 1 – МСМ, 1 – работником коммерческого секса. У одного из ЛУИН с диагностированным заболеванием в 2022 г. ВИЧ содержал набор мутаций (L74V, M184V, K103N и G190S), определяющий высокую резистентность ВИЧ к ABC, FTC, 3TC, NVP, EFV и низкую – к RPV, DOR, ETR. Так как при оценке передаваемой резистентности было использовано лишь 35 образцов ВИЧ от наивных пациентов, некорректно считать этот показатель общим для региона в целом. Тем не менее, выявление резистентных и высокорезистентных ВИЧ среди лиц, практикующих рискованное поведение в отношении заражения ВИЧ, является фактором, способным оказать негативное влияние на развитие эпидемического процесса. Полученные в работе данные по распространению первично-резистентных ВИЧ на Сахалине соответствуют результатам масштабных современных исследований первичной резистентности ВИЧ, выполняемых в разных регионах России и ближнего зарубежья [14].

ВЫВОДЫ

Настоящая работа демонстрирует актуальность применения методов молекулярной эпидемиологии для характеристики территориальных эпидемий. Исследование позволило выявить территориальную кластеризацию ВИЧ, описать современный процесс эпидемии ВИЧ в Сахалинской области. Проведенный анализ филогенетических отношений в исследованной популяции ВИЧ субтипа А6, определяющих распространение ВИЧ-инфекции на Сахалине, позволяет заключить, что прирост новых случаев ВИЧ в этом регионе в основном происходит за счет развития внутренних эпидемических сетей инфекции, сформировавшихся в первое десятилетие 2000-х годов. Кроме того, регулярно регистрируются единичные случаи заноса и последующего распространения не характерных для Сахалина ВИЧ как с отдельных территорий России, так и из других стран мира. Регистрация завозных геновариантов ВИЧ и новых рекомбинантных вирусов подтверждают наличие практик рискованного поведения в отношении инфицирования ВИЧ среди населения области, что может являться негативным прогнозом дальнейшего развития эпидемии в регионе. Выполненный анализ передаваемой резистентности ВИЧ указывает на то, что ключевые группы населения требуют особого внимания в связи с зарегистрированной среди данных лиц передачей резистентных к АРВП вирусов. Изучение особенностей распространения ВИЧ-инфекции в отдельных регионах России важно для разработки эффективных мероприя-

тий, направленных на прекращение передачи ВИЧ в стране.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках выполнения Государственного задания ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

ACKNOWLEDGMENT

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ладная Н.Н., Покровский В.В., Соколова Е.В., Чекрыжова Д.Г., Киржанова В.В. Распространение инфекции, вызываемой вирусом иммунного дефицита человека, на территориях Российской Федерации в 2021 г // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2022. Т. 12. N 3. С. 12–18. DOI: 10.18565/epidem.2022.12.3 12–8
2. Los Alamos National Laboratory HIV Sequence Database URL: <https://www.hiv.lanl.gov/content/sequence/HIV/mainpage.html> (дата обращения: 14.08.2023)
3. Bbosa N., Kaleebu P., Ssemwanga D. HIV subtype diversity worldwide // Current Opinion in HIV and AIDS. 2019. Т. 14. N 3. С. 153–160. DOI: 10.1097/COH.0000000000000534
4. Туманов А.С., Казеннова Е.В., Громов К.Б., Ломакина Е.А., Зозуля Е.Ю., Берсенева П.Г., Бобкова М.Р. Молекулярно-эпидемиологический анализ ВИЧ-инфекции в Сахалинской области // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2017. Т. 9. N 3. С. 113–120. <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2017-9-3-113-120>
5. Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11 // Molecular Biology and Evolution. 2021. V. 38. Iss. 7. P. 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
6. Nguyen L.T., Schmidt H.A., Von Haeseler A., Minh B.Q. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies // Molecular Biology and Evolution. 2015. V. 32. Iss. 1. P. 268–274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>
7. Tang M.W., Liu T.F., Shafer R.W. The HIVdb system for HIV-1 genotypic resistance interpretation // Intervirology. 2012. V. 55. Iss. 2. P. 98–101. <https://doi.org/10.1159/000331998>
8. Bennett D.E., Camacho R.J., Otelea D., Kuritzkes D.R., Fleury H., et al. Drug resistance mutations for surveillance of transmitted HIV-1 drug-resistance: 2009 update // PLoS One. 2009. V. 4. N 3. Article Id: e4724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004724>
9. Котова В.О., Троценко О.Е., Балахонцева Л.А., Базыкина Е.А., Янович О.А., Щириков Ю.В., Павлова М.Н., Шмакова Т.И. Молекулярно-эпидемиологическая характеристика вариантов ВИЧ-1, циркулирующих на территории Еврейской автономной области // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2018. Т. 10. N 4. С. 90–99. <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2018-10-4-90-99>
10. Baryshev P.B., Bogachev V.V., Gashnikova N.M. Genetic characterization of an isolate of HIV type 1 AG recombinant form circulating in Siberia, Russia // Archives of Virology. 2012. N 157. P. 2335–2341. DOI: 10.1007/s00705-012-1442-4
11. Sivay M.V., Maksimenko L.V., Osipova I.P., Nefedova A.A., Gashnikova M.P., Zyryanova D.P., Ekushov V.E., Totmenin A.V., Nalimova T.M., Ivlev V.V., Kapustin D.V., Pozdnyakova L.L., Skudarnov S.E., Ostapova T.S., Yashchenko S.V., Nazarova O.I., Chernov A.S., Ismailova T.N., Maksutov R.A., Gashnikova N.M. Spatiotemporal dynamics of HIV-1 CRF63_02A6 sub-epidemic // Frontiers in Microbiology. 2022. V. 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.946787>
12. Казеннова Е.В., Нешумаев Д.А., Рукавицын Д.В., и др. Молекулярно-эпидемиологический анализ эпидемии ВИЧ-инфекции в Благовещенске и Хабаровске (Дальний Восток России) // Вопросы вирусологии. 2014. Т. 59. N 4. С. 31–36.

13. Троценко О.Е., Корита Т.В., Сапега Е.Ю., Котова В.О., Балахонцева Л.А., Бутакова Л.В., Базыкина Е.А. Обзор научно-практических результатов деятельности Хабаровского НИИ эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора, полученных в 2022 году с использованием молекулярно-генетических технологий // Дальневосточный журнал инфекционной патологии. 2023. Т. 44. С. 5–11.
14. van de Klundert M.A.A., Antonova A., Di Teodoro G., Ceña Diez R., Chkhartishvili N., Heger E., Kuznetsova A., Lebedev A., Narayanan A., Ozhmegova E., et al. Molecular epidemiology of HIV-1 in Eastern Europe and Russia // *Viruses*. 2022. V. 14. Iss. 10. <https://doi.org/10.3390/v14102099>

REFERENCES

- Ladnaia N.N., Pokrovsky V.V., Sokolova E.V., Chekryzhova D.G., Kirzhanova V.V. Prevalence of human immune deficiency virus infection in the territories of the Russian Federation in 2021. *Epidemiology and infectious diseases*, 2022, vol. 12, no. 3, pp 12–18. (In Russian) DOI: 10.18565/epidem.2022.12.3.12–8
- Los Alamos National Laboratory HIV Sequence Database. URL: <https://www.hiv.lanl.gov/content/sequence/HIV/mainpage.html> (accessed 14.08.2023)
- Bbosa N., Kaleebu P., Ssemwanga D. HIV subtype diversity worldwide. *Current Opinion in HIV and AIDS*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 153–160. DOI: 10.1097/COH.0000000000000534
- Tumanov A.S., Kazennova E.V., Gromov K.B., Lomakina E.A., Zozulya E.Yu., Bersenev P.G., Bobkova M.R. The molecular epidemiological analysis of HIV infection in Sakhalin region. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*, 2017, vol. 9, no. 3, pp. 113–120. (In Russian) <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2017-9-3-113-120>
- Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 2021, vol. 38, iss. 7, pp. 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Nguyen L.T., Schmidt H.A., Von Haeseler A., Minh B.Q. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 2015, vol. 32, iss. 1, pp. 268–274. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu300>
- Tang M.W., Liu T.F., Shafer R.W. The HIVdb system for HIV-1 genotypic resistance interpretation. *Intervirology*, 2012, vol. 55, iss. 2, pp. 98–101. <https://doi.org/10.1159/000331998>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья М. Гашникова и Елена А. Ломакина составили концепцию исследования. Павел Г. Берсенеv и Елена Ю. Ильина собрали эпидемиологические данные и оказали помощь в сборе образцов. Ирина П. Осипова и Алексей В. Тотменин выполнили генотипирование ВИЧ, провели анализ эпидемиологических данных, выполнили филогенетический анализ. Наталья М. Гашникова руководила проектом и подготовила рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

- Bennett D.E., Camacho R.J., Otelea D., Kuritzkes D.R., Fleury H., et al. Drug resistance mutations for surveillance of transmitted HIV-1 drug-resistance: 2009 update. *PLoS One*, 2009, vol. 4, no. 3, article id: e4724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004724>
- Kotova V.O., Trotsenko O.E., Balakhontseva L.A., Bazykina E.A., Yanovich O.A., Schikanov Yu.V., Pavlova M.N., Shmakova T.I. Molecular-epidemiological characteristics of HIV-1 variants circulating in the Jewish autonomous region territory. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 90–99. (In Russian) <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2018-10-4-90-99>
- Baryshev P.B., Bogachev V.V., Gashnikova N.M. Genetic characterization of an isolate of HIV type 1 AG recombinant form circulating in Siberia, Russia. *Archives of Virology*, 2012, vol. 157, pp. 2335–2341. DOI: 10.1007/s00705-012-1442-4
- Sivay M.V., Maksimenko L.V., Osipova I.P., Nefedova A.A., Gashnikova M.P., Zyryanova D.P., Ekushov V.E., Totmenin A.V., Nalimova T.M., Ivlev V.V., Kapustin D.V., Pozdnyakova L.L., Skudarnov S.E., Ostapova T.S., Yaschenko S.V., Nazarova O.I., Chernov A.S., Ismailova T.N., Maksutov R.A., Gashnikova N.M. Spatiotemporal dynamics of HIV-1 CRF63_02A6 sub-epidemic. *Frontiers in Microbiology*, 2022, vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.946787>
- Kazennova E.V., Neshumayev D.A., Rukavitsyn D.V., et al. Molecular epidemiological analysis of the HIV infection in the Blagoveshchensk and Khabarovsk Area (Russian Far East). *Voprosy virusologii [Virology issues]*. 2014, vol. 59, no. 4, pp. 31–36. (In Russian)
- Trotsenko O.E., Korita T.V., Sapega E.Yu., Kotova V.O., Balakhontseva L.A., Butakova L.V., Bazykina E.A. Review of science-to-practice activity of the Khabarovsk research institute of epidemiology and microbiology of the Federal service for surveillance on consumers rights protection and human wellbeing including molecular-genetic research obtained during year 2022. *Dal'nevostochnyi zhurnal infektsionnoi patologii [Far Eastern Journal of Infectious Pathology]*. 2023, vol. 44, pp. 5–11. (In Russian)
- van de Klundert M.A.A., Antonova A., Di Teodoro G., Ceña Diez R., Chkhartishvili N., Heger E., Kuznetsova A., Lebedev A., Narayanan A., Ozhmegova E., et al. Molecular Epidemiology of HIV-1 in Eastern Europe and Russia. *Viruses*, 2022, vol. 14, iss. 10. <https://doi.org/10.3390/v14102099>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Natalya M. Gashnikova and Elena A. Lomakina drafted the study concept. Pavel G. Bersenev and Elena Yu. Ilyina collected epidemiological data and assisted with sample collection. Irina P. Osipova and Alexei V. Totmenin performed HIV genotyping, analysed epidemiological data and performed phylogenetic analyses. Natalya M. Gashnikova supervised the project and prepared the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ирина П. Осипова / Irina P. Osipova <https://orcid.org/0000-0002-1507-485X>
 Алексей В. Тотменин / Alexei V. Totmenin <https://orcid.org/0000-0002-7418-4872>
 Павел Г. Берсенеv / Pavel G. Bersenev <https://orcid.org/0009-0006-6956-3954>
 Елена Ю.Ильина / Elena Yu. Ilyina <https://orcid.org/0009-0009-2260-217X>
 Елена А. Ломакина / Elena A. Lomakina <https://orcid.org/0009-0005-4783-2669>
 Наталья М. Гашникова / Natalya M. Gashnikova <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Оригинальная статья / Original article

УДК 574.58

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-133-143



Микропластон искусственных полимеров в р. Миасс и оз. Тургояк (Южный Урал, Российская Федерация) на ранних стадиях колонизации

Филипп В. Сапожников¹, Ольга Ю. Калинина², Сергей В. Востоков¹¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия**Контактное лицо**

Филипп В. Сапожников, кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник, лаборатория экологии прибрежных донных сообществ, Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук; 117997 Россия, г. Москва, Нахимовский пр-т, 36.

Тел. +79168509816

Email fil_aralsky@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-3239-6543>**Формат цитирования**

Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю., Востоков С.В. Микропластон искусственных полимеров в р. Миасс и оз. Тургояк (Южный Урал, Российская Федерация) на ранних стадиях колонизации // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 133-143. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-133-143

Получена 7 августа 2023 г.

Прошла рецензирование 17 августа 2023 г.

Принята 21 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Выявить состав и особенности пространственной структуры микрообрастания (микропластона) на ранних стадиях колонизации поверхностей искусственных полимерных плёнок (ПЭВД) в природных местообитаниях р. Миасс и оз. Тургояк (Южный Урал). Ранние стадии микрообрастания полимеров создают основы для дальнейшего усложнения его пространственной мозаики с учётом микроландшафта поверхности и создаваемых им возможностей расположения компонентов сообщества.

Материалы и методы. Фрагменты полимерных плёнок (ПЭВД) хозяйственно-бытового назначения были собраны на мелководьях р. Миасс и оз. Тургояк в июне 2023 года. Отбирали образцы, экспонировавшиеся в природных водоёмах не менее нескольких месяцев. Анализ состава, структуры и пространственной организации сообществ микропластона проводили методами световой и СЭМ-микроскопии.

Результаты. Микропластон на ранних стадиях роста существенно различался для изученных местообитаний. В р. Миасс на ПЭВД-плёнках преобладали сидячие панцирные амёбы (*Granofilosea: Microgromiidae*), в массе развивались прикреплённые диатомеи (*Bacillariophyta: Achnanthaceae, Coscconeidaceae*), встречались корковые зелёные микроводоросли (*Chlorophyta, Charophyta*). В оз. Тургояк – выраженно доминировали корковые зелёные микроводоросли, массово обитали иные диатомеи (*Bacillariophyta: Rhopalodiaceae, Coscconeidaceae*), а также трихомные и коккоидные формы цианопрокариот (*Cyanobacteria: Pseudanabaenaceae, Rivulariaceae, Chamaesiphonaceae, Microcystaceae*). Колонизация плёнок отдельными видами различалась для местообитаний, а также зависела от микрорельефа поверхности.

Заключение. Анализ микропластона ПЭВД-плёнок в гидрологически различных местообитаниях продемонстрировал особенности ранней колонизации этих субстратов, биотопоспецифичность видовой и пространственной структуры сообществ, а также организацию колониальных поселений для ряда видов.

Ключевые слова

Микропластон, искусственные полимеры, колонизация пластика, организация сообществ, Южный Урал.

Microplaston artificial polymers in the Miass River and Lake Turgoyak (Southern Urals, Russia) in the early stages of colonisation

Philipp V. Sapozhnikov¹, Olga Yu. Kalinina² and Sergey V. Vostokov¹

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Principal contact

Philipp V. Sapozhnikov, PhD in Biology, Leading Researcher, Laboratory of the Ecology of Coastal Benthic Communities, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; 36 Nakhimovsky Prospekt, Moscow, 117997 Russia. Tel. +79168509816

Email fil_aralsky@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3239-6543>

How to cite this article

Sapozhnikov Ph.V., Kalinina O.Y., Vostokov S.V. Microplaston artificial polymers in the Miass River and Lake Turgoyak (Southern Urals, Russia) in the early stages of colonisation. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 133-143. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-133-143

Received 7 August 2023

Revised 17 August 2023

Accepted 21 August 2023

Abstract

Aim. To identify the composition and features of the spatial structure of microfouling (microplaston) during the early stages of colonisation of the surfaces of artificial polymer films (LDPE) in the natural habitats of the Miass River and Lake Turgoyak (Southern Urals). The early stages of polymer microfouling which create the basis for further complexity of its spatial mosaic are considered, taking into account the surface microlandscape and the possibilities it creates for the location of community components.

Materials and Methods. Fragments of polymer films (LDPE) manufactured for household use were collected in the waters of the Miass River and Lake Turgoyak in June 2023. Samples were selected that were exposed in natural reservoirs for at least several months. Analysis of the composition, structure and spatial organization of microplastonic communities was carried out using light and SEM microscopy.

Results. The microplaston in the early stages of growth varied significantly among the habitats studied. On LDPE films from the Miass River they were dominated by sessile armored amoebae (Granofilosea: Microgromiidae), attached diatoms (Bacillariophyta: Achnantheaceae, Cocconeidaceae) developed as a mass and encrusting green microalgae (Chlorophyta, Charophyta) were also found. In Lake Turgoyak cortical green microalgae clearly dominated, together with other diatoms (Bacillariophyta: Rhopalodiaceae, Cocconeidaceae). Trichome and coccoid forms of cyanoprokaryotes (Cyanobacteria: Pseudanabaenaceae, Rivulariaceae, Chamaesiphonaceae, Microcystaceae) were also abundant. The colonisation of films by individual species varied among habitats and also depended on the surface microrelief.

Conclusion. Analysis of the microplaston of LDPE films in hydrologically different habitats demonstrated the features of early colonisation of these substrates, the biotope-specificity of the species and spatial structure of communities, as well as the organisation of colonial settlements of a number of species.

Key Words

Microplaston, artificial polymers, colonisation of plastic, community organization, Southern Urals.

ВВЕДЕНИЕ

Поверхности пластиковых субстратов, попадающих в природные водные биотопы, постепенно обрастают сообществами живых организмов. Первичная их колонизация происходит с участием бактерий, микроводорослей, протистов и других микроорганизмов [1; 2]. Биоплёнки, формирующиеся на самых разных искусственных полимерах (микропластон), отличаются по характеристикам от сообществ, населяющих твёрдые субстраты в тех же местообитаниях. На пластик способны переселяться из окружающего природного сообщества (планктона, бентоса, фитоперифитона, нейстона и т. д.) далеко не все виды, это сообщество образующие [3; 4].

Тем не менее, освоив пластик как среду обитания, немногочисленные виды микроорганизмов получают на нём существенно большие возможности для построения колонийальных поселений, колоний или же отдельных многоклеточных талломов, нежели на природных субстратах. Это объясняется отсутствием конкуренции за ресурсы пространства и связанных с его лимитом потоков иных ресурсов – по крайней мере, на ранних этапах колонизации полимерного субстрата. Сообщества, самоорганизующиеся на пластике с участием микроорганизмов, отличаются хорошим ростом и относительно быстро захватывают доступную площадь поверхности. При этом микроландшафт субстрата играет далеко не последнюю роль в процессах колонизации, т. к. разные микроорганизмы отличаются неодинаковыми предпочтениями к форме рельефа. Также важную роль в доступности синтетического полимера для колонизации играют и степень его окисленности (в процессе фотоокисления в природе), и неоднородность поверхности (как результат микроабразивных воздействий при экспозиции в дикой среде), и прозрачность самого субстрата для солнечных лучей, и гибкость материала, и, наконец, его токсичность, возникающая, в том числе, за счёт наличия красителей и пластификаторов [5].

Первичная биоплёнка служит субстратом для развития последующих стадий колонизации [6]. На всех стадиях роста микропластон может служить кормом для гидробионтов: брюхоногих моллюсков, олигохет, личинок насекомых и т. д. Изучение форм колонизации искусственных полимеров актуально с позиции их роли в экосистеме не только как самостоятельных сообществ нового типа, но и с точки зрения их участия в трофических сетях, формирующихся на пространствах водоёмов.

Долгое время низкая степень интереса к микропластону объяснялась тем, что специалисты из числа альгологов, микробиологов и протистологов рассматривали эти сообщества скорее, как «мусорный», чужеродный, априорно хаотический компонент водной экосистемы, в структуре которого трудно было бы выявить какие-то организованные процессы. Однако, с ростом степени пластикового загрязнения водоёмов, такие сообщества постепенно привлекают всё больший интерес. Водоёмы Южного Урала к настоящему времени практически не изучены в этом направлении. Настоящая работа отчасти закрывает этот пробел и посвящена анализу структуры и пространственной организации микропластона ПЭВД-плёнок бытового назначения (как широко распространённого в природе антропогенного мусора), обнаруженных летом 2023 года в реке Миасс и озере Тургояк.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследований в рамках настоящей работы послужили образцы прозрачных (бесцветных) плёнок ПЭВД хозяйственно-бытового назначения, широко используемых в качестве упаковочного материала. Все фрагменты плёнок были собраны в природных водных биотопах в июне 2023 года: 6 в оз. Тургояк, на каменистых мелководьях в районе пляжа Золотые пески, и 6 в реке Миасс, в черте г. Челябинска (Южный Урал, Российская Федерация). Озёрные локации представляли собой мелководные, не более 30 см глубиной, участки каменистого побережья с непериодическим воздействием сильного ветрового наката. Куски синтетических плёнок были локализованы между камнями. Речные локации, напротив, являлись прибрежными мелководными участками песчаного дна, с глубинами 30-50 см, при скорости течения не более 15–18 см/с, с разреженной водной растительностью, среди которой висели в воде куски полиэтилена.

Координаты местообитаний, из которых был взят материал, приведены в таблице 1. Плёнки экспонировались на мелководьях водоёмов уже продолжительное время, соответствующее нескольким месяцам, о чём свидетельствовало их лёгкое помутнение за счёт фотоокисления, а также сплошной испещрённости поверхностей следами микроабразивного воздействия, наличие извилистых складок и трещинок. Из каждого образца канцелярскими ножницами *in situ* вырезали фрагменты примерно прямоугольных очертаний со сторонами около 5 см, в двух повторностях.

Из них первую повторность фиксировали раствором этанола, помещали в ПЭТ-банке в тёмный контейнер, и после детально изучали методами световой и электронной микроскопии, а вторую просматривали с помощью световых микроскопов живьём, в ближайшие часы после отбора материала. При этом для микроскопирования от фрагментов образцов отрезали кусочки размером примерно 1х1 см, чтобы размещать их целиком под покровными стёклами на препаратах. Для каждого фрагмента были изучены по 5-8 кусочков. Удобной особенностью ПЭВД-плёнок является их прозрачность, позволяющая методами световой микроскопии изучать обе поверхности фрагмента, не переворачивая его на препарате.

Для повторностей, изучаемых живьём, проводили фотодокументирование микрообрастания на увеличениях $\times 200$ и $\times 400$, с целью запечатления характерных элементов пространственной организации микропластона. Для световой микроскопии и фотосъёмки использовали микроскопы Leica DMLS и Leica DM2500 (Leica, Germany), цифровые камеры Microscope Digital Camera M BASE Series (Levenhuk, China), Leica (встроенную камеру микроскопа Leica DM2500, Leica, Germany) и Canon PowerShot ELPH 330 HS (Canon, China). На фиксированных образцах идентифицировали видовую принадлежность микроорганизмов, используя увеличения $\times 400$ и $\times 1000$ (с помощью световых микроскопов ИОРАН) и $\times 1000$ - $\times 10000$ – для СЭМ (Scanning electron microscope Camscan-S2, Accelerating voltage 20 kV, SEI mode, MicroCapture software, ZEISS, Germany). Видовую принадлежность микрофитов и протистов идентифицировали с помощью современных информационных источников, в т. ч. интерактивных [7–10].

Таблица 1. Координаты и даты отбора образцов ПЭВД-плёнок с микропластом в р. Миасс и оз. Тургойак, Южный Урал, Российская Федерация**Table 1.** Coordinates and dates of sampling of LDPE films with microplaston in the Miass River and Lake Turgoyak, Southern Urals, Russia

Образец Sample	Водоём Water	Координаты Coordinates	Дата отбора Material selection date
T1	оз. Тургойак / Lake Turgoyak	55°11'00.77"C 60°04'51.89"B	21.06.2023
T2	оз. Тургойак / Lake Turgoyak	55°10'58.92"C 60°04'52.59"B	21.06.2023
T3	оз. Тургойак / Lake Turgoyak	55°10'56.09"C 60°04'39.46"B	21.06.2023
T4	оз. Тургойак / Lake Turgoyak	55°11'02.82"C 60°04'42.43"B	21.06.2023
T5	оз. Тургойак / Lake Turgoyak	55°10'59.56"C 60°04'33.43"B	21.06.2023
T6	оз. Тургойак / Lake Turgoyak	55°11'06.22"C 60°04'06.93"B	21.06.2023
M1	р. Миасс / Miass River	55°10'18.31"C 61°22'55.34"B	24.06.2023
M2	р. Миасс / Miass River	55°10'20.67"C 61°22'43.09"B	24.06.2023
M3	р. Миасс / Miass River	55°10'20.61"C 61°23'01.40"B	24.06.2023
M4	р. Миасс / Miass River	55°10'22.82"C 61°22'34.15"B	24.06.2023
M5	р. Миасс / Miass River	55°10'17.23"C 61°23'04.20"B	24.06.2023
M6	р. Миасс / Miass River	55°10'25.82"C 61°22'31.27"B	24.06.2023

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс обрастания прозрачных ПЭВД-плёнок хозяйственного значения микроорганизмами в природных водоёмах происходит не одновременно по всей их поверхности. Причин такой неоднородности в прохождении процессов колонизации много: одни участки одного и того же фрагмента плёнки находятся в складках, в условном затенении от действия текущей воды, другие более открыты для активного воздействия течения, некоторые освещены лучше других и быстрее подвергаются фотоокислению, на них по-разному воздействует нагрев солнечными лучами, они неодинаково трутся о камни на дне и т. д. В силу широкого комплекса абиотических причин, одни локусы поверхности колонизируются раньше, другие – позже. Это позволяет изучать микрообрастание пластика (микропластон) одновременно на разных стадиях колонизации, в т. ч. отслеживать последовательности построения колониальных поселений как разных экологических групп микроорганизмов, так и конкретных видов. То обстоятельство, что мы изучили фрагменты плёнок, отобранные в разных локациях одного и того же водоёма, позволило нам выявить общие последовательности колонизации ПЭВД-плёнок в оз. Тургойак и в р. Миасс (в черте г. Челябинска), а также характерные черты развития ряда видов и их комбинаций на водном пластике этого типа.

На фрагментах плёнок из р. Миасс колонизация поверхностей начиналась с развития распротёртых колониальных поселений панцирных амёб из группы микрогроиид (Granofilosea: Microgromiidae). Эти одноклеточные гетеротрофные протисты строят хитиновые домики, инкрустированные солями железа, прикрепляя их к твёрдому субстрату, и раскидывают вокруг тонкую сеть ловчих ризоподий. На изученных фрагментах они предпочитали заселять относительно ровные участки поверхности со слабой линейной абразией – протяжёнными и неглубокими царапинами. Среди них наибольшей численностью и наиболее равномерным распределением по субстрату характеризовались виды *Apogromia* spp. – с бурыми домиками в форме шляпок разных очертаний, с одним отверстием на вершине. Четыре вида *Apogromia* формировали на плёнках разреженные сети с разными характеристиками. Так, наиболее мелкий вид *Apogromia* sp. выстраивал сеть из толстостенных красно-бурых домиков каплевидной формы с ветвящимися краями, 7–8 мкм в поперечнике

(рис. 1 А) с дистанцией между ними в 20–25 домиков (примерно 160–170 мкм) – на ранних стадиях, и в 5–9 домиков (~50–55 мкм) – на более поздних этапах построения поселений. На терминальной стадии роста вид выстраивал изогнутые цепочки по 4–5 домиков в ряд. Более крупная *Apogromia flandriensis*, с ассиметричными жёлтыми домиками 10–12 мкм в поперечнике, формировала ранние поселения с дистанциями в 17–20 домиков (~200–210 мкм), и поздние – с расстояниями уже в 2–8 домиков (~25–80 мкм). Третий вид, встречавшийся существенно реже – *Apogromia tucicola* с округлыми жёлтыми домиками 12–15 мкм – изначально селился по субстрату с дистанциями в несколько сотен мкм, затем – за счёт деления отдельных особей – формировал цепочки с первичными дистанциями в 6–7 домиков (~80–90 мкм), а после заполнял участки между соседними домиками новыми особями.

Наконец, *Apogromia verbrugghei* с бурой каплевидной раковинкой чётких очертаний встречалась совсем редко, и дистанции между её домиками составляли более 1 мм. Следующим за ними колонизатором субстрата являлась микрогроида *Microsometes aculeata*, образующая уплотнённые бурые домики с несколькими отверстиями и покрывающая пластик более распротёртой сетью ризоподий. Домики этого вида имели размеры 12–15 мкм и расстояния между ними составляли 20–30 особей (~250–400 мкм). Уплотнения колониальных поселений этого вида не происходило. В свою очередь, *Ditrema mukraus*, обладающая довольно крупными жёлто-бурими домиками сложных очертаний (21–28 мкм), выстраивала довольно компактные поселения: при начальных дистанциях в 7–8 особей (~180–190 мкм), с постепенным заполнением пространства между ними новыми домиками. Последний вид микрогроиид – *Belaria bicorpor* с крупными двухкамерными домиками – встречалась единично. Таким образом, несколько представителей одной экологической группы выстраивали здесь на ПЭВД-плёнках систему перекрывающихся разреженных колониальных поселений, покрывая субстрат с разной степенью агрегированности.

Следом за панцирными амёбами поверхности колонизировали прикрепленные диатомеи из групп ахнантоидов и кокконеоидов (Bacillariophyta: Achnanthaceae, Coscineidaceae). Отметим, что для представителей родов *Planothidium* и *Cocconeis*, активно размножавшихся на плёнках, достаточно редко

отмечается передвижение клеток на большие расстояния. Наши наблюдения на изученном спектре образцов показали, что в составе их популяций есть примерно 2–3 клетки на тысячу, функция которых состоит в том, чтобы переползая из сформированного, распротёртого и достаточно многочисленного колониального поселения на новые, незаселённые видом участки, отстоящие на расстояния порядка нескольких миллиметров. Далее клетка прикрепляется к субстрату, делится и дочерняя особь смещается от неё на сравнительно небольшую дистанцию, специфичную для вида. Затем, посредством несколько последующих делений с отползанием клеток на примерно равные расстояния в разных направлениях, формируется первичная сеть колониального поселения. Дальнейшее деление клеток формирует разреженные цепочки первичной колонизации, параметры которых – плотность расположения клеток, их ориентация – также специфичны для вида. По мере увеличения числа особей в цепочках вырисовывается орнамент колониального

поселения, в развитом состоянии состоящий из примерно сходных в очертаниях групп клеток и извилистых просветов между ними.

На плёнках в р. Миасс были отмечены три вида *Cocconeis*. Среди них *Cocconeis placentula* var. *klinoraphis* встречался наиболее часто и строил слабо разветвлённые цепочки первичной колонизации. В их составе клетки длиной 19–22 мкм дистанцировались друг от друга на 3–4 особи (~60–80 мкм), а затем заполняли эти расстояния дочерними клетками, располагавшимися под разными углами (рис. 1 В). В свою очередь, *Cocconeis lineata* расселялся по плёнкам достаточно обширно и разреженно, образуя лишь сильно разрозненные группы из двух клеток длиной 25–27 мкм, разнесённых на дистанцию в 2–3 особи (~52–64 мкм). Более мелкий *Cocconeis pseudothumensis* (12–15 мкм) встречался либо поодиночке, либо компактными группами до 3–4 клеток, на 2–3 друг от друга (~30–40 мкм), под разными углами. На поздних стадиях роста был способен выстраивать компактные пятна до 15–18 клеток.

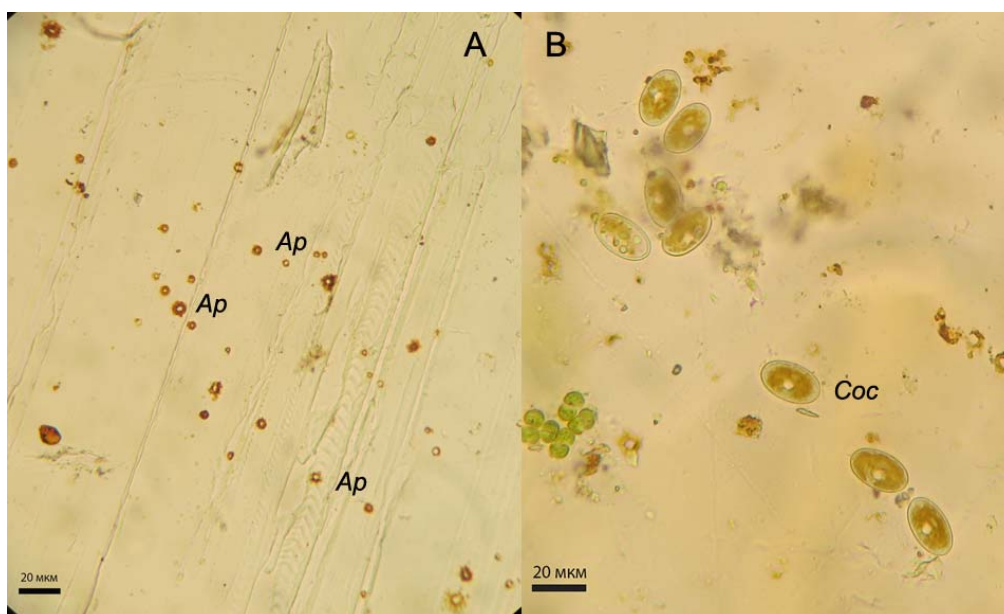


Рисунок 1. А – разреженное колониальное поселение микрогромиид *Apogromia* sp. (*Ap*) на относительно ровном участке поверхности ПЭВД-плёнки. В – цепочка первичной колонизации полимерного субстрата клетками *Cocconeis placentula* var. *klinoraphis* (*Coc*)

Figure 1. A – sparse colonial settlement of microgromiids *Apogromia* sp. (*Ap*) on a relatively flat area of the surface of LDPE film. B – chain of primary colonisation of the polymer substrate by cells of *Cocconeis placentula* var. *klinoraphis* (*Coc*)

Существенно более многочисленные, обширные и орнаментированные поселения формировали виды *Planothidium*. На открытых, относительно слабо исчерченных абразией пространствах поверхностей плёнок поселения (плоскостные пятна роста) разных видов этого рода различались очень отчётливо – уже по диапазонам размеров и очертаниям клеток. В составе одного поселения клетки различались по длине максимум на 1,5–2,5 мкм. Поэтому при вращении одного пятна в другое можно было отследить расположение особей разных видов. Для всех видов был характерен первичный захват территории сетью из клеток. Например, *Planothidium frequentissimum* был представлен двумя устойчивыми морфами клеток: с широко округлёнными концами (12–13 мкм) и с более приостренными и слегка головчато оттянутыми (15–16 мкм). Первая морфа образовывала разреженные зигзаговидные цепочки, за счёт деления клеток,

переходившие в сеть в виде треугольных ячеек со сторонами примерно в 5–5,5 клеток (~60–70 мкм). Затем, по мере деления клеток в «узлах» этой сети с их расползанием в разных направлениях на меньшие расстояния, вырисовывались относительно плотные цепочки первичной колонизации. Они располагались примерно округлыми завитками, с внутренним зазором шириной в 3–3,5 длин клетки (~36–44 мкм). На следующем этапе клетки начинали делиться с отползанием вбок, и формировали гроздьевидные структуры. Между ними оставались просветы шириной в 3–4 длины особей (рис. 2). Вторая морфа также начинала колонизацию с извилистых цепочек, затем выстраивала разреженную сеть из треугольных ячеек, с промежутками в 4,5–5 особей между «узлами», а заканчивалось построение поселения формированием рыхлых вторичных цепочек в форме завитков, с просветами на 2–3 длины клетки (~30–45 мкм).

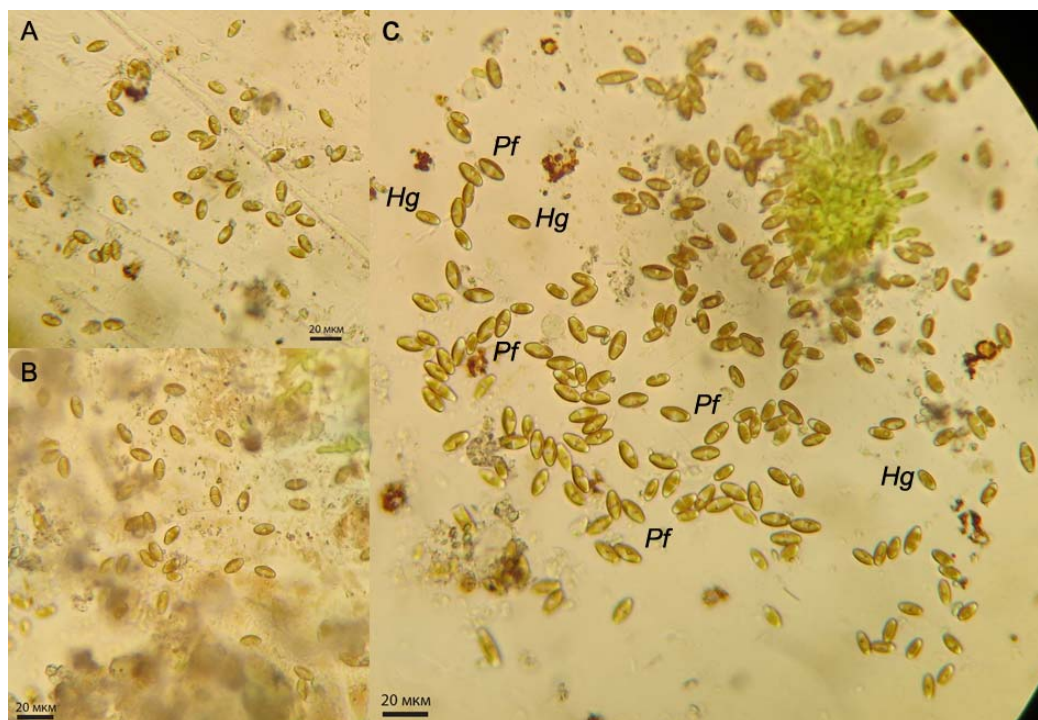


Рисунок 2. Средние (А, В) и поздняя (С) стадии формирования колониального поселения 1 морфы *Planothidium frequentissimum* (Pf). В развитом поселении присутствуют клетки *Humidophila cf. gallica* (Hg)
Figure 2. Middle (A, B) and late (C) stages of formation of colonial settlement 1 morph *Planothidium frequentissimum* (Pf). The developed population contains cells of *Humidophila cf. gallica* (Hg)

Похожие последовательности развития плоскостных структур продемонстрировали и два других вида этого рода. Для *Planothidium lanceolatum* было характерно дискретное развитие пятен из клеток с длинами 14,7–15,5 мкм и 17,6–18,5 мкм. Первая морфа выстраивала ветвящиеся первичные цепочки с промежутками на 2–3 особи (~30–45 мкм), вторая – на 3–4 особи (~54–75 мкм). На второй стадии пространства между «узлами» заполнялись клетками под разными углами, на третьей делящиеся клетки формировали вытянутые гроздьевидные контуры с просветами между ними в 1–1,5 длины клетки (рис. 3).

Наиболее мелкий, обладающий широкоэллиптическими клетками *Planothidium joursacense* (7–7,5 мкм) выстраивал разреженные первичные цепочки сразу в виде округлых или волнистых завитков, а затем заращивал клетками начальные промежутки (3,5–4 особи, или ~25–29 мкм) между «узлами», формируя широкие дорожки из плотных гроздьевидных структур (рис. 4).

Прикрепленные диатомеи *Lemnicola hungarica* (21–23 мкм) формировали рассеянные сети (рис. 5) на ровных, не подверженных абразии участках, *Gomphonema parvulum* (30–35 мкм) – напротив, небольшие компактные пучки в просветах линейных царапин, а *Humidophila cf. gallica* (14–15 мкм) встречались либо рассеянными клетками среди пятен *Planothidium* spp., либо образовывали небольшие лентовидные колонии в просветах царапин. Также на поверхности плёнок изредка встречались отдельные клетки различных видов *Nitzschia*, утратившие подвижность, и небольшие компактные колониальные поселения *Amphora inariensis* и *Encyonema minutum*, не отличавшиеся специфическими чертами мозаики.

Третьей стадией колонизации было появление на плёнках ветвящихся корковых талломов зелёных

водорослей, таких как *Protoderma frequens*, *Entocladia viridis* (рис. 6 А) и, изредка, *Phycopeltis epiphyton*, также предпочитавших заселять ровные участки поверхности. Следом за ними появлялись небольшие корковые слоевища жёлто-зелёной водоросли *Chlorellidiopsis separabilis*, а также небольшие группы коккоидных зелёных *Ignatius tetrasporus*, *Pseudocharacium acuminatum*. Интересно отметить, что планктонные *Ankistrodesmus* sp. и *Pseudopediastrum boryanum* вели на плёнках прикрепленный образ жизни. Цианобактериальный компонент обрастания был представлен только двумя видами: тонкотрихомной *Pseudanabaena galeata* и *Chamaesiphon* sp.

Скопление мелкодисперсного детрита происходило преимущественно в местах пересечения относительно широких абразивных борозд (царапин). Здесь же активно развивались распростёртые колонии гетеротрофных бактерий, а также небольшие колонии коккоидных железобактерий, подвижные голые амёбы (Naked Lobose Amoeboae: *Korotnevela stella*) и прикрепленные солнечники (Heliozoa) – последние две группы существ элиминировали избыток подвижных бактерий.

Картина формирования микрообрастания на ПЭВД-плёнках на каменистых мелководьях оз. Тургояк выглядела совершенно иначе. Отметим, что сами поверхности плёнок здесь были густо покрыты сетью мельчайших микроскладок, возникающих при длительной экспозиции ПЭВД на открытом солнечном свете под влиянием фотоокисления, перепадов температуры и частых перегибов плёнки за счёт гидродинамического воздействия. Также плёнки изобиловали протяжёнными извилистыми микротрещинами шириной до нескольких десятков микрон, тонкими прямыми складками, в которых особенно сильно

концентрировалось разнообразие микроскопических форм жизни, вмятинами механического характера, где скапливался детрит, и небольшими застывшими волнообразными изгибами. По вогнутым сторонам складок обильно развивались компактные и при этом весьма многочисленные колониальные поселения

диатомей *Encyonema minutum*, а также обильно разрастались куртинки цианобактерий *Calothrix* cf. *stagnalis*, *Pseudanabaena rosea* и *Leptolyngbya* sp. Здесь же часто встречались крупные прикреплённые клетки диатомей *Epithemia turgida*.

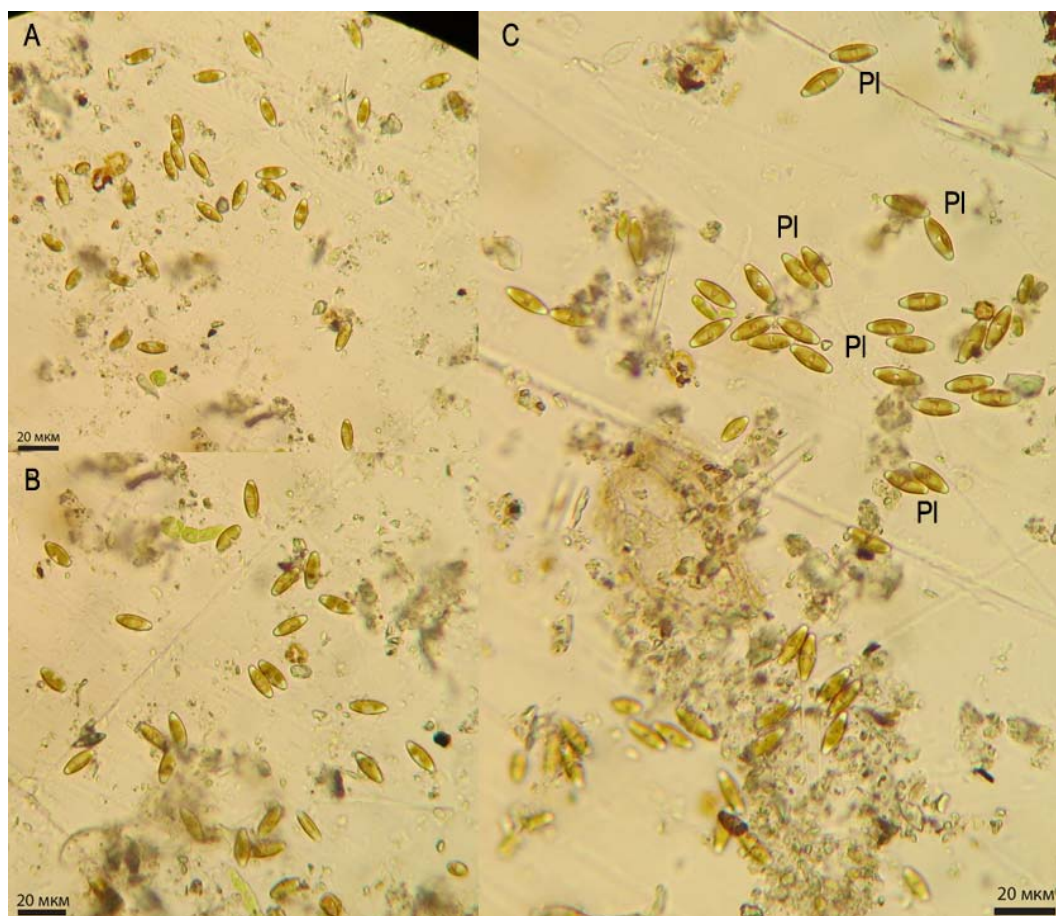


Рисунок 3. Средние (А, В) и поздняя (С) стадии развития колониального поселения 1 морфы *Planothidium lanceolatum* (Pl)

Figure 3. Middle (A, B) and late (C) stages of development of colonial settlement 1 morph *Planothidium lanceolatum* (Pl)

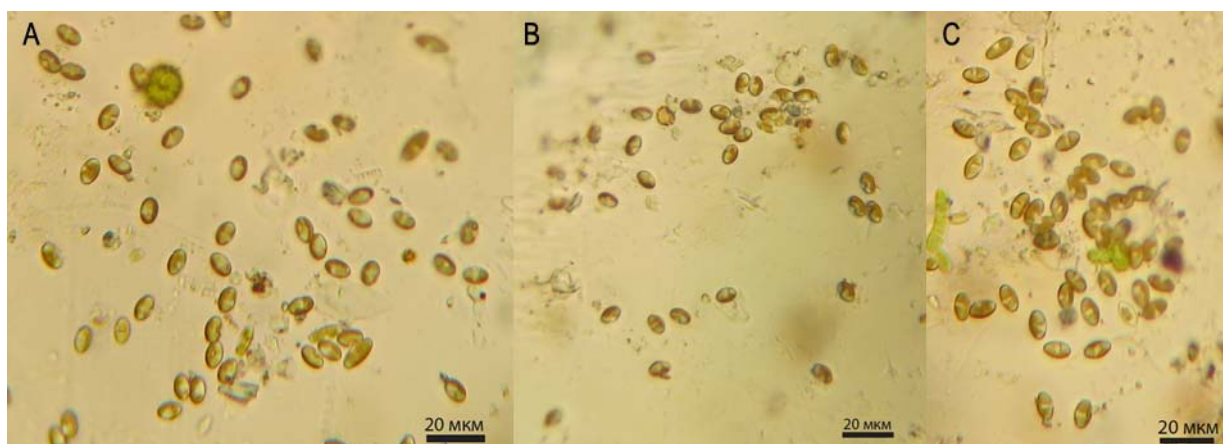


Рисунок 4. Средние (А, В) и поздняя (С) стадии формирования колониального поселения *Planothidium jousacense*

Figure 4. Middle (A, B) and late (C) stages of the formation of a colonial settlement of *Planothidium jousacense*

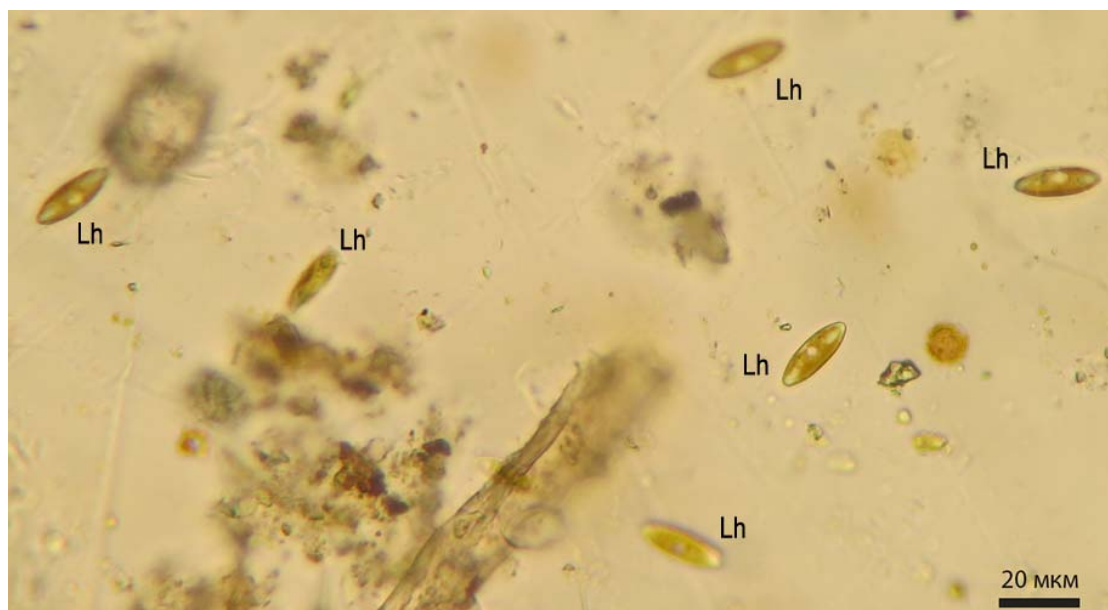


Рисунок 5. Разреженная сеть колониального поселения *Lemniscola hungarica* (Lh)

Figure 5. Sparse network of a colonial settlement of *Lemniscola hungarica* (Lh)

По выпуклым сторонам тех же складок, обращённым на противоположную поверхность плёнки, как по протяжённым острым всхолмьям обильно развивались корковые зелёные нитчатки *Protoderma viride* (рис. 6 В), а также разноплотные колониальные поселения *Cocconeis placentula* var. *klinoraphis*. Этот же вид колонизировал бровки пологих складок. В свою очередь, *P. viride* развивалась также по краям извилистых царапин и крупных трещин, в то время как их внутреннее пространство обильно зарастало *C. cf. stagnalis*. Во вмятинах, где скапливался детрит, часто развивалась пальмеллевидная форма *Chlamydomonas* sp., а также курчавые куртинки *Leptolyngbya* sp., содержавшие многочисленные ценобии *Scenedesmus* spp., обильные колониальные поселения *Chamaesiphon* sp. и скопления клеток *Chlorella* sp. По склонам пологих волнообразных изгибов часто встречались небольшие распротёртые талломы *Phycopeltis epiphyton* (рис. 6 С), *P. irregularis* (рис. 6 D), *Coleochaete scutata*, реже – *Coleochaete irregularis*, *P. frequens* и *C. separabilis*.

Эти виды корковых нитчаток формировали основную часть микрообрастания, занимая наибольшую площадь относительно неоднородного микроландшафта. Также изредка встречалась стелящаяся бурая нитчатка *Heribaudiella fluvialis*, впервые отмеченная здесь для водоёмов Западной Сибири.

Однако, корковые нитчатки являлись не первичным компонентом при формировании микропластона ПЭВД-плёнок в оз. Тургояк. Их слоевища часто разрастались вокруг отдельных клеток и небольших групп прикрепленных диатомей, таких как *Epithemia porcellus*, *E. proboscidea* и *E. perlongicornis*. Эти три вида выстраивали небольшие цепочки первичной колонизации на складчатых участках микрорельефа (рис. 7 А) и часто встречались одиночно – на относительно ровных. Особой массовости они при этом не создавали. При развитии небольших поселений *Epithemia* spp. во вмятинах, вокруг них в массе развивались цианобактерии *P. rosea*, а также пальмеллевидные образования различных видов *Cosmarium*. На разных по микрорельефу участках вблизи

краёв фрагментов, где интенсивнее сказывались гидродинамические воздействия, в массе развивались небольшие компактные колонии очень мелких хроококковых цианобактерий *Cyanogranis* sp., а также распротёртые колонии хризомонады *Chrysosaccus* sp. (рис. 7 В). Панцирные амёбы из числа микрогровиды встречались на плёнках в этих местообитаниях весьма редко. Отдельные особи, принадлежавшие трём видам (*Apogromia flandriensis*, *Ditrema mukrousi* и *Belaria bicorpor*), обнаруживались на практически чистых участках полимера, не заселённых более никем, а также – в виде полуразрушенных домиков – среди цепочек диатомей. Это может свидетельствовать о самой ранней колонизации субстрата именно этими организмами, не получившими здесь, однако, успешного развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наши наблюдения показали, что колонизация одних и тех же ПЭВД-плёнок хозяйственного назначения, широко распространённых в природе в качестве пластикового мусора, происходит в начале лета неодинаковыми путями при разной гидрологической обстановке в водоёмах Южного Урала. При этом микроландшафт поверхности плёнок также различается. Тем не менее, часть структурообразующих видов остаются общими. Нам удалось отследить формы и последовательности колонизации этих полимерных субстратов массовыми видами, в т. ч. характерные черты построения колониальных поселений, образуемых прикрепленными диатомеями. Полученные данные говорят о том, что, как и при росте колоний у других видов диатомей, колониальные поселения являются формой последовательной самоорганизации структур надорганизменного уровня. По сути, любые диатомеи, ведущие прикрепленный образ жизни, выстраивают относительно регулярные структуры с определёнными адаптивными свойствами, обладающие признаками пространственной иерархичности. На природных субстратах виды *Cocconeis*, *Planothidium* и *Lemniscola* распространены весьма широко, однако подвержены прессу конкуренции за пространство и потоки ресурсов.

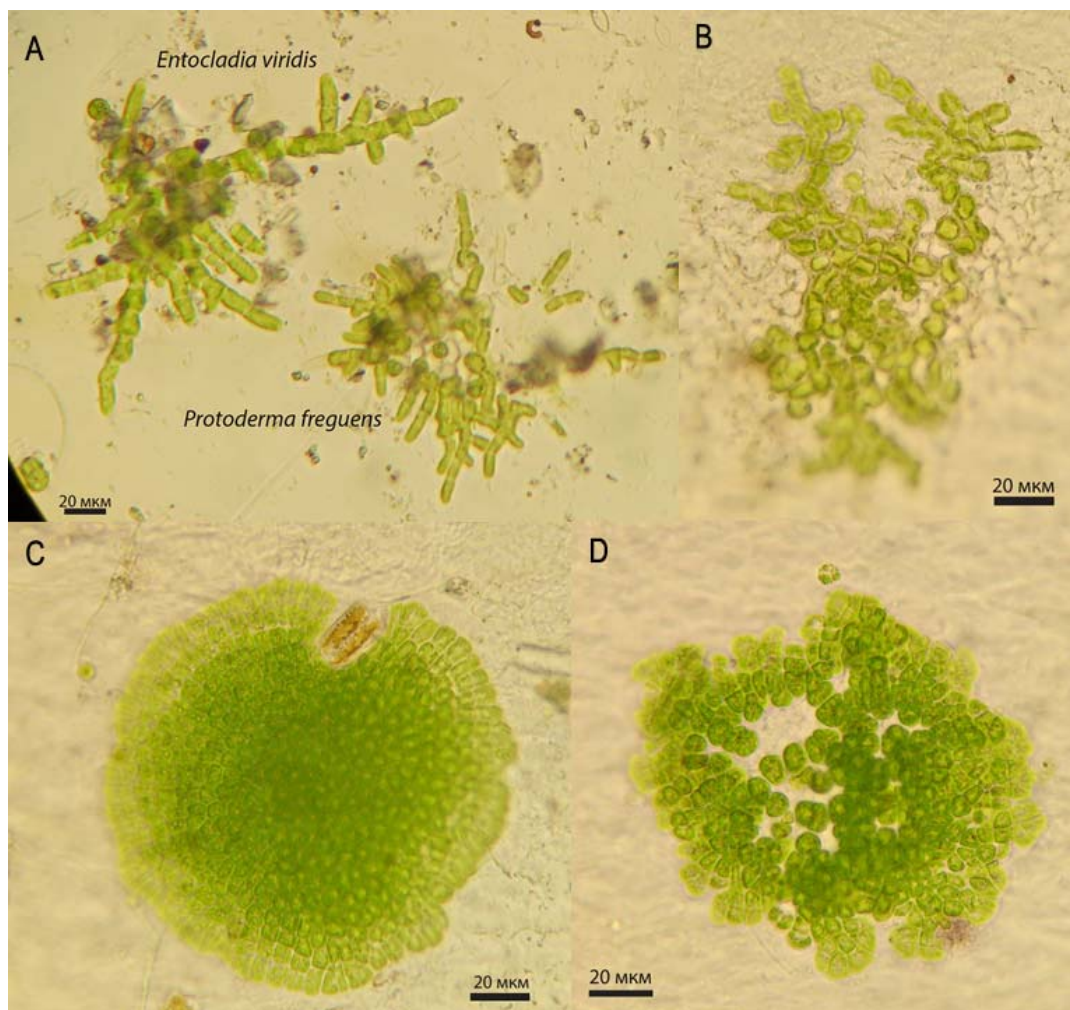


Рисунок 6. Зелёные нитчатые микроводоросли, образующие корковые талломы на ПЭВД-плёнках:

A – *Entocladia viridis* и *Protoderma frequens*, B – *Protoderma viride*, C – *Phycopeltis epiphyton*, D – *Phycopeltis irregularis*

Figure 6. Green filamentous microalgae forming cortical thalli on LDPE films: A – *Entocladia viridis* and *Protoderma frequens*, B – *Protoderma viride*, C – *Phycopeltis epiphyton*, D – *Phycopeltis irregularis*

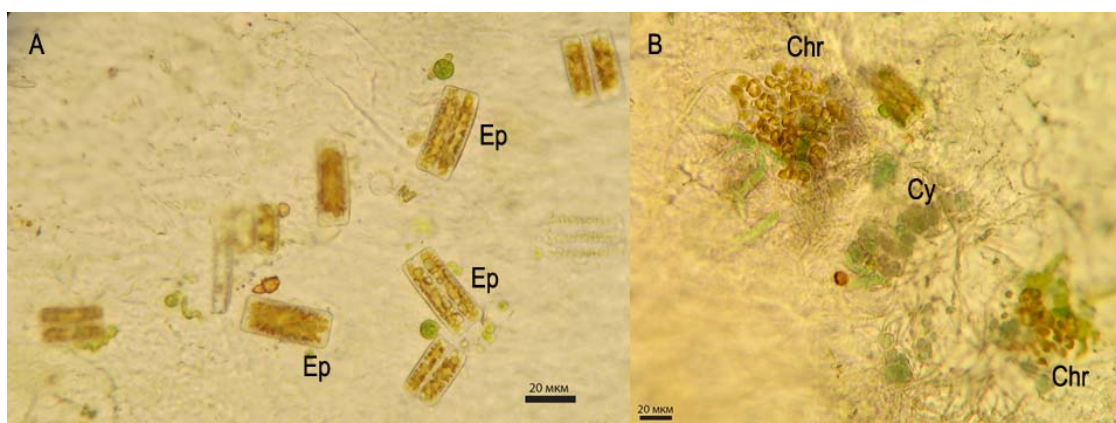


Рисунок 7. А – цепочки первичной колонизации, образованные на ПЭВД-плёнке разными видами прикреплённых диатомей из рода *Epithemia* (Ep). В – массовые виды, развивавшиеся в краевых зонах плёнок: компактные колонии цианобактерий *Cyanogranis* sp. (Cy) и корковые хризомонады *Chrysosaccus* sp. (Chr)

Figure 7. A – chains of primary colonisation formed on LDPE film by different species of attached diatoms of the genus *Epithemia* (Ep). B – widespread species that developed in the marginal zones of films: compact colonies of cyanobacteria *Cyanogranis* sp. (Cy) and cortical chrysomonad *Chrysosaccus* sp. (Chr)

На пластике, ввиду существенно более низкой конкуренции за ресурсы и наличия однородных участков микроландшафта, такие прикреплённые диатомей

демонстрируют, какие именно пространственные структуры каждый из видов способен выстраивать на самом деле. Последовательность колонизации пластика

изученного типа сводится к следующим стадиям: первыми поселяются микрогроииды, затем диатомеи, после корковые нитчатки и цианобактерии, затем все остальные группы микроорганизмов. При этом в более гидрологически агрессивной среде озёрных каменистых мелководий стадия колонизации мимикрогроидами практически не выражена. Здесь преобладают более устойчивые к абразии и волнению формы диатомей (эпитемиоиды), не строящие развитых и хорошо структурированных колониальных поселений, но при этом сохраняются те же массовые кокконеиды, что и в медленно текущих водах.

В обоих случаях сообщества были в достаточной степени разнообразны, отдельные виды имели привязку в развитии к определённым формам микроландшафта. Все эти признаки определяют ранние стадии роста микропластона ПЭВД-плёнок в пресных водах Южного Урала как развитые, пространственно структурированные сообщества – и как основы для выстраивания более иерархически дифференцированных структур на протяжении летнего сезона. Эти сведения могут быть использованы при культивировании микроводорослей в природных водоёмах в качестве корма для мальков рыб и водных беспозвоночных.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Настоящая научная работа была выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ 23-17-00167. Электронно-микроскопические исследования были проведены в общефакультетской лаборатории электронной микроскопии Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

ACKNOWLEDGMENT

This scientific work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation project 23-17-00167. SEM studies were carried out at the Electron Microscopy Laboratory, Faculty of Biology Moscow State University.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zettler E.R., Mincer T., Proskurowski G., Amaral-Zettler L.A. The «Plastisphere»: a new and expanding habitat for marine protists. *Journal Phycology*. 2011. V. 47. P. 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
2. Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. Life in the «Plasti-sphere»: microbial communities on plastic marine debris. *Environment Scientific Technoljgy*. 2013. V. 47. P. 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
3. Sapozhnikov P. et al. Plastic in the Aquatic Environment: Interactions with Microorganisms. In: Stock F., Reifferscheid G., Brennholt N., Kostianaia E. (eds) // *Plastics in the Aquatic Environment - Part I*. 2021 V. 111. P. 197–254. https://doi.org/10.1007/698_2021_747

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга Ю. Калинина провела сбор и фиксацию материала, нарезку образцов на фрагменты, изготовление препаратов живого и фиксированного материала и обширное фотодокументирование сообществ с помощью световой и электронной микроскопии. Филипп В. Сапожников провёл детальное изучение количественной структуры и пространственной организации сообществ на живых и фиксированных фрагментах ПЭВД-плёнок по цифровым фотоматериалам, описал процессы

4. Arias-Andres M., Kettner M.T., Miki T., Grossart H.P. Microplastics: new substrates for heterotrophic activity contribute to altering organic matter cycles in aquatic ecosystems // *Science of The Total Environment*. 2018. V. 635. P. 1152–1159. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.199
5. Amaral-Zettler L.A., Zettler E.R., Mincer T.J. Ecology of the plastisphere // *Nature Reviews Microbioogy*. 2020. N 18. P. 139–151. DOI: 10.1038/s41579-019-0308-0
6. Zhai X., Zhang X.H., Yu M. Microbial colonization and degradation of marine microplastics in the plastisphere: A review // *Front Microbiology*. 2023. V. 14. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1127308
7. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway.
8. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. *Diatom flora of Marine Coasts I*. *Iconographia Diatomologica* 7, 2000. 925 p.
9. Spaulding et al. *Diatoms.org*: supporting taxonomists, connecting communities // *Diatom Research*. V. 36. Iss. 4. P. 291–304. DOI: 10.1080/0269249X.2021.2006790
10. Wehr J.D., Sheath R.G. *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. Academic Press, 2003. 917 p.

REFERENCES

1. Zettler E.R., Mincer T., Proskurowski G., Amaral-Zettler L.A. The «Plastisphere»: a new and expanding habitat for marine protists. *Journal Phycology*, 2011, vol. 47, pp. 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
2. Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. Life in the «Plasti-sphere»: microbial communities on plastic marine debris. *Environment Scientific Technoljgy*, 2013, vol. 47, pp. 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
3. Sapozhnikov P. et al. Plastic in the Aquatic Environment: Interactions with Microorganisms. In: Stock F., Reifferscheid G., Brennholt N., Kostianaia E. (eds) *Plastics in the Aquatic Environment - Part I*, 2021, vol. 111, pp. 197–254. https://doi.org/10.1007/698_2021_747
4. Arias-Andres M., Kettner M.T., Miki T., Grossart H.P. Microplastics: new substrates for heterotrophic activity contribute to altering organic matter cycles in aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 2018, no. 635, pp. 1152–1159. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.199
5. Amaral-Zettler L.A., Zettler E.R., Mincer T.J. Ecology of the plastisphere. *Nature Reviews Microbioogy*, 2020, no. 18, pp. 139–151. DOI: 10.1038/s41579-019-0308-0
6. Zhai X., Zhang X.H., Yu M. Microbial colonization and degradation of marine microplastics in the plastisphere: A review. *Front Microbiology*, 2023, vol. 14. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1127308
7. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway.
8. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. *Diatom flora of Marine Coasts I* *Iconographia Diatomologica* 7, 2000, 925 p.
9. Spaulding et al. *Diatoms.org*: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research*, vol. 36, iss. 4, pp. 291–304. DOI: 10.1080/0269249X.2021.2006790
10. Wehr J.D., Sheath R.G. *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. Academic Press Publ., 2003, 917 p.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga Yu. Kalinina collected and fixed material, cut samples into fragments, made preparations of living and fixed material and extensively photographed communities using light and electron microscopy. Philipp V. Sapozhnikov conducted a detailed study of the quantitative structure and spatial organization of communities on living and fixed fragments of LDPE films using digital photographic materials, described the processes of colonization and the features of building colonial settlements of microphytes and wrote the article.

колонизации и особенности выстраивания колониальных поселений микрофитов, написал рукопись. Сергей В. Востоков занимался научным дизайнингом и корректурой рукописи до подачи в редакцию журнала. Все авторы сообща оформили концепцию статьи и в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

Sergey V. Vostokov was involved in the scientific design and proofreading of the manuscript before submitting it to the Editor. All authors jointly formulated the concept of the article and are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Филипп В. Сапожников / Philipp V. Sapozhnikov <https://orcid.org/0000-0002-3239-6543>

Ольга Ю. Калинина / Olga Yu. Kalinina <https://orcid.org/0000-0001-9446-9149>

Сергей В. Востоков / Sergey V. Vostokov <https://orcid.org/0000-0002-0754-9325>

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.48:504.53/54
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-144-152



Особенности распределения подвижных форм тяжёлых металлов и магнитных свойств почв рекреационной зоны «Дубравный лес» города Казань

Лейсан А. Фаттахова¹, Михаил В. Решетников², Диляра М. Кузина¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», Когалым, Россия

Контактное лицо

Михаил В. Решетников, кандидат географических наук, начальник отдела минералогических исследований, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Пермь; 628486 Россия, г. Когалым, ул. Центральная, д. 19. Тел. +79527072275
Email rmv85@list.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

Формат цитирования

Фаттахова Л.А., Решетников М.В., Кузина Д.М. Особенности распределения подвижных форм тяжёлых металлов и магнитных свойств почв рекреационной зоны «Дубравный лес» города Казань // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 144-152. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-144-152

Получена 8 ноября 2022 г.

Прошла рецензирование 14 апреля 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Сопоставить результаты изучения магнитных свойств и концентрации тяжелых металлов в почвах рекреационной зоны «Дубравный лес» города Казани для обоснования применения петромагнитного метода при проведении эколого-геохимических исследований на урбанизированных территориях.

Материал и методы. Объектом исследования является почвенный покров в лесном массиве «Дубравный лес», исследованный петромагнитными методами (магнитная восприимчивость, дифференциальный термомагнитный анализ) и методом атомной абсорбционной спектроскопии.

Результаты. Согласно результатам проведенных исследований, в изученной светло-серой лесной почве измерения магнитной восприимчивости и концентрации подвижных форм тяжелых металлов не противоречат друг другу и свидетельствуют об отсутствии в исследуемых почвах магнитных минералов и тяжелых металлов техногенного происхождения.

Заключение. Результаты исследований магнитной восприимчивости указывают на отсутствие загрязнения почв соединениями тяжелых металлов, что было подтверждено по результатам определения подвижных форм тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом.

Ключевые слова

Магнитная восприимчивость, почва, тяжёлые металлы, никель, свинец, медь, цинк, Казань, Дубравный лес.

Distribution features of mobile forms of heavy metals and magnetic properties of soils in the Dubravniy Forest recreational area of the city of Kazan, Russia

Leysan A. Fattakhova¹, Mikhail V. Reshetnikov² and Dilyara M. Kuzina¹

¹Kazan (Volga Federal University), Kazan, Russia

²LUKOIL-Engineering's PermNIPIneft branch, Kogalym, Russia

Principal contact

Mikhail V. Reshetnikov, Ph.D. in Geography, Head, Mineralogical Research Department, Branch of OOO LUKOIL-Engineering PermNIPIneft; 19 Centralnaya St, Kogalym, Perm, 628486 Russia.

Tel. +79527072275

Email rmv85@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

How to cite this article

Fattakhova L.A., Reshetnikov M.V., Kuzina D.M. Distribution features of mobile forms of heavy metals and magnetic properties of soils in the Dubravniy Forest recreational area of the city of Kazan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 144-152. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-144-152

Received 8 November 2022

Revised 14 April 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To compare the results of studying the magnetic properties and concentration of heavy metals in the soils of the Dubravniy Forest recreational zone of Kazan to justify the use of the petromagnetic method in conducting ecological and geochemical studies in urbanised areas.

Material and Methods. The object of the study is the soil cover in the "Dubravniy Forest", using petromagnetic methods (magnetic susceptibility, differential thermomagnetic analysis) and atomic absorption spectrometry.

Results. According to the results of the studies conducted into the light-gray forest soil, the measurements of magnetic susceptibility and concentration of mobile forms of heavy metals do not contradict each other and indicate the absence of magnetic minerals and heavy metals of technogenic origin.

Conclusions. The results of magnetic susceptibility studies indicate the absence of soil contamination with heavy metal compounds, which was confirmed by the results of the determination of mobile forms of heavy metals by the atomic absorption method.

Key Words

Magnetic susceptibility, soil, heavy metals, nickel, lead, copper, zinc, Kazan, Dubravniy forest.

ВВЕДЕНИЕ

Рекреационные зоны в пределах урбанизированных территорий являются объектами повышенного внимания со стороны природоохранных служб. Загрязнение окружающей среды рекреационных зон в городах происходит от разных промышленных источников и объектов инфраструктуры (автомобильные дороги, железные дороги, трамвайные пути и другие). Во многих городах местом отдыха жителей являются рекреационные зоны (парки, скверы), которые в большинстве случаев расположены в центральных исторических частях города и имеют многолетнюю историю негативного воздействия на компоненты окружающей среды. В основном загрязнению различными компонентами подвергается почвенный покров рекреационных экосистем в пределах городских территорий, а основным загрязнителем являются соединения тяжёлых металлов [1–4].

В последние годы для оперативного анализа почв тяжёлыми металлами используются данные петромагнитного метода, основанного на изучении магнитных свойств почв [5; 6]. Значительным количеством исследований были установлены корреляционные взаимосвязи между концентрациями тяжёлых металлов в почвах, дорожной пыли и донных отложениях и их магнитными свойствами [7–16]. Установленные взаимосвязи обусловлены тем, что магнитные минералы, содержащиеся в почве, имеют общие пути миграции с соединениями тяжёлых металлов, а также активно сорбируют их. Чем больше в почву поступает техногенных магнитных минералов, тем

выше магнитная восприимчивость почв, тем потенциально в почве может содержаться большее количество тяжёлых металлов.

Картирование почв на основе изучения магнитных свойств почв является одним из наиболее важных инструментов для оценки антропогенного загрязнения [17] и широко используется при картировании загрязнения тяжёлыми металлами [18; 19].

В развитие наших исследований были изучены взаимосвязи между магнитными свойствами и концентрацией подвижных форм тяжёлых металлов в почвах рекреационной зоны «Дубравный лес» города Казань.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Область исследований

Объект исследования – светло-серая лесная среднесуглинистая почва, расположенная на долинно-террасовом комплексе р. Волги юго-восточнее г. Казани в лесном массиве «Дубравный лес». Исследуемая территория находится в широколиственной подзоне суббореальной северной семигумидной ландшафтной зоны Волго-Мешинского возвышенного района с восточно-европейскими широколиственными лесами.

Почвенный покров обследованного участка в основном сложен светло-серыми лесными почвами, которые приурочены к плакорным участкам высокой надпойменной террасы. Разрез почвенного профиля представлен на рисунке 1а. Далее приводим морфологическое описание данного разреза.



Рисунок 1. Отбор почвенных проб: а – разрез почвенного профиля, б – схема отбора проб

Figure 1. Soil sampling: a – a section of the soil profile, b – sampling scheme

Профиль: А0–А1–А1А2–ВА2–В1–В2–С–D.

А0 (0–2 см) остатки лесной подстилки и травянистой растительности разной степени разложения.

А1 (2–25 см) свежий, светло-серый (по шкале Манселла высушенный и растертый образец 10YR5/4 (dull yellowish brown), густо пронизанный корнями,

образующими в верхней части дернину неоднородной мощности (4–7 см), зернисто-комковато-порошистый, плотноватый, средний суглинок, граница ровная, переход ясный.

A1A2 (25–31 см) свежий, серовато-белесый, неоднородно окрашенный (на светло сером фоне хорошо видна белесая полосчатость, отдельные белесые и серые пятна, плитчатый, местами пластинчаточешуйчатый, плотноватый, средний суглинок, граница волнистая, переход заметный по цвету и структуре.

BA2 (31–39 см) свежий, неоднородно окрашенный (на светло сером фоне хорошо заметны бурые пятна, более светлые фрагменты имеют тенденцию к горизонтальной делимости, более темные фрагменты ореховатой структуры с обильной белесой присыпкой по граням отдельностей, плотноватый, средний суглинок, граница волнистая, переход заметный по цвету и структуре.

B1 (39–68 см) влажный, в верхней части бурокоричневый, книзу буроватый, с отчетливо выраженной многопорядковой призмовидно-ореховатой структурой, с белесой присыпкой и темно-коричневыми глянцевитыми пленками и корочками по граням отдельностей, плотный, тяжелый суглинок, граница размытая переход постепенный по цвету и структуре.

B2 (68–95 см) влажный, желто-бурый, светлее предыдущего, четкой крупнопризматической-структуры, плотный, тяжелый суглинок, постепенно переходит в породу

C (95–154 см) влажный, желто-бурый делювиальный тяжелый бескарбонатный суглинок.

D (154 см и более) сырой, желтый, бесструктурный, рыхлый, песок, при осмотре с использованием лупы поверхность частиц песка имеет хорошо выраженную окатанность.

Отбор почвенных образцов

Почвенные пробы для исследований отбирались с глубины 0–15 см, гомогенизировались. Всего было отобрано 74 пробы по наиболее популярным среди посетителей лесопарка тропинкам и дорожкам (рис. 1b).

Лабораторные исследования

Для удаления органического вещества почвенные образцы в течение 15 дней подвергались многократной обработке H_2O_2 (30 %) при комнатной температуре. Последующие операции включали отделение осадка центрифугированием, его высушивание и гомогенизацию. Для измерения магнитной восприимчивости χ использовался мультимастотный датчик AGICO MFK1-FA. Предварительно все образцы были измельчены в агатовой ступке и проведена нормировка по массе проб [24].

Термомагнитный анализ образцов проводился на экспрессных весах Кюри путем измерения зависимости индуктивной намагниченности от температуры при скорости нагрева $100^\circ\text{C}/\text{мин}$ до 800°C в магнитном поле 0,4 Тл [20].

Для получения коэрцитивных спектров нормального намагничивания до полей 0,5 Тл использовался коэрцитивный спектрометр «J-meter» [20; 21], позволяющий раздельно регистрировать остаточную и индуктивную намагниченность образцов при комнатной температуре. Намагничивание образцов проводилось из естественного состояния с шагом 1 мТ. По кривым намагничивания были определены

следующие параметры: нормальная остаточная намагниченность насыщения (J_{rs}); намагниченность насыщения за вычетом парамагнитной компоненты (J_s); коэрцитивная сила намагниченности насыщения за вычетом влияния парамагнитной компоненты (B_c); коэрцитивная сила остаточной намагниченности насыщения (B_{cr}) [24].

Концентрация подвижных форм Cu, Ni, Pb и Zn определялась в экстракте 1М HNO_3 методом атомной абсорбционной спектроскопии на приборе КВАНТ-2АТ.

Обработку данных проводили с использованием пакетов MS Excel и Grapher.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Магнитная восприимчивость почв

Присутствие тяжелых металлов в почве можно определить с помощью магнитной восприимчивости [22], которая является косвенным индикатором техногенного загрязнения почв в силу того, что экологически опасные техногенные элементы являются, в первую очередь, ферромагнетиками. Результаты измерения магнитной восприимчивости приведены на рисунках 2 и 3.

Графический анализ показывает, что светло-серая лесная почва характеризуется аккумулятивным типом профильных картин распределения магнитной восприимчивости (рис. 2). Селективное удаление органического вещества не оказывает влияния на картину профильной дифференциации магнитной восприимчивости [24]. Несколько повышенные абсолютные значения χ в верхней части профиля можно приписать удалению ОВ, поскольку измерение магнитной восприимчивости проводилось в пробах, нормированных по массе [24]. Коэрцитивные спектры позволяют экспериментально определить значения величин диа-/парамагнитной (χ_p), ферромагнитной (χ_f) и суперпарамагнитной (χ_{sp}) составляющих магнитной восприимчивости [23]. Вид кривых парамагнитной и ферромагнитной составляющих магнитной восприимчивости однозначно показывают, что прирост магнитной восприимчивости в органогенных горизонтах светло-серой лесной почвы обусловлен вкладом ферромагнитной компоненты [24] (рис. 2).

На рисунке 3 представлены значения магнитной восприимчивости для проб, отобранных с глубины 0–15 см. Черная кривая показывает значения магнитной восприимчивости у исходных образцов почв, красная кривая – значения магнитной восприимчивости образцов после удаления органического вещества. Если судить только по данным магнитной восприимчивости то, в «Дубравном лесу», никакого загрязнения тяжелыми металлами нет.

Дифференциальный термомагнитный анализ

Диаграммы дифференциального термомагнитного анализа почвенных образцов из «Дубравного леса» однотипны. На них наблюдается несколько характерных признаков: небольшой рост намагниченности в диапазоне 310°C и 500°C , что связано с наличием в почве сульфидов или карбонатов железа. Наличие этих минералов наиболее ярко прослеживается в верхней части профиля, затем интенсивность пиков падает, что указывает на уменьшение их количества. При нагреве они диссоциируют с образованием магнетита, что, видимо, и является причиной более интенсивного магнетитового пика ($\sim 580^\circ\text{C}$) на дифференциальной кривой. Магнетит также присутствует в образцах изначально. Начиная с середины профиля на диффе-

ренциальной кривой первого нагрева очевидно выделяется только магнетитовый пик, который при дальнейшем изучении вниз по профилю практически не

изменяется по амплитуде и температуре, что свидетельствует о практически неизменном содержании этого минерала в нижней половине профиля (рис. 4).

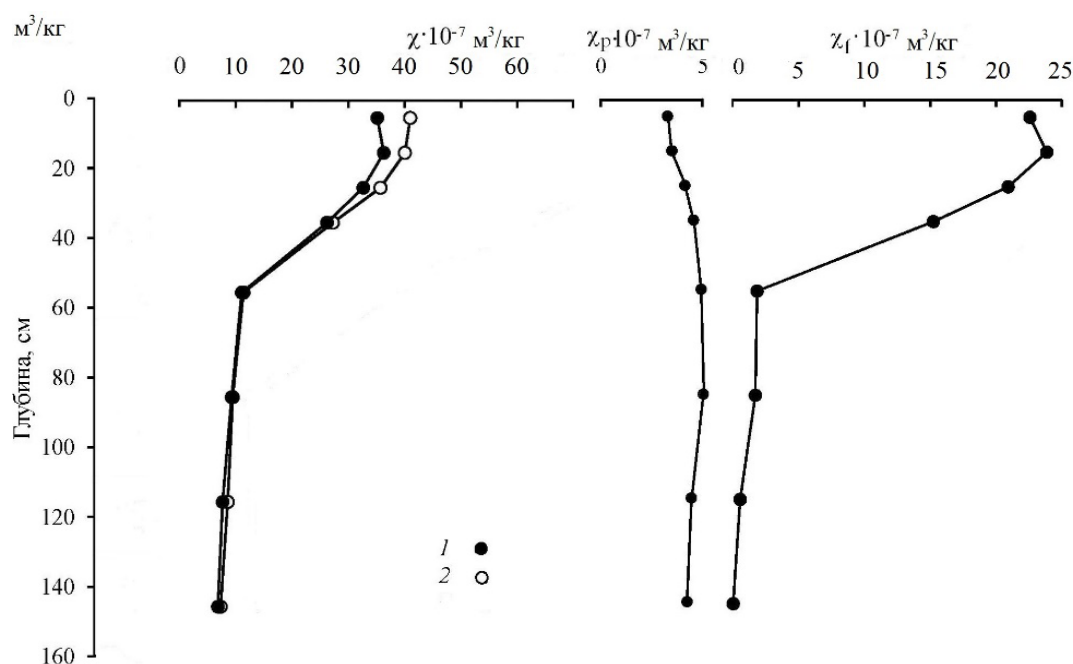


Рисунок 2. Профильные распределения магнитных параметров светло-серой лесной почвы:

1 – исходные образцы; 2 – образцы после удаления органического вещества

Figure 2. Profile distributions of magnetic parameters of light gray forest soil:

1 – original samples; 2 – samples after removal of organic matter

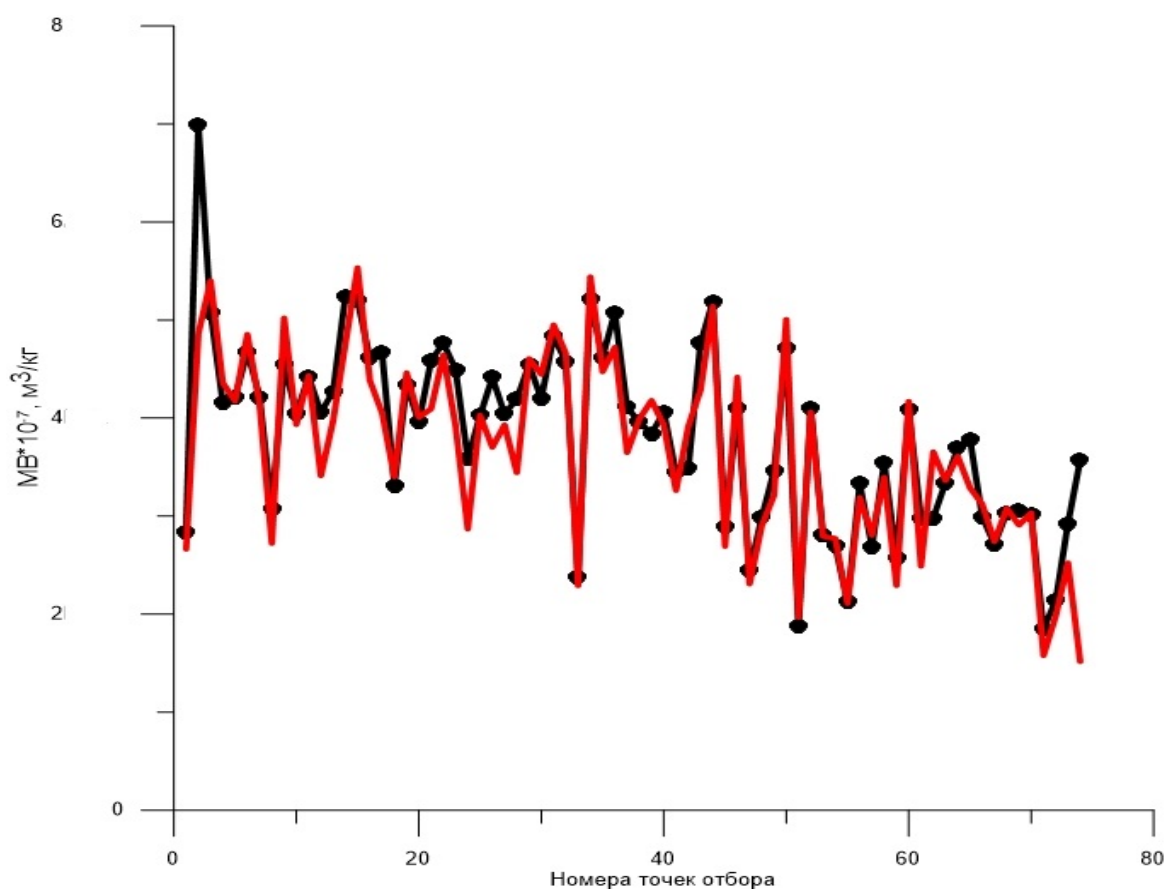


Рисунок 3. Значения магнитной восприимчивости по 74 пробам с глубины 0–15 см:

черная кривая – исходные образцы, красная кривая – образцы после удаления органического вещества

Figure 3. Magnetic susceptibility values for 74 samples from 0–15 cm depth:

black curve – original samples, red curve – samples after removal of organic matter

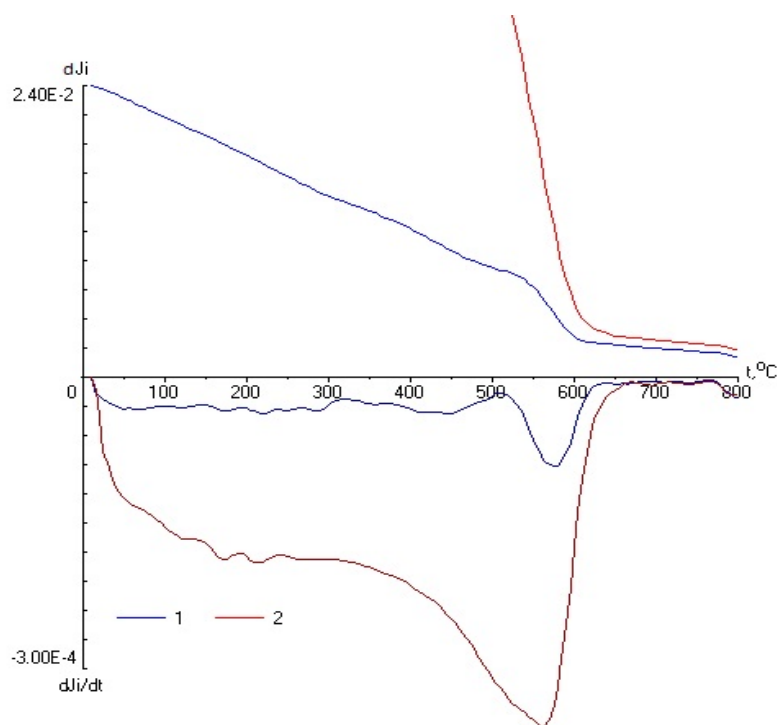


Рисунок 4. Кривые дифференциального термоманнитного анализа образца № 51 «Дубравный лес».

Синяя кривая – первый нагрев, красная кривая – второй нагрев

Figure 4. Curves of detailed thermomagnetic analysis of sample No. 51 "Dubravniy forest".

Blue curve – first heating, red curve – second heating

Тяжелые металлы

Во всех образцах определялась концентрация подвижных форм следующих тяжёлых металлов: никель, медь,

цинк и свинец. По результатам проведенных исследований установлено следующее их распределение.

Таблица 1. Результаты определения подвижных форм тяжелых металлов

Table 1. Results of determination of mobile forms of heavy metals

Металл Metal	Мини- мальное Minimum	Макси- мальное Maximum	Среднее арифметическое Arithmetic average	Стандартное отклонение Standard deviation	Коэффициент вариации Coefficient of variation	Экссесс Kurtosis	Асимметрия Asymmetry
Ni (мг/кг) Ni (mg/kg)	1,37	8,02	4,39	1,30	0,29	0,06	0,15
Cu (мг/кг) Cu (mg/kg)	1,08	8,03	4,30	2,03	0,47	-1,34	-0,08
Pb (мг/кг) Pb (mg/kg)	0,19	1,73	0,53	0,28	0,52	7,45	2,41
Zn (мг/кг) Zn (mg/kg)	1,92	28,74	12,24	5,45	0,44	0,03	0,67

Подвижные формы меди измерены во всех образцах в концентрации от 1,08 до 8,03 мг/кг, при среднем значении 4,30 мг/кг. Предельно допустимая концентрация подвижных форм меди в почвах составляет 3 мг/кг, соответственно коэффициент опасности изменяется в интервале от 0,36 до 2,68 единиц, при среднем значении 1,43. Загрязнение почв исследуемой территории подвижными формами никеля обнаружено в 51 из 74 образцах (68,9 %).

Подвижные формы никеля были определены во всех образцах в концентрации от 1,37 до 8,02 мг/кг, при среднем значении 4,39 мг/кг. Предельно допустимая концентрация подвижных форм никеля в почвах составляет 4 мг/кг, соответственно коэффициент опасности изменяется в интервале от 0,34 до 2,01 единиц, при среднем значении 1,1. Загрязнение

почв исследуемой территории подвижными формами никеля обнаружено в 45 из 74 образцах (60,8 %).

Подвижные формы цинка определены во всех образцах в концентрации от 1,92 до 28,74 мг/кг, при среднем значении 12,24 мг/кг. Предельно допустимая концентрация подвижных форм цинка в почвах составляет 23 мг/кг, соответственно коэффициент опасности изменяется в интервале от 0,08 до 1,25 единиц, при среднем значении 0,53. Загрязнение почв исследуемой территории подвижными формами никеля обнаружено в 2 из 74 образцах (2,7 %).

Подвижные формы свинца обнаружены во всех образцах в концентрации от 0,19 до 1,73 мг/кг, при среднем значении 0,53 мг/кг. Предельно допустимая концентрация подвижных форм свинца в почвах составляет 6 мг/кг, соответственно коэффициент опас-

ности изменяется в интервале от 0,03 до 0,29 единиц, при среднем значении 0,09. Загрязнение почв исследуемой территории подвижными формами свинца не установлено.

Геохимический ряд по средней концентрации элементов для исследуемых почв выглядит следующим образом: $Zn > Ni > Cu > Pb$, а по среднему значению коэффициента опасности $Cu > Ni > Zn > Pb$. Основными элементами загрязнителями почв на исследуемой территории являются соединения меди и никеля, но вследствие того, что их концентрации не значительно превышают предельно допустимые, то степень загрязнения почв оценивается как допустимая. Скорее всего, установленные значения элементов являются

региональными значениями для исследуемых почв и не являются результатом техногенного воздействия.

Таким образом, результаты измерения магнитных свойств исследуемых почв, указывающие на отсутствие загрязнения тяжелыми металлами подтверждены результатами определения подвижных форм тяжелых металлов методом атомной абсорбции.

Взаимоотношения между магнитной восприимчивостью и подвижными формами тяжелых металлов

Результаты определения концентраций подвижных форм тяжелых металлов, и магнитных параметров были сопоставлены между собой для нахождения корреляционных взаимосвязей (табл. 2)

Таблица 2. Корреляционные взаимосвязи между магнитными свойствами и концентрацией подвижных форм тяжелых металлов

Table 2. Correlations between magnetic properties and concentration of mobile forms of heavy metals

	$\chi + OM$	χ	Ni	Cu	Pb	Zn
$\chi + OM$	1,00	0,9	0,08	0,02	0,16	0,01
χ		1,00	0,23	0,11	0,24	0,14
Ni			1,00	0,63	0,49	0,82
Cu				1,00	0,55	0,66
Pb					1,00	0,68
Zn						1,00

Примечание: $n=74$; $p=0,001$; $r=0,38$

Note: $n=74$; $p=0.001$; $r=0.38$

При расчётах были установлены значимые коэффициенты корреляции (при $p < 0,001$) для всех пар исследуемых подвижных форм тяжелых металлов, что свидетельствует об едином источнике поступления данных элементов в почву в данном случае об их унаследованности от геологической матрицы материнских пород.

Отсутствие высоких корреляционных взаимосвязей между магнитной восприимчивостью и тяжелыми металлами, возможно, связано с незначительными выбросами металлов на исследуемой территории. Особый интерес вызывает значительный рост значений коэффициентов корреляции при анализе данных магнитной восприимчивости после удаления органического вещества, по сравнению с данными, полученными без проведения данной процедуры. Возможно, это связано с удалением магнитных минералов, имеющих биогенное происхождение или связанных с органическим веществом

ВЫВОДЫ

1. Исследованная светло-серая лесная почва характеризуется аккумулятивным типом профильного распределения магнитной восприимчивости.

2. По оценке вклада диа-/парамагнитной, суперпарамагнитной и ферромагнитной компонент по коэрцитивным спектрам выявлено, что основной вклад в магнитную восприимчивость вносит ферромагнитная компонента. По данным термоманитного анализа показано, что прирост магнитной восприимчивости в светло-серой лесной почве обусловлен вкладом ферромагнитных минералов магнетитовой природы. По данным измерений магнитной восприимчивости в поверхностных слоях глубиной до 15 см загрязнение тяжелыми металлами отсутствует.

3. Проведенные исследования содержания подвижных форм тяжелых металлов методом атомной

абсорбции показало превышение над предельно допустимыми концентрациями меди и никеля и отсутствие загрязнения соединениями цинка и свинца. Установленные загрязнения незначительны и позволяют отнести почвы к категории «допустимое загрязнение».

4. Результаты измерения магнитной восприимчивости и концентрации подвижных форм тяжелых металлов не противоречат друг другу и свидетельствуют об отсутствии в исследуемых почвах магнитных минералов и тяжёлых металлов техногенного происхождения. Значимые коэффициенты корреляции между значениями подвижных форм тяжёлых металлов указывают об их общем происхождении – минералогический состав материнских пород.

5. Установленный рост значений коэффициентов корреляции между магнитной восприимчивостью после удаления органического вещества и концентрацией подвижных форм тяжелых металлов, по сравнению с магнитной восприимчивостью до удаления органического вещества, возможно, необходимо использовать как методический подход при проведении комплексных петромагнитных и эколого-геохимических исследований.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания проект № FZSM-2023-0023 в сфере научной деятельности и за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

ACKNOWLEDGMENT

This work was funded by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment project № FZSM-2023-0023 in the sphere of scientific activities and has been

supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program (PRIORITY-2030).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Еремин В.Н., Шешнев А.С., Решетников М.В., Теслинова О.В. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Ботанического сада Саратовского университета // Известия Саратовского университета. 2020. Т. 20. N 1. С. 41–45. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-1-41-45>
- Шешнев А.С., Еремин В.Н., Решетников М.В., Теслинова О.В. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах на территории рекреационной зоны "Парк Победы" (Саратов) // Известия Саратовского университета. 2020. Т. 20. N 4. С. 256–261. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-4-256-261>
- Шешнев А.С., Еремин В.Н., Прокофьева Е.В., Решетников М.В. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвенном покрове городского парка города Вольска // Известия Саратовского университета. 2018. Т. 18. N 1. С. 62–69. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-1-62-69>
- Маджид Д.С., Решетников М.В., Еремин В.Н., Шешнев А.С. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов и магнитные свойства почв г. Вольск Саратовской области // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 1(54). С. 137–144. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-137-144>
- Evans M., Heller F. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics. San Diego: Acad. Press, 2003. 311 p.
- Liu Q., Robersts A.P., Larrasoña J.C., Banerjee S.K., Guyodo Y., Tauxe L., Old-field F. Environmental magnetism: Principles and applications // Rev. Geophys. 2012. V. 50. N 4. Art. RG4002. P. 1–50.
- Magiera T., Strzyszc Z., Rachwal M. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe // Geoderma. 2006. V. 130. N 3–4. P. 299–311.
- Magiera T., Strzyszc Z., Rachwal M. Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland // Forest ecology and management. 2007. V. 248. N 1–2. P. 36–42.
- Lu S.G., Bai S.Q., Fu L.X. Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils // Pedosphere. 2008. N 18. P. 479–485.
- Sapkota B., Cioppa M. Using magnetic and chemical measurements to detect atmospherically-derived metal pollution in artificial soils and metal uptake in plants // Environmental pollution. 2012. V. 170. P. 131–144.
- El Baghdadi M., Barakat A., Sajieddine M., Nadem S. Heavy metal pollution and soil magnetic susceptibility in urban soil of Beni Mellal City (Morocco) // Environ. Earth Sci. 2012. N 66. P. 141–155.
- Gudadhe S.S., Sangode S.J., Patil S.K., Chate D.M., Meshram D.C., Badekar A.G. Pre- and post-monsoon variations in the magnetic susceptibilities of soils of Mumbai metropolitan region: implications to surface redistribution of urban soils loaded with anthropogenic particulates // Environ. Earth Sci. 2012. N 67. P. 813–831.
- Boguta P., Sokołowska Z. Interactions of Zn (II) ions with humic acids isolated from various type of soils. Effect of pH, Zn concentrations and humic acids chemical properties // PLoS One. 2016. T. 11. N 4. Article number: e0153626.
- Yurtseven-Sandker A., Cioppa M. T. Tracking the historical traces of soil pollution from an iron-sintering plant by using magnetic susceptibility in Wawa, Ontario, Canada // Water, Air, Soil Pollution. 2016. V. 227. N 12. P. 1–20.
- Menshov O., Kruhlov B., Andreeva O. Magnetic and atmogeochemical studies at the hydrocarbon area Nedilna, Ukraine // Materials of International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring. 2021. V. 2021. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2034>
- Maity R., Venkateshwarlu M., Mondal S., Kapawar M., Gain D., Chatterjee S., Paul P. Mineral magnetic and geochemical characterization of the dust and soils around Mejia Thermal Power Plant, West Bengal: Implications to source apportionment // Journal of Earth System Science. 2022. V. 131. N 138. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01882-5>
- Yang T., Liu Q., Zeng Q., Chan L. Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping // Environ. Earth Sci. 2012. N 66. P. 409–420.
- Hanesch M., Scholger R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements // Environ. Geol. 2002. N 42. P. 857–870.
- Zawadzki J., Fabijanczyk P., Reduction of soil contamination uncertainty assessment using magnetic susceptibility measurements and coest method // Proc. ECOpole. 2008. N 2(1). P. 171–174.
- Буров Б.В., Нурғалиев Д.К., Ясонов П.Г. Палеомагнитный анализ // Изд-во Казан. ун-та. 1986. 167 с.
- Jasonov P.G., Nurgaliev D.K., Burov B.V., Heller F. A modernized coercivity spectrometer // Geologica Carpathica. 1998. V. 49. P. 224–226.
- Вадюнина А.Ф., Бабанин В.Ф. Магнитная восприимчивость некоторых почв СССР // Почвоведение. 1972. N 10. P. 56–66.
- Kosareva L.R., Nourgaliev D.K., Kuzina D.M., Spassov S., Fattakhov A.V. Ferromagnetic, dia-/paramagnetic and superparamagnetic components of Aral Sea sediments: significance for paleoenvironmental reconstruction // ARPN Journal of Earth Sciences. 2015. V. 4. P. 1–6.
- Фаттахова Л.А., Шинкарев А.А., Косарева Л.Р. Магнитные профили почв Волжско-Камской лесостепи // Ученые записки Казанского Университета. 2016. V. 158. P. 391–403.

REFERENCES

- Eremin V.N., Sheshnev A.S., Reshetnikov M.V., Teslinova O.V. Content of mobile forms of heavy metals in soils of the Botanical Garden of Saratov University. *News of Saratov University*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 41–45. (In Russian) <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-1-41-45>
- Sheshnev A.S., Eremin V.N., Reshetnikov M.V., Teslinova O.V. Content of mobile forms of heavy metals in soils on the territory of the recreational zone "Victory Park" (Saratov). *News of Saratov University*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 256–261. (In Russian) <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-4-256-261>
- Sheshnev A.S., Eremin V.N., Prokof'eva E.V., Reshetnikov M.V. Content of mobile forms of heavy metals in the soil cover of the city park of the city of Volsk. *News of Saratov University*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 62–69. (In Russian) <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-1-62-69>
- Madzhid D.S., Reshetnikov M.V., Eremin V.N., Sheshnev A.S. Concentration of mobile forms of heavy metals and magnetic properties of soils in Volsk, Saratov region. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 1(54), pp. 137–144. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-137-144>
- Evans M., Heller F. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics. San Diego, Academic Press Publ., 2003, 311 p.
- Liu Q., Robersts A.P., Larrasoña J.C., Banerjee S.K., Guyodo Y., Tauxe L., Old-field F. Environmental magnetism: Principles and applications. Reviews of Geophysics. 2012, vol. 50, no. 4, Art. RG4002, pp. 1–50.
- Magiera T., Strzyszc Z., Rachwal M. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic

- susceptibility in Central Europe. *Geoderma*. 2006, vol. 130, no. 3–4, pp. 299–311.
8. Magiera T., Strzyszczyk Z., Rachwał M. Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland. *Forest ecology and management*. 2007, vol. 248, no. 1–2, pp. 36–42.
 9. Lu S.G., Bai S.Q., Fu L.X. Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*. 2008, no. 18, pp. 479–485.
 10. Sapkota B., Cioppa M. Using magnetic and chemical measurements to detect atmospherically-derived metal pollution in artificial soils and metal uptake in plants. *Environmental pollution*. 2012, vol. 170, pp. 131–144.
 11. El Baghdadi M., Barakat A., Sajieddine M., Nadem S. Heavy metal pollution and soil magnetic susceptibility in urban soil of Beni Mellal City (Morocco). *Environmental Earth Sciences*. 2012, no. 66, pp. 141–155.
 12. Gudadhe S.S., Sangode S.J., Patil S.K., Chate D.M., Meshram D.C., Badekar A.G. Pre- and post-monsoon variations in the magnetic susceptibilities of soils of Mumbai metropolitan region: implications to surface redistribution of urban soils loaded with anthropogenic particulates. *Environmental Earth Sciences*. 2012, no. 67, pp. 813–831.
 13. Boguta P., Sokołowska Z. Interactions of Zn (II) ions with humic acids isolated from various type of soils. Effect of pH, Zn concentrations and humic acids chemical properties. [PLoS One]. 2016, vol. 11, no. 4, article number. e0153626.
 14. Yurtseven-Sandker A., Cioppa M. T. Tracking the historical traces of soil pollution from an iron-sintering plant by using magnetic susceptibility in Wawa, Ontario, Canada. *Water, Air, Soil Pollution*. 2016, vol. 227, no. 12, pp. 1–20.
 15. Menshov O., Kruhlov B., Andreeva O. Magnetic and atmogeochemical studies at the hydrocarbon area Nedilna, Ukraine. *Materials of International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring*, 2021, vol. 2021, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2034>
 16. Maity R., Venkateshwarlu M., Mondal S., Kapawar M., Gain D., Chatterjee S., Paul P. Mineral magnetic and geochemical characterization of the dust and soils around Mejia Thermal Power Plant, West Bengal: Implications to source apportionment. *Journal of Earth System Science*, 2022, vol. 131, no. 138. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01882-5>
 17. Yang T., Liu Q., Zeng Q., Chan L. Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping. *Environmental Earth Sciences*. 2012, no. 66, pp. 409–420.
 18. Hanesch M., Scholger R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Environmental Geology*. 2002, no. 42, pp. 857–870.
 19. Zawadzki J., Fabijanczyk P., Reduction of soil contamination uncertainty assessment using magnetic susceptibility measurements and coest method. *Proceedings ECOpole*. 2008, no. 2(1), pp. 171–174.
 20. Burov B.V., Nurgaliev D.K., Yasonov P.G. *Paleomagnitnyi analiz* [Paleomagnetic analysis]. Kazan, Kazan University Publ., 1986, 167 p. (In Russian)
 21. Jasonov P.G., Nurgaliev D.K., Burov B.V., Heller F. A modernized coercivity spectrometer. *Geologica Carpathica*. 1998, vol. 49, pp. 224–226.
 22. Vadyunina A.F., Babanin V.F. Magnetic susceptibility of some soils in the USSR. *Pochvovedenie* [Soil Science]. 1972, no. 10, pp. 56–66. (In Russian)
 23. Kosareva L.R., Nourgaliev D.K., Kuzina D.M., Spassov S., Fattakhov A.V. Ferromagnetic, dia-/paramagnetic and superparamagnetic components of Aral Sea sediments: significance for paleoenvironmental reconstruction. [ARPN Journal of Earth Sciences]. 2015, vol. 4, pp. 1–6.
 24. Fattakhova L.A., Shinkarev A.A., Kosareva L.R. Magnetic profiles of soils of the Volga-Kama forest-steppe. *Uchenye zapiski Kazanskogo Universiteta* [Scientific notes of Kazan University]. 2016, vol. 158, pp. 391–403.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лейсан А. Фаттахова отобрала пробы почв, провела петромагнитные измерения и их анализ, написала разделы «Введение» и «Материалы и методы исследования». Михаил В. Решетников определил концентрацию тяжелых металлов, написал разделы «Результаты и их обсуждение» и «Выводы». Диляра М. Кузина отобрала пробы почв, провела детальный термомангнитный анализ. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Leysan A. Fattakhova undertook soil sampling, conducted petromagnetic measurements and their analysis and wrote the sections "Introduction" and "Materials and Methods of Research". Mikhail V. Reshetnikov determined the concentration of heavy metals and wrote the sections "Results and discussion" and "Conclusions". Dilyara M. Kuzina undertook soil sampling and detailed thermomagnetic analysis. All authors equally participated in the writing of the article and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Лейсан А. Фаттахова / Leysan A. Fattakhova <http://orcid.org/0000-0002-2192-8591>
 Михаил В. Решетников / Mikhail V. Reshetnikov <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>
 Диляра М. Кузина / Dilyara M. Kuzina <http://orcid.org/0000-0003-1626-4636>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 504.7/ 631.92/ 631.95

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-153-160



Мониторинг выбросов парниковых газов на карбоновом полигоне «WAY CARBON» методом регенеративного животноводства

Рашия Х. Бекмурзаева, Нуржаган М. Булаева

Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Грозный, Россия

Контактное лицо

Рашия Х. Бекмурзаева, кандидат экономических наук, доцент, кафедра экологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова»; 364024, г. Грозный, ул. А. Шерипова, 32. Тел. +79290005504

Email raya.bek@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-5936-7235>

Формат цитирования

Бекмурзаева Р.Х., Булаева Н.М. Мониторинг выбросов парниковых газов на карбоновом полигоне «WAY CARBON» методом регенеративного животноводства // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 153-160. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-153-160

Получена 30 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 23 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель работы заключалась в мониторинге потоков климатически активных газов на карбоновом полигоне ЧГУ им. А.А. Кадырова посредством регенеративного животноводства.

Материал и методы. Исследования территории северного склона Хойско-Макожойской котловины, выделенной под пастбищные участки, проводились нами с апреля 2022 г. по настоящее время. Проведены рекогносцировочные и полевые исследования, сбор, обработка данных на ключевых участках по оценке сезонной динамики эмиссии CO₂, температуры и влажности почв ключевых участков. Использовались сведения, находящиеся в свободном доступе в сети Интернет.

Результаты. В статье описана территория карбонового полигона, которая составляет на момент написания статьи 1054 га. Территория разделена на участки: эталонный, умеренный и интенсивный выпас (ЕТ, УМ, ИН – соответственно). Проведен проблемно-ориентированный комплексный мониторинг участков карбонового полигона ЧГА им. А.А. Кадырова. Получены экспериментальные данные с участков полигона: основных парниковых газов, температуры и влажности почвы, микробиологических и химических анализов почвы.

Выводы. Исследования, начатые в 2022 году, позволили разработать методические основы для системного сопряженного мониторинга выбросов парниковых газов на карбоновом полигоне методом регенеративного животноводства.

Ключевые слова

Карбоновый полигон, парниковые газы, регенеративное животноводство, почва, эмиссия, исследования.

Monitoring greenhouse gas emissions at the WAY CARBON carbonic polygon through regenerative animal husbandry

Rashia H. Bekmurzaeva and Nurzhagan M. Bulaeva

A.A. Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia

Principal contact

Rashia H. Bekmurzaeva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Nature Management, A.A. Kadyrov Chechen State University; 32a Sheripova St, Grozny, 364024 Russia. Tel. +79290005504

Email rasha.bek@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5936-7235>

How to cite this article

Bekmurzaeva R.H., Bulaeva N.M. Monitoring greenhouse gas emissions at the WAY CARBON carbonic polygon through regenerative animal husbandry. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 153-160. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-153-160

Received 30 May 2023

Revised 23 June 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To monitor the flows of climatically active gases at the carboxylic range of the A.A. Kadyrov Chechen State University through regenerative animal husbandry.

Material and Methods. We have been studying the territory of the northern slope of the Khoysko-Makozhoy depression allocated for pasture areas from April 2022 to the present. Reconnaissance and field studies were carried out, data were collected and processed in key areas to assess the seasonal dynamics of CO₂ emissions, temperature and soil moisture in key areas. Information that is freely available on the Internet was used.

Results. The article describes the territory of the carbon polygon, which is 1054 hectares in extent at the time of writing. The territory is divided into sections: reference, moderate and intensive grazing (ET, UM, IN - respectively). Experimental data were obtained from landfill sites; the main greenhouse gases, soil temperature and moisture, microbiological and chemical analyzes of the soil.

Conclusions. The studies initiated in 2022 have made it possible to develop methodological foundations for systemic conjugate monitoring of greenhouse gas emissions at a carbon landfill using regenerative animal husbandry.

Key Words

Carbon landfill, greenhouse gases, regenerative animal husbandry, soil, emission, researches.

ВВЕДЕНИЕ

Выбросы парниковых газов являются результатом различных видов деятельности человека, которые способствуют изменению климата, главным образом из-за их влияния на атмосферу Земли. Парниковый газ состоит в основном из выбросов CO₂, закиси азота и метана.

Регенеративное животноводство – это система принципов и методов ведения животноводства, которые увеличивают биоразнообразие, создают и обогащают почву, улучшают водосборные бассейны и улучшают экосистемные услуги [1]. Это также увеличивает накопление углерода в почве, что является буфером против изменения климата и может уменьшить опасное количество углерода в атмосфере.

Методы ведения сельского хозяйства эксплуатируют, извлекают и уничтожают экологические активы – почву, воду, биоразнообразие и людей – которые являются основой его способности производить продукты питания. Крайне важно, чтобы сельскохозяйственные системы были перестроены таким образом, чтобы имитировать регенеративную силу природы, если мир хочет иметь возможность прокормить растущее население перед лицом неопределенности изменения климата.

Цитируя почвенного ученого Элейн Ингхэм можно сказать, правильно управляемое животноводство может быть ключом к улавливанию углерода для смягчения последствий изменения климата [2]. Исследование, проведенное Университетом штата Мичиган, также подтверждает идею о том, что целостные методы, такие как адаптивный выпас в нескольких загонах, «могут способствовать смягчению последствий изменения климата за счет секвестрации SOC [почвенного органического углерода]» [3].

Карбоновый полигон ЧГУ им. А.А. Кадырова стал площадкой для исследования методов регенеративного животноводства, направленные на сокращение выбросов парниковых газов, защиту почвы, биоразнообразия и способствующие максимальному поглощению климатически активных газов [4].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными методами сбора данных послужили полевые, камеральные, дистанционные наблюдения.

Полевые исследования входили такие работы: рекогносцировка местности, отбор проб почв, подземной и надземной фитомассы, эмиссии парниковых газов. Камеральным методом пользовались для обработки полученной информации и занесением в базу данных [5]. Дистанционные методы наблюдения использовались при получении информации с метеостанций, БЛА и вышка Eddy Covariance, оснащенная измерительным оборудованием для определения потоков климатически опасных газов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Участки карбонового полигона под регенеративное животноводство расположены на склоне Хойско-Макажойской (Чеберлойской) котловины в Веденском районе на высотах 1500–1900 м над уровнем моря [6].

Ландшафтная структура Макажойской котловины представлена пятью типами и одиннадцатью группами

ландшафтов. Горно-луговые, субальпийские, остепненные ландшафты занимают наиболее высокие этажи на обрамляющих котловину горных склонах. Долговременный выпас сильно изменил облик лугов, которые представлены разнотравно-злаковыми сообществами в той или иной степени дигрессии. Горно-лесные ландшафты представлены тремя группами ландшафтов, которые занимают относительно труднодоступные для отгонного животноводства участки крутых склонов и ущелий. Снижение интенсивности выпаса привело к тому, что и выположенные участки начинают активно зарастать сосной и березой. Горно-лесолуговостепненные ландшафты – продукт долговременной деятельности и окультуривания почв, изменения рельефа (террасирование склонов) [7]. Доминирующий тип почв – горно-луговые черноземовидные на карбонатных породах.

Площадь участка, отведенного под регенеративное животноводство, составляет 1054 га. На террасах склона северной экспозиции были выбраны исследовательские площадки: эталонный участок, умеренный и интенсивный выпас, загон, участки для высадки травосмесей (рис. 1). На основании мобильного приложения «Smart Protractor» установлена крутизна склона исследуемых участков горно-луговых экосистем, составила от 0,5° до 10°.

Эталонный участок – это один из участков, отведенных под регенеративное животноводство, но на данном участке выпаса овец не предполагается. Эталонный участок предназначен для постоянных замеров CO₂, CH₄ и водяных паров. Эталонный участок будет основой, от которой предлагается отталкиваться при сравнительном анализе.

Участки умеренного выпаса предназначены для выпаса овец. С определенной периодичностью пастух будет перегонять овец с клетки на клетку (1 особь на 1 га). Таких участков необходимо четыре, чтобы периодичность выпаса была реже и дать возможность разрастанию фитомассы, для наблюдения за эмиссией и секвестрационной способностью CO₂.

Участки интенсивного выпаса. Таких участков на данной территории два. Эти участки также, как и участки умеренного выпаса, предназначены для выпаса овец, но с более частым выпасом (2 особи на 1 га). Но при исследованиях надо обратить внимание и на CH₄, т.к. метан является одним из основных парниковых газов, который выделяется жвачными животными, в том числе овцами [8].

Т.к. местность горная и высотность разная, мы старались выбирать высоту примерно одинаковую для проведения замеров эмиссии парниковых газов камерным методом. Эталонный участок расположен на высоте 1970–2024 м н.у.м., умеренный выпас находится на высоте 1943–1986 м н.у.м., интенсивный – 1958–1994 м н.у.м.

Измерения дыхания почвы широко используются для количественной оценки потоков углерода и определения биологических свойств почвы, связанных с микробиологической экологией почвы и здоровьем почвы, однако современные методы измерения дыхания почвы [9].

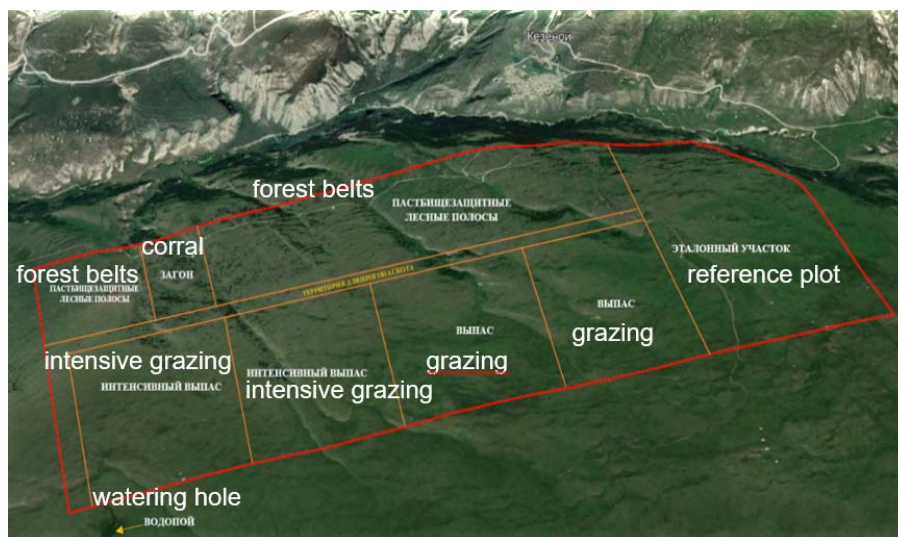


Рисунок 1. Схема организации пастбищной территории на участках регенеративного животноводства на 2022 г.

Figure 1. Scheme of organization of pasture territory in the areas of regenerative animal husbandry for 2022

Для измерений камерным методом на карбоновом полигоне использовали газоанализатор Li-Cor 7810 (рис. 2а). На каждом из участков (эталонный, умеренный и интенсивный) заложено по 10 оснований из ПВХ, диаметром по 200 мм, высотой 12 мм врезали на глубину

2–3 см (рис. 2б). Дыхание почвы на экспериментальных участках начали проводить с 21 апреля 2022 г. по октябрь 2022 г. Овцы завезены на пастбищные участки 22 мая 2022 г. В 2023 г. исследования начали проводить с 28 апреля.



a



b

Рисунок 2. а) газоанализатор Li-Cor 7810, б) основание под газоанализатор

Figure 2. a) Li-Cor 7810 gas analyzer, b) base for gas analyzer

Перед измерениями внутри основания всю фитомассу срезали. Измерения потоков CO_2 , метана и водяных паров проводились в два повтора с периодичностью 30 секунд. Результаты, полученные с газоанализатора, обрабатывались в программе SoilFluxPro. Среди участков пастбища, более высокая эмиссия CO_2 показана для эталонного участка (среднее значение - $1,19 \text{ ммоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ по сравнению с участками под выпасом, а для участка с интенсивным выпасом (среднее значение - $1,05 \text{ ммоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$) – по сравнению с умеренными выпасом (среднее значение - $0,95 \text{ ммоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$). Эталонный ненарушенный участок также является наиболее крупным стоком метана (несмотря на более высокую влажность). Сток метана на участке с умеренным выпасом был ниже эталонного участка в 5 раз, а участка с интенсивным выпасом – в 3 раза (рис. 3-6).

Параллельно с измерениями потоков парниковых газов проводили отбор надземной и подземной фитомассы. Надземная фитомасса отбиралась на расстоянии 500 мм от оснований. Площадь отбора составляла 250000 мм^2 . Подземная фитомасса также отбиралась на расстоянии 500 мм от оснований,

площадью 22500 мм^2 , на глубине 10 см. Отбор надземной и подземной фитомассы чередовались, частота отбора каждого вида составляет один раз в месяц.

С верхнего слоя почвы 0–10 см были отобраны образцы для микробиологических и химических анализов. Почвенные образцы, предназначенные для микробиологического анализа, не высушивают, предварительно удалив корни, просеивают через сито, диаметром ячеек 2–3 мм. Чтобы избежать избыточности CO_2 перед анализом образцы предынкубируют, т.е. увлажняют 72 ч при $t=25^\circ\text{C}$ до 55–60 % от полной влагоемкости [10].

Почвы всех изученных участков характеризуются нейтральной, слабощелочной и щелочной реакцией среды, что характерно для черноземных и горно-луговых почв и объясняется карбонатными почвообразующими породами и непромывным водным режимом [11–12]. На пастбище значения pH почв ненарушенного объекта (эталонный) были на 0,5 и 1,0 единицы меньше по сравнению с умеренным и интенсивным выпасом соответственно ($7,5 \pm 0,5$) (рис. 5).

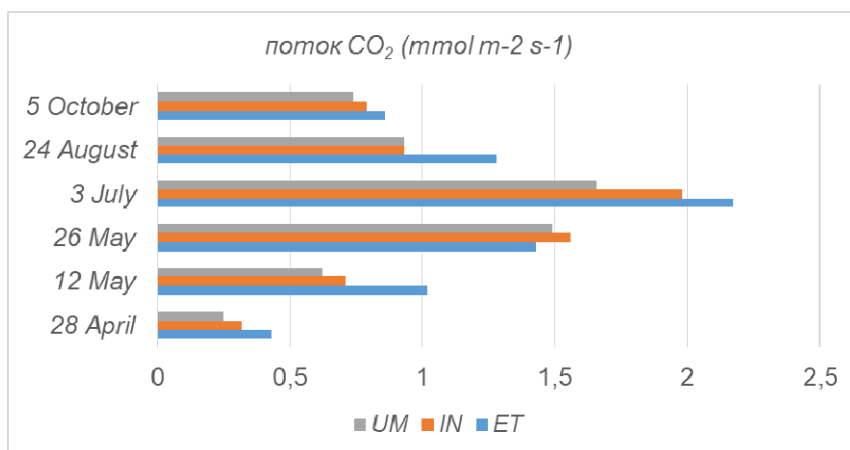


Рисунок 3. Измерение потоков CO₂ (среднее значение с апреля по октябрь 2022 г.)

Figure 3. Measurement of CO₂ fluxes (average from April to October 2022)

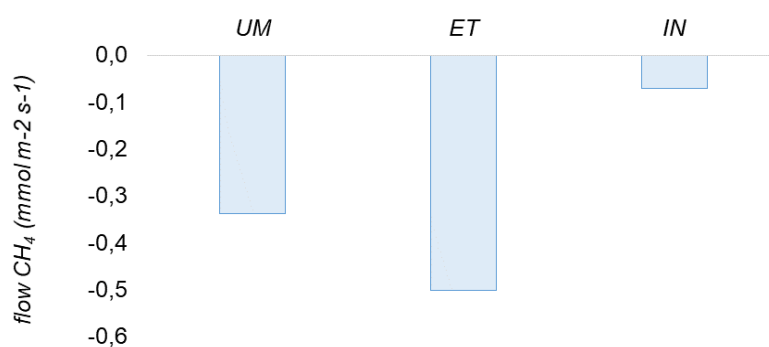


Рисунок 4. Эмиссия CH₄ на мониторинговых участках (среднее значение за апрель–июнь)

Figure 4. CH₄ emissions at monitored sites (April–June average)

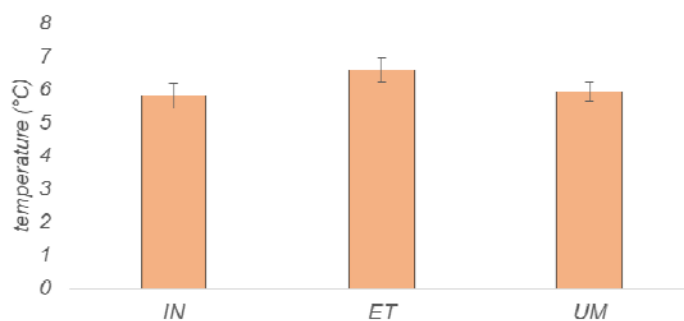


Рисунок 5. Среднегодовая температура почвы (0–10 см) на мониторинговых участках

Figure 5. Average annual soil temperature (0–10 cm) in the monitoring plots

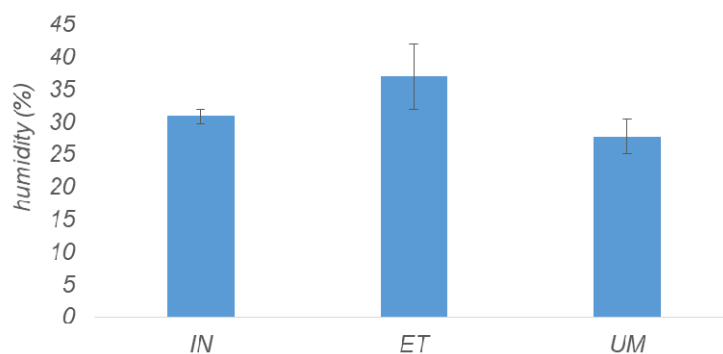


Рисунок 6. Влажность почвы (0–10 см) на мониторинговых участках (среднее за апрель–июнь 2022г.)

Figure 6. Soil moisture (0–10 cm) at the monitoring sites (average for April–June 2022)

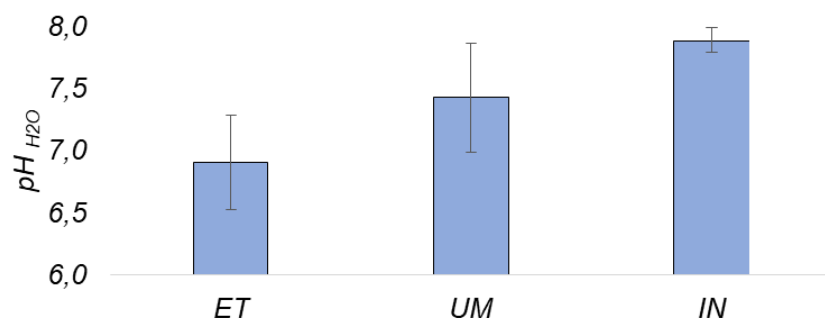


Рисунок 7. Реакция среды (pH_{H2O}) почв участков мониторинга
Figure 7. Environment reaction (pH_{H2O}) of soils of monitoring sites

В апреле 2023 года исследования продолжились. Но после съемок с беспилотного летательного аппарата (DJI Mavic 2 Enterprise Advan) пастбищных территорий, было принято решение перенести место для загона. Как мы видим на снимке место загона подвержено деградации, в последующем опустыниванию (рис. 8). Т.к.

наша цель не только провести мониторинг эмиссии парниковых газов, но и сохранение экосистем, на землях подверженных опустыниванию, высажены травосмеси с высокой поглотительной способностью. Для уменьшения нагрузки овец на пастбище увеличили участки умеренного и интенсивного выпаса (рис. 9).

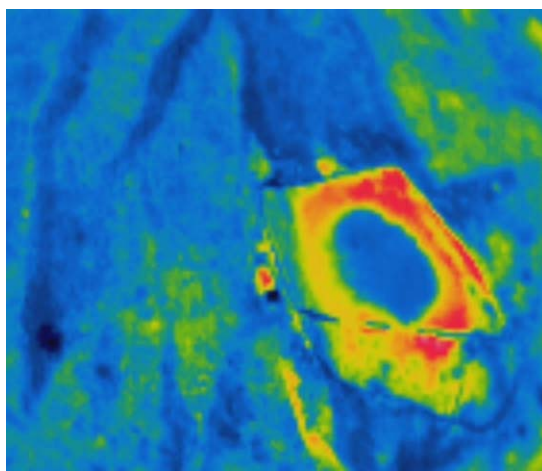


Рисунок 8. Съемки с беспилотного летательного аппарата (DJI Mavic 2 Enterprise Advan) пастбищных угодий (загон для овец)

Figure 8. Filming from an unmanned aerial vehicle (DJI Mavic 2 Enterprise Advan) of pasture areas (sheep pen)

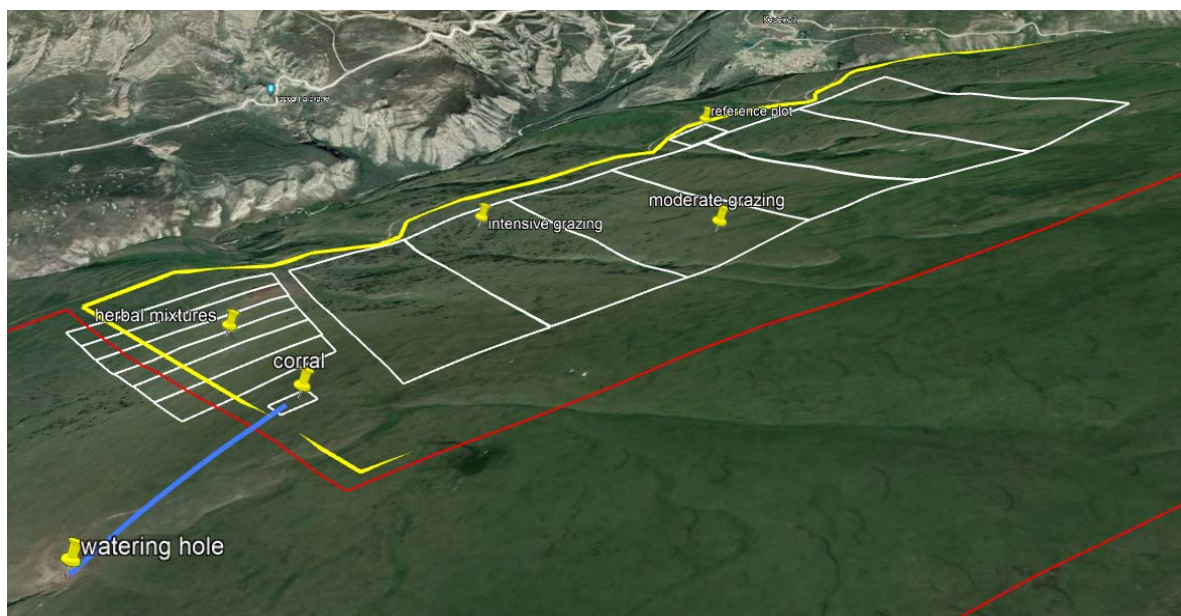


Рисунок 9. Схема организации пастбищных территорий на участках регенеративного животноводства на 2023 г.
Figure 9. Scheme of organization of pasture territory in the areas of regenerative animal husbandry for 2023

ВЫВОДЫ

Территорию под регенеративное животноводство разделили на участки: эталонный, умеренный и интенсивный выпас. В 2022 году получены следующие результаты:

1. В экосистемах горных территорий реакция среды почв была $7,5 \pm 0,5$, что характерно для черноземных и горно-луговых почв.
2. Среди участков пастбища, более высокая эмиссия CO_2 показана для эталонного ненарушенного участка по сравнению с участками под выпасом, а для участка с интенсивным выпасом – по сравнению с умеренными выпасом.
3. Эталонный ненарушенный участок также является наиболее крупным стоком метана (несмотря на более высокую влажность).
4. Для сохранения и восстановления биологической продуктивности исследуемых участков проведен посев травосмесей.

Ключом к целостному управлению и регенеративному сельскому хозяйству является здоровая почва. Плохие методы ведения сельского хозяйства и скотоводства, которые доминируют в традиционном сельском хозяйстве, такие как вспашка, оставление почвы голой, чрезмерный выпас скота, использование химикатов, отсутствие покровных культур и т. д. уничтожают полезные почвенные микроорганизмы, которые являются ключом к круговороту питательных веществ. Сегодня в большинстве традиционно обрабатываемых почв отсутствуют ключевые питательные вещества, необходимые для оптимального здоровья растений и человека.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования проводились в рамках реализации государственного задания FEGS-2023-0008.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out as part of the implementation of the state assignment FEGS-2023-0008.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mathews G. 10 тенденций сельского хозяйства и агробизнеса, формирующих наш мир // Агробизнес. 2020. URL: <https://agbz.ru/news/10-tendentsiy-selskogo-khozyaystva-i-agrobiznesa/> (дата обращения: 19.05.2023)
2. Havlík P., Valin H., Herrero M., Obersteiner M., Schmid E., Rufino M.C., Mosnier A., Thornton P.K., Böttcher H., Conant R.T., Frank S., Fritz S., Fuss S., Kraxner F., Notenbaert A. Climate change mitigation through livestock system transitions // *PNAS*. 2014. V. 111. N 10. P. 3709–3714. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308044111>
3. Sommer R., Bossio D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration // *J Environ Manage*. 2014. V. 144. P. 83–87. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.023>
4. В ЧР будут изучать потенциал пастбищ по поглощению углеродного следа. URL: <https://www.grozny-inform.ru/news/society/129632/> (дата обращения: 20.05.2023)
5. Полевые и камеральные работы. URL: https://studopedia.ru/10_250190_polevie-i-kameralnie-raboti.html?ysclid=1hz1ncjf4x62534682 (дата обращения: 20.05.2023)
6. Магомаева Д. Хой: история и современность // Наша школа. 2022. [http://nasha-](http://nasha-shkola.info/index.php/home/obshchestvo/1941-khoj-istoriya-i-sovremennost?ysclid=li9s9vzapv573083425)

[shkola.info/index.php/home/obshchestvo/1941-khoj-istoriya-i-sovremennost?ysclid=li9s9vzapv573083425](http://nasha-shkola.info/index.php/home/obshchestvo/1941-khoj-istoriya-i-sovremennost?ysclid=li9s9vzapv573083425) (дата обращения: 21.05.2023)

7. Гуня А.Н., Гакаев Р.А. Ландшафтная структура как основа для оценки динамики углерода в горах (на примере Макажойской котловины) // III. Геоэкология. Устойчивое развитие. 2022. С. 132–139. <https://doi.org/10.34708/GSTOU.2021.46.95.054>
8. Анофелес С. Коровы и метан «Химии и жизни». 2019. N 6. С. 13 <https://hij.ru/read/22365/#:~:text=Это%20метан%20—%20парниковый%20газ%2C,—%20560%20граммов%20углекислого%20газа>
9. Gyawali A.J., Lester B.J., Stewart R.D. Talking SMAAC: A New Tool to Measure Soil Respiration and Microbial Activity // *Frontiers in Earth Science*. 2019. V. 7. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00138>
10. Jones R.J.A., Verheijen F.G.A., Reuter H.I., Jones A.R. (eds.) *Environmental Assessment of Soil for Monitoring // Procedures & Protocols*. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 2008. p. 165. <https://doi.org/10.2788/94366>
11. Демина С.А., Васенев В.И., Махия К.И., Ромзайкина О.Н., Истомина И.И., Павлова М.Е., Довлетярова Э.А. Комплексный анализ почв и зеленых насаждений в парках Новой Москвы, образованных на месте бывших сельскохозяйственных территорий и леса // *Вестник Российского университета дружбы народов*. 2022. Т. 17. N 3. С. 341–349. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-331-349>
12. Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Сүшко С.В. Микробные показатели городских почв и их роль в оценке экосистемных сервисов (обзор) // *Почвоведение*. 2021. N 10. С. 1231–1246. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21100038>

REFERENCES

1. *10 tendencij sel'skogo hozajstva i agrobiznesa, formirujushih nash mir* [10 trends of agriculture and agribusiness shaping our world]. Agribusiness, 2020. Available at: <https://agbz.ru/news/10-tendentsiy-selskogo-khozyaystva-i-agrobiznesa/> (accessed 19.05.2023)
2. Havlík P., Valin H., Herrero M., Obersteiner M., Schmid E., Rufino M.C., Mosnier A., Thornton P.K., Böttcher H., Conant R.T., Frank S., Fritz S., Fuss S., Kraxner F., Notenbaert A. Climate change mitigation through livestock system transitions. *PNAS*, 2014, vol. 111, no. 10, pp. 3709–3714. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308044111>
3. Sommer R., Bossio D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *J Environ Manage*, 2014, vol. 144, pp. 83–87. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.023>
4. *V ChR budut izuchat' potencial pastbishh po pogloshheniju uglerodnogo sleda* [The potential of pastures for carbon footprint absorption will be studied in the Chechen Republic]. Available at: <https://www.grozny-inform.ru/news/society/129632/> (accessed 20.05.2023)
5. *Polevyie i kameral'nye raboty* [Field and office work]. Available at: https://studopedia.ru/10_250190_polevie-i-kameralnie-raboti.html?ysclid=1hz1ncjf4x62534682 (accessed 20.05.2023)
6. Magomaeva D. Khoi: istoriya i sovremennost' [Khoi: history and modernity]. 2022. Available at: <http://nasha-shkola.info/index.php/home/obshchestvo/1941-khoj-istoriya-i-sovremennost> (accessed 21.05.2023)
7. Gunya A.N., Gakaev R.A. Landscape structure as a basis for assessing carbon dynamics in mountains (on the example of the Makazhoy depression). III. *Geoecology. Sustainable development*. pp. 132–139. (In Russian) <https://doi.org/10.34708/GSTOU.2021.46.95.054>

8. Anofeles S. *Korovy i metan «Himii i zhizni»* [Cows and methane "Chemistry and Life"]. 2019, no. 6, 13 p. Available at: <https://hij.ru/read/22365/#:~:text=Это%20метан%20—%20парниковый%20газ%2C,—%20560%20граммов%20углекислого%20газа>
9. Gyawali A.J., Lester B.J., Stewart R.D. Talking SMAAC: A New Tool to Measure Soil Respiration and Microbial Activity. *Frontiers in Earth Science*, 2019, vol. 7. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00138>
10. Jones R.J.A., Verheijen F.G.A., Reuter H.I., Jones A.R. (eds.) Environmental Assessment of Soil for Monitoring. *Procedures & Protocols*. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 2008, 165 p. <https://doi.org/10.2788/94366>
11. Demina S.A., Vasenev V.I., Makhinya K.I., Romzaikina O.N., Istomina I.I., Pavlova M.E., Dovletyarova E.A. Comprehensive analysis of soils and green spaces in the parks of New Moscow, formed on the site of former agricultural enterprises and forests. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 341–349. (In Russian) <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-331-349>
12. Anan'eva N.D., Ivashchenko K.V., Sushko S.V. Microbial indicators of urban soils and their role in the assessment of ecosystem services (review). *Eurasian Soil Science*, 2021, no. 10, pp. 1231–1246. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0032180X21100038>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Рашия Х. Бекмурзаева и Нуржиган М. Булаева 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

Rashia H. Bekmurzaeva and Nurzhagan M. Bulaeva 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

Рашия Х. Бекмурзаева / Rashia H. Bekmurzaeva <https://orcid.org/0000-0001-5936-7235>

Нуржиган М. Булаева / Nurzhagan M. Bulaeva <https://orcid.org/0000-0001-8630-2963>

Оригинальная статья / Original article

УДК 332.142.6

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-161-169



Новая региональная промышленная политика и проблемы экологии

Гаджимурад И. Идзиев¹, Лейла Ш. Ахмедова², Патимат А. Бекшокова², Загир В. Атаев^{2,3,4}¹Институт социально-экономических исследований, Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия³Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия⁴Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Махачкала, Россия**Контактное лицо**

Лейла Ш. Ахмедова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра рекреационной географии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.

Тел. +79154706260

Email geolevta@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>**Формат цитирования**

Идзиев Г.И., Ахмедова Л.Ш., Бекшокова П.А., Атаев З.В. Новая региональная промышленная политика и проблемы экологии // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 161-169. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-161-169

Получена 25 апреля 2023 г.

Прошла рецензирование 24 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Необходимость ускорения перехода к «зеленым» и цифровым технологиям обуславливает более активное участие государства в экономике, в том числе посредством проведения активной промышленной политики. В связи с этим основное внимание следует уделить разработке и использованию современных методологических подходов к формированию новой региональной промышленной политики с учетом экологического аспекта.

Обсуждение. Одним из основных источников выбросов загрязняющих веществ является промышленное производство. В статье проводится анализ уровня выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями в атмосферу в целом по России, а также по регионам, которые лидируют по росту выбросов в атмосферу промышленных предприятий и по росту количества загрязняющих предприятий. На основе проведенного анализа делается вывод о том, что во многих регионах России промышленная политика проводится неэффективно. Рост промышленного производства происходит экстенсивно, путем увеличения количества предприятий или производств без учета экологических последствий, без использования современных технологий, снижающих негативное влияние на окружающую среду. Проведен анализ методологических подходов к определению «новой» промышленной политики и выделены ее общие принципы.

Заключение. На сегодняшний день нет четкого определения «новой» промышленной политики, однако в современной научной литературе существуют различные методологические подходы, которые отличаются от «старого» типа промышленной политики. Рассмотренные выше подходы различаются акцентом либо на выборе специализации – что производить, либо на процессе, посредством которого происходит расстановка приоритетов и реализация – как производить.

Ключевые слова

Зеленая промышленная политика, экология, регион, промышленная экология, устойчивое развитие.

New regional industrial policy and environmental problems

Gadzhimurad I. Idziev¹, Leyla Sh. Akhmedova², Patimat A. Bekshokova² and Zagir V. Ataev^{2,3,4}

¹Institute of Socio-Economic Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia

⁴Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Leila Sh. Akhmedova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Recreational Geography and Sustainable Development, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, 367000 Russia.

Tel. +79154706260

Email geoleyla@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>

How to cite this article

Idziev G.I., Akhmedova L.Sh., Bekshokova P.A., Ataev Z.V. New regional industrial policy and environmental problems. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 161-169. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-161-169

Received 25 April 2023

Revised 24 June 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. The need to accelerate the transition to "green" and digital technologies leads to a more active participation of the state in the economy, including through an active industrial policy. In this regard, the main attention should be paid to the development and use of modern methodological approaches to the formation of a new regional industrial policy, taking into account the environmental aspect.

Discussion. One of the main sources of pollutant emissions is industrial production. The article analyses the level of emissions of pollutants from industrial enterprises into the atmosphere in Russia as a whole, as well as for the regions that are leading in the growth of emissions into the atmosphere of industrial enterprises and in the growth in the number of polluting enterprises. Based on the analysis, it is concluded that in many regions of Russia industrial policy is carried out inefficiently. The growth of industrial production occurs extensively by increasing the number of enterprises or industries without taking into account environmental consequences and without the use of modern technologies that reduce the negative impact on the environment. An analysis of methodological approaches to the definition of the "new" industrial policy has been carried out and its general principles have been identified.

Conclusion. To date, there is no clear definition of the "new" industrial policy, however, in modern scientific literature there are various methodological approaches that differ from the "old" type of industrial policy. The approaches discussed above differ in the emphasis either on the choice of specialisation – what to produce – or on the process by which prioritization and implementation occurs – how to produce.

Key Words

Green industrial policy, ecology, region, industrial ecology, sustainable development.

ВВЕДЕНИЕ

В современных геополитических условиях невозможность определения четких и единых ориентиров для реализации политики устойчивого развития в глобальном масштабе доказывает необходимость учета регионального уровня управления как ключевого в плане разработки и реализации современных моделей устойчивого развития. На этом уровне обеспечивается эффективное осуществление властных полномочий для решения конкретного, локального комплекса социально-экономических и экологических проблем территории. Необходимость ускорения перехода к «зеленым» и цифровым технологиям обуславливает более активное участие государства в экономике, в том числе посредством проведения активной промышленной политики. В связи с этим основное внимание следует уделить разработке и использованию современных методологических подходов к формированию новой региональной промышленной политики с учетом экологического аспекта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В классическом понимании промышленная политика большое внимание уделяет поддержке существующих промышленных процессов и в какой-то мере пересекается с инновационной политикой в плане поиска источников внутренней конкурентоспособности. Современная промышленная политика более тесно связана с инновационной политикой, основывается на географических преимуществах региона, диверсификацию промышленной структуры и инновациях в «зеленую экономику» [1].

Зеленая промышленная политика в широком смысле определяется как «государственное вмешательство для ускорения реструктуризации экономики в сторону экологической устойчивости» [2]. Ключевым аспектом зеленой промышленной политики является смещение экономических траекторий от традиционных отраслей к новым, «более зеленым» промышленным технологиям, например, путем расширения промышленных мощностей по производству возобновляемой энергии или переходу на экономику замкнутого цикла.

Экономика замкнутого цикла рассматривается как форма межорганизационного экологически устойчивого управления, основанная на поточном понимании характера производства, распределения, обмена, и потребления товаров в общественно-экономической системе и, следовательно, оборота ресурсов и энергии внутри этой системы [3]. С этой точки зрения становится очевидным, что необходимо комплексное изучение материальных, финансовых и энергетических потоков в промышленной системе. Это определяет важность использования концепции промышленной экологии в качестве методологической основы для разработки и реализации политики, направленной на достижение экологических целей функционирования таких систем [4].

Промышленная экология фокусируется на целостном видении физических потоков материалов и энергии с целью снижения воздействия промышленной деятельности на окружающую среду. Основное внимание уделяется оценке экологических аспектов, которые служат основой для разработки и реализации политики

посредством инноваций в «зеленой» промышленности. Отсутствие научной проработки обуславливает целесообразность и необходимость более детального, всестороннего и совместного изучения методологических основ промышленной экологии и активной региональной промышленной политики с целью определения возможностей их интеграции как основы формирования эффективной и действенной политики устойчивого развития региона [5].

ОБСУЖДЕНИЕ

Промышленная экология. С точки зрения промышленной экологии промышленность предстает как экосистема, в которой компании рассматриваются как организмы и являются неотъемлемой частью природной системы. Рассмотрение экономической системы как части природной выдвигает на первый план вопросы регулирования материальных, энергетических и информационных потоков, циркулирующих в сфере производства и потребления. Системный анализ и регулирование этих потоков составляют методологическую основу исследований в области промышленной экологии [6-7].

Основной задачей промышленной экологии является снижение воздействия на окружающую среду, связанного с функционированием промышленных предприятий. Это предполагает оптимизацию использования материалов и энергии за счет минимизации отходов в каскадных и циклических моделях использования ресурсов (например, отходов и побочных продуктов), минимизацию воздействия токсичных веществ, а также приоритет применения природных материалов. Следует подчеркнуть, что с точки зрения промышленной экологии экономические цели выступают как второстепенные, в какой-то мере косвенные, дополнительные результаты [8].

В основе парадигмы промышленной экологии лежит понимание взаимосвязи производственных процессов, а значит, и необходимость учета производственно-экологических отношений для снижения негативного воздействия системы в целом на окружающую среду. Таким образом, в центре внимания должны быть не отдельные производственные процессы, т.е. источники загрязнения, а межпроцессные и межорганизационные (межфирменные) взаимодействия [9].

Важной проблемой практической реализации принципов промышленной экологии является роль государственных институтов в этом процессе, что может выражаться в [10]:

- создании возможностей для развития эко-промышленных парков, в частности, за счет определения стандартов, регулирования прав собственности и политики ценообразования, упрощения природоохранных нормативных требований и разрешительных процедур в сфере обращения с отходами;
- стимулировании путем создания налоговых льгот и выделения субсидий, формирования специальных фондов для финансирования развития эко-промышленных парков;
- координации деятельности сетевых структур за счет выполнения посреднических функций по обмену информацией, что будет способствовать снижению транзакционных издержек.

Зеленая промышленная политика

Основная цель «зеленой промышленной политики» состоит в том, чтобы продвигать более экологически эффективные технологии, решающие экологические проблемы, одновременно повышая конкурентоспособность для решения экономических проблем, связанных с деиндустриализацией [11]. Зеленая промышленная политика направлена на построение новых траекторий развития промышленности вокруг «зеленой» экономики и, таким образом, напрямую решает задачи экологической политики. Существует мнение, что «зеленые» отрасли являются «молодыми отраслями», которым требуется дополнительная поддержка государства, прежде чем они станут конкурентоспособными. В этих условиях стратегически важное значение имеет скоординированная активная промышленная политика, которая поддерживает зеленые технологии, а инициатива при этом должна исходить от регионов [12–13].

Пегельс и Люткенхорст определяют зеленую промышленную политику как «государственное вмешательство, направленное на ускорение реструктуризации экономики в сторону экологической устойчивости» и выделяют четыре важных фактора: стимулирование инноваций, создание новых рабочих мест, смягчение последствий изменения климата и минимизация затрат для потребителей. Они отмечают, что международная торговля является ключевым фактором, поскольку регулирование тарифов, увеличение таможенных и акцизных сборов и протекционизм «местных» производителей представляют собой потенциальные инструменты для защиты отечественного производства и развития конкурентоспособных на международном уровне отраслей. Разнообразие инструментов политики было определено как зеленая промышленная политика [2].

Новая промышленная политика

Промышленная политика в классическом понимании представляет собой комплекс мер государства для развития собственных отраслей промышленности и защиты от внешней конкуренции [14]. Но за последние 30–40 лет промышленная политика изменила свой характер из-за ряда сохраняющихся структурных факторов и тенденций.

Во-первых, область применения промышленной политики переместилась с внешней торговли и протекционизма на внутреннюю систему регулирования и поддержки, оставаясь при этом открытой для внешних рынков и прямых иностранных инвестиций. Во-вторых, поскольку инновации стали играть более важную роль в качестве движущей силы экономического роста, граница между инновациями и промышленной политикой размылась до такой степени, что их уже невозможно различить. В-третьих, разговоры о новой промышленной политике усилились после мирового финансового кризиса, который поколебал твердую веру, что «свободный рынок» является единственным механизмом регулирования. В-четвертых, рост производства в Китае и его влияние на деиндустриализацию многих стран и регионов с формирующейся рыночной экономикой привели к пересмотру стратегий развития. В-пятых, изменение климата на планете показало, что невмешательство не гарантирует появления новых технологий снижения негативных последствий влияния человека на среду.

Одним из основных источников выбросов загрязняющих веществ является промышленное производство. По данным Росприроднадзора в последние годы уровень выбросов загрязняющих веществ промышленных предприятий в атмосферу достаточно стабилен и находится в пределах 17 млн тонн в год. Минимальное значение зафиксировано в 2020 году и вызвано снижением производства вследствие пандемии коронавируса (рис. 1).

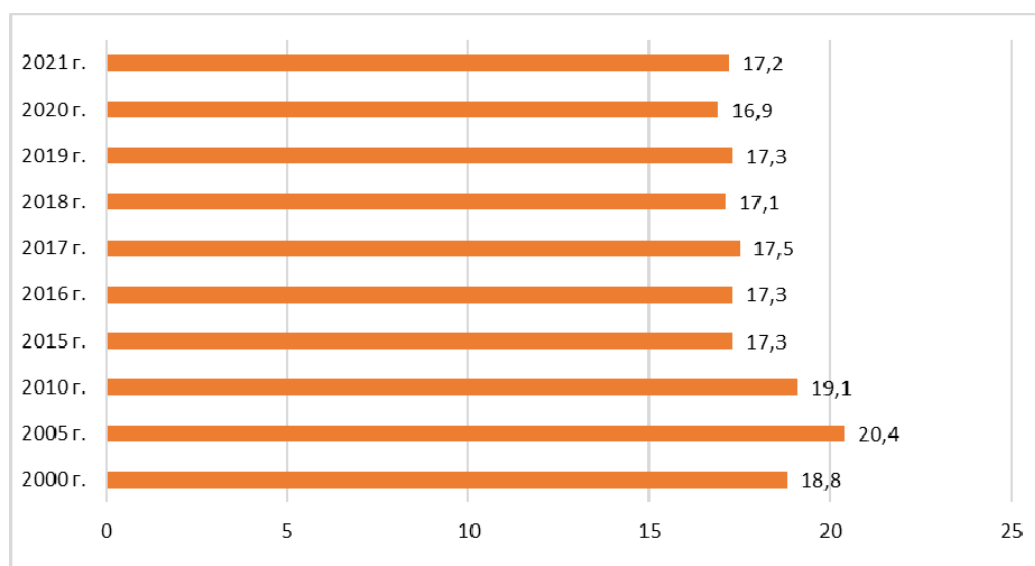


Рисунок 1. Выбросы в атмосферу промышленных предприятий по России в целом млн тонн

Figure 1. Emissions into the atmosphere from industrial enterprises in Russia as a whole, million tons

И если в целом по РФ рост выбросов в атмосферу промышленных предприятий составляет около полутора процентов, то в ряде регионов по сравнению с 2020 годом он оказался чрезмерно высоким (рис. 2).

В послепандемийном 2021 году в некоторых регионах России наблюдается также существенный рост количества промышленных предприятий, оказывающих негативное влияние на окружающую среду (рис. 3).

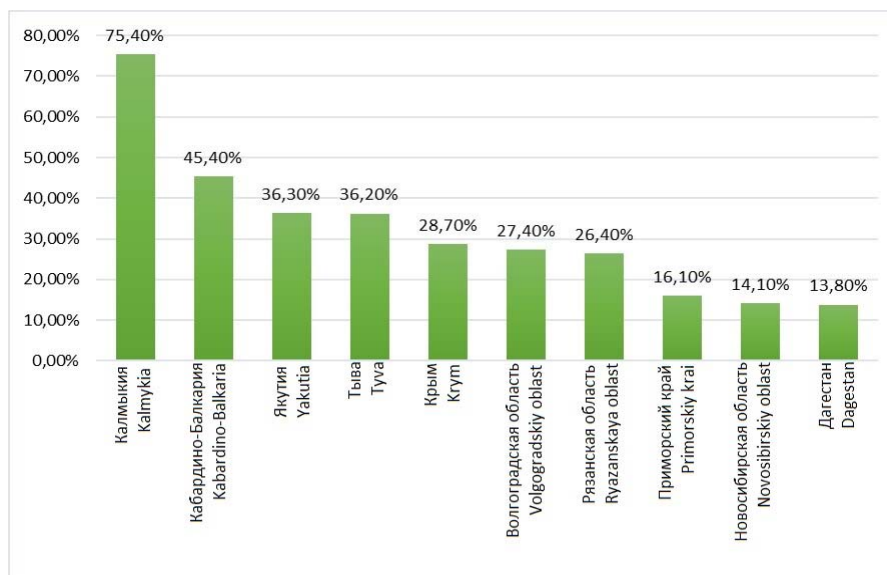


Рисунок 2. Регионы – лидеры по росту выбросов в атмосферу промышленных предприятий
Figure 2. Regions – Leaders in the growth of atmospheric emissions from industrial enterprises

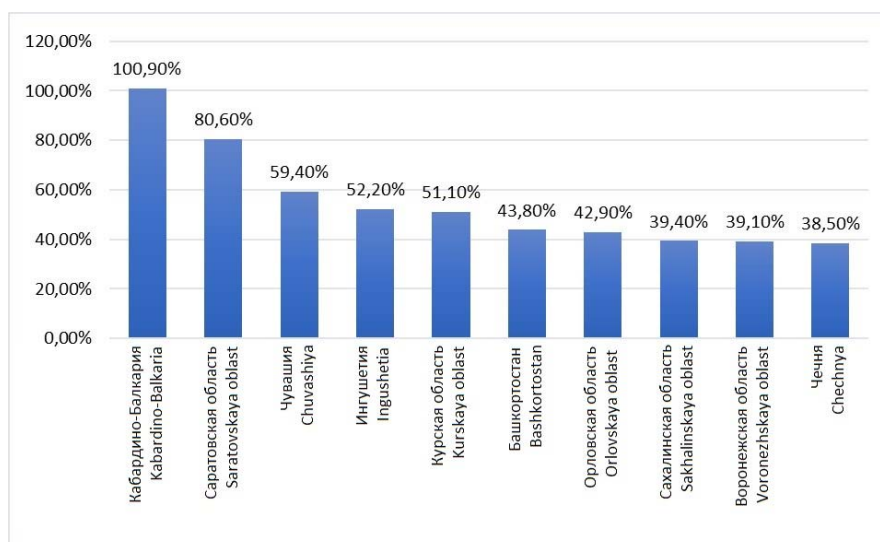


Рисунок 3. Регионы – лидеры по росту количества загрязняющих предприятий
Figure 3. Regions – Leaders in the growth of the number of polluting enterprises

Данные показатели свидетельствуют о том, что во многих регионах России промышленная политика проводится неэффективно. Рост промышленного производства происходит экстенсивно, путем увеличения количества предприятий или производств без учета экологических последствий, без использования современных технологий, снижающих негативное влияние на окружающую среду.

Все эти тенденции привели к существенным изменениям в понимании сущности современной политики и появлению новых подходов, которые можно определить как «новая или активная промышленная политика». В связи с этим необходимо установить, в чем же разница между «старой» и «новой активной» промышленной политикой.

С середины XX века и до 80-х годов в Советском союзе и во многих социалистических странах с централизованным планированием практиковалась политика импортозамещения с упором на тяжелую

индустрию. Впоследствии процессы глобализации привели к тому, что государство стало отходить от управления экономикой в сторону свободного рынка, основанного на приватизации госсобственности, внедрении рыночных стимулов развития и ориентацией на внешние рынки [15]. Данный подход игнорировал накопленный богатый организационный технологический и инновационный потенциал, что считалось неуместным в условиях открытой экономики, и все были уверены, что его можно будет достаточно быстро восстановить. Основной задачей государства в целях экономического роста было исправление «провалов рынка» [16].

На сегодняшний день нет четкого определения «новой промышленной политики», однако в современной научной литературе существуют различные методологические подходы, которые отличаются от «старого» типа промышленной политики, таблица 1.

Таблица 1. Методологические подходы к определению «новой» промышленной политики**Table 1.** Methodological approaches to the definition of a “new” industrial policy

1. Изменение отраслевой структуры 1. Change in industry structure	Развивающиеся регионы должны специализироваться в тех отраслях и сферах, в которых развитые регионы по каким-то причинам теряют свои сравнительные преимущества Developing regions should specialise in those industries and areas which, for some reason, are losing their comparative advantages
2. Умная специализация 2. Smart specialization	Национальные и региональные органы власти выступают в роли модераторов, «помощников» инновационной деятельности в потенциальных сферах будущих технологических преимуществ National and regional authorities act as moderators and facilitators of innovation in potential areas of future technological advantage.
3. Целеориентированная инновационная политика 3. Goal-oriented innovation policy	Подход, применяемый в дополнение к умной специализации. Он направлен на то, чтобы ориентировать инновационную политику на решение крупных социальных, экологических и технологических задач Approach taken to complement smart specialisation. This aims to focus innovation policy on solving major social, environmental and technological challenges
4. «Обязательные ограничения» 4. “Mandatory restrictions”	Широкий перечень общих ограничений территориального экономического роста заменяется тщательно определенными ключевыми ограничениями, оказывающими существенное влияние на экономику и их снятие принесет гораздо большую отдачу в будущем A wide range of general restrictions on territorial economic growth to be replaced by carefully defined key restrictions that have a significant impact on the economy and whose removal will bring much greater returns in the future
5. Подход Шумпетера 5. Schumpeterian Approach	Подход направлен на «обнаружение» областей региональной специализации, однако выбор специализации региона не очевиден, но исторически зависит от так называемых «окон возможностей» или периодов и отраслей быстрых технических преобразований Approach aimed at “discovering” areas of regional specialization. However, the choice of regional specialization is not obvious but historically depends on so-called “windows of opportunity” or periods and industries of rapid technical change
6. Продуктовое пространство 6. Product space	Соседние регионы в существующих отраслях обладают знаниями, которые помогают им успешно модернизировать и диверсифицировать производство в смежных отраслях своего продуктового пространства Neighboring regions in existing industries which have the knowledge to help them successfully modernise and diversify into related industries in their product space

Рассмотрим более подробно каждый из вышеперечисленных подходов.

1. Изменение отраслевой структуры – методология этого подхода заключается в том, что развивающиеся регионы должны специализироваться в тех отраслях и сферах, в которых развитые регионы по каким-то причинам теряют свои сравнительные преимущества. Другими словами, отрасли «заката» в так называемых регионах-лидерах могут стать скрытым потенциальным сравнительным преимуществом развивающихся экономик. Для этого необходима отраслевая промышленная политика, ориентированная на сектора, представляющие собой латентные сравнительные преимущества региона. В данном подходе предполагается активная помогающая роль государства, которая может изменяться в зависимости от типа рассматриваемого сравнительного преимущества [17].

2. Умная специализация – данный методологический подход в основном используется в странах Евросоюза. Суть его заключается в том, что национальные и региональные органы власти выступают в роли модераторов, «помощников» инновационной деятельности в потенциальных сферах будущих технологических преимуществ. Стратегия умной специализации стремится объединить два направления: вертикальную расстановку приоритетов с выходом на рынок новых фирм на основе конкуренции и

предпринимательства. Основное место в этом подходе занимают формирование экономической политики региона и так называемый процесс предпринимательских открытий, соответствующих скрытым потенциальным сравнительным преимуществам. Приоритет отдается не отдельным отраслям или предприятиям, а новым сферам деятельности, при этом структурные изменения происходят посредством коллективного вовлечения всех заинтересованных сторон в инновационный процесс [18].

3. Целеориентированная инновационная политика – подход, применяемый в странах Евросоюза в дополнение к умной специализации. Он направлен на то, чтобы ориентировать инновационную политику на решение крупных социальных, экологических и технологических задач. Миссии данного подхода являются как средством определения направлений экономического роста, так и средством достижения целей. Примеры применения включают углеродно-нейтральные территории, океаны без пластика и т.п. Хотя этот подход был положительно воспринят в развитых странах, его еще предстоит полностью опробовать в случае малых догоняющих экономик, технологическая модернизация которых неизбежно связана с использованием и импортом современных знаний и технологий.

4. «Обязательные ограничения» – этот подход предполагает, что некоторые ограничения экономического роста региона должны иметь приоритет, поскольку их снятие принесет гораздо большую отдачу в будущем. Широкий перечень общих ограничений территориального экономического роста заменяется тщательно определенными ключевыми ограничениями, оказывающими существенное влияние на экономику. Как и другие подходы к «новой» промышленной политике, подход «обязательных ограничений» исходит из того же предположения, что конечные ограничения заранее не известны и их необходимо определить. Необходимость избирательности возникает в связи с ограниченными техническими, финансовыми и политическими возможностями страны или региона. «Обязательные ограничения» требуют избирательного подхода, нацеленного на те отрасли и сферы деятельности, в которых наблюдается наиболее значительная отдача от роста [19].

5. Подход Шумпетера – подход, ориентированный на рыночные механизмы и инструменты, который так же, как и другие новые подходы в области промышленной политики, направлен на «обнаружение» областей региональной специализации. Однако выбор специализации региона не очевиден, но исторически зависит от так называемых «окон возможностей» или периодов и отраслей быстрых технических преобразований как, например, опыт Южной Кореи или Тайваня [20]. Однако при этом подходе регионы не могут наверстать упущенное, напрямую подражая или копируя практику опережающих экономик, поскольку наверстывание у каждого происходит по своему пути. Отрасли, в которых специализировались Южная Корея и Тайвань, имели низкие входные барьеры, так что действующим субъектам не было необходимости накапливать знания и создавать барьеры для новичков. Специализируясь на отраслях, где технологические изменения происходят быстро, а знания еще не накоплены, опоздавшие фирмы могут получить конкурентное преимущество и стать глобальными игроками.

6. Продуктовое пространство – данный методологический подход, разработанный учеными Массачусетского технологического института, все более широко используется на международном уровне в качестве основы для выбора приоритетов промышленной политики. Этот метод основан на стилизованном факте, что регионы, как правило, имеют производственные структуры, аналогичные структурам их более богатых соседей. Соответственно, соседние регионы в существующих отраслях обладают знаниями, которые помогают им успешно модернизировать и диверсифицировать производство в смежных отраслях своего продуктового пространства. Предполагается, что регионам легче специализироваться в тех технологических сферах, в которых они уже имеют некоторые сравнительные преимущества. Основанием для выбора приоритетных направлений является сходство номенклатуры производимой продукции с продукцией других регионов. С ростом дохода доля производства наиболее сложных высокотехнологичных продуктов увеличивается, в то время как производство менее сложных продуктов уменьшается. В отличие от первого подхода, предполагающего переход к новым и несвязанным технологическим сферам, этот подход предполагает специализацию в смежных отраслях своего продуктового пространства [21].

Рассмотренные выше подходы различаются акцентом либо на выборе специализации – что производить, либо на процессе, посредством которого происходит расстановка приоритетов и реализация – как производить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе анализа методологических подходов к определению «новой» промышленной политики условно можно выделить ее общие черты (рис. 4):

- Она активная и сосредоточена на инновациях и модернизации технологий в межотраслевом аспекте. Границы отрасли определяются не производимыми продуктами по какой-либо условной классификации, а скорее отраслями и сферами, где деятельность соответствует имеющимся возможностям внедрения новых технологий.

- Она экологична – сконцентрирована вокруг субъектов инновационной экосистемы функционирующих на принципах промышленной экологии и направлена на расширение возможностей частного сектора для сотрудничества в новых технологических областях. При этом старые механизмы промышленной политики, такие как, например, субсидирование отдельных предприятий, уже не работают. Необходимы новые подходы, которые будут стимулировать сотрудничество между компаниями, и усиливать взаимозависимость с целью снижение воздействия на окружающую среду, связанного с функционированием промышленных предприятий, путем оптимизации использования материалов и энергии, минимизации отходов, применения природных материалов и т.п.

- Она «умная», потому что есть понимание, что окончательные пределы роста заранее неизвестны, и эти ограничения необходимо «обнаружить» в процессе, который, в свою очередь, поможет понять эти ограничения. Другими словами, новая промышленная политика открывает свободу для экспериментов [22].

- Она ориентирована на рынок, а не против него. Использование рыночных механизмов при распределении ресурсов на любой стадии развития и признание содействующей роли государства в модернизации промышленного сектора экономики являются основными элементами новых подходов к промышленной политике. Главная задача заключается в том, чтобы усилить скрытые сравнительные преимущества экономики региона путем привлечения прямых инвестиций для модернизации отечественных технологий [23].

- Есть представление того, что кроме провалов рынка существуют и системные сбои в экономике и различие между рыночным и системным (координационным) сбоем весьма важно. То, что может показаться рыночным сбоем, может быть координационным или системным сбоем из-за отсутствия знаний о потенциальном рынке и технологических возможностях. Роль государства в этих условиях состоит не в том, чтобы заменить рынок, а в том, чтобы усилить координацию путем создания недостающих посреднических механизмов «нерыночной регуляции рынков», содействовать развитию таких институтов частного сектора, которые могут преодолеть эти недостатки, а не решать проблему координации самостоятельно.



Рисунок 4. Общие принципы «новой» региональной промышленной политики

Figure 4. General principles of a “new” regional industrial policy

- Она предполагает использование элементов экспериментального управления на принципах «скоординированной децентрализации», т.е. возможность субъектов экспериментировать с различными способами решения технологических проблем. При этом создается гибкая форма стратегического сотрудничества между государственным и частным секторами, предназначенная для получения информации о целях, распределении ответственности за решения и оценки результатов по мере их появления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Uyarra E., Zabala-Iturriagagoitia J.M., Flanagan K., Magro E. Public procurement, innovation and industrial policy: Rationales, capabilities and implementation // *Research Policy*. 2020. V. 49. P. 103–144.
- Pegels A., Lütkenhorst W. Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV // *Energy Policy*. 2014. V. 74. P. 522–534.
- Мишенин Е.В., Коблянская И.И. Перспективы и механизмы развития «циркулярной» экономики в глобальной среде // *Маркетинг и менеджмент инноваций*. 2017. N 2. С. 329–343.
- Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. Circular Economy: The Concept and its Limitations // *Ecological Economics*. 2018. V. 143. P. 37–46.
- Москаленко Н.А., Гаймур Е.С. Экономико-экологические аспекты деятельности промышленных предприятий // *Бизнес Информ*. 2012. N 10. С. 120–123.
- Korhonen J. Two Paths to Industrial Ecology: Applying the Product-based and Geographical Approaches // *Journal of Environmental Planning and Management*. 2002. V. 45. P. 39–57.
- Ахмедова Л.Ш., Идзиев Г.И. Устойчивое развитие региона на основе обеспечения экологического равновесия // *Региональная экономика: теория и практика*. 2013. N 18. С. 12–17.
- Kovács G. Circular economy vs. closed loop supply chains: what is new under the sun? Constructing a Green Circular Society. Helsinki: Unigrafia Oy. 2017. P. 6–13.
- Walls J.L., Paquin R.L. Organizational Perspectives of Industrial Symbiosis: A Review and Synthesis // *Organization and Environment*. 2015. V. 28. P. 32–53.
- Цуркан М.В., Любарская М.А. Развитие экотехнопарков в рамках проектного управления // *Вестник Тверского государственного университета*. 2018. N 3. С. 80–89.
- Идзиев Г.И. Инновационное развитие промышленности в условиях деиндустриализации российских регионов // *Региональные проблемы преобразования экономики*. 2022. Т. 140. N 6. С. 14–21.
- Старцев А.А. «Зелёная» промышленность – это самое начало «зелёного» строительства // *Вестник «ЮНИДО в России»*. 2011. N 2. С. 82–85.
- Эдильян Э.Т. «Зеленая» промышленная политика: институционализация, мировой опыт, особенности реализации в России // *Государственное и муниципальное управление. Ученые записки*. 2019. N 2. С. 180–185.
- Фоломьев А.Н. Новая промышленная политика и инновационные преобразования национальной экономики // *Инновации*. 2017. Т. 230. N 12. С. 28–33.
- Пашкус В.Ю., Зюзина Л.А. Современная промышленная политика: приоритеты развития региональной инновационной системы и проблемы импортозамещения // *Маркетинг MBA. Маркетинговое управление предприятием*. 2019. Т. 10. N 2. С. 76–107.
- Дубинина Н.А., Ланцман Е.Н. Анализ подходов к формированию промышленной политики // *Актуальные проблемы экономики и права*. 2013. N 4. С. 144–151.
- Radosevic S., Yoruk E. Technology upgrading of middle income economies: A new approach and results // *Technological Forecasting and Social Change*. 2018. V. 129. P. 56–75.
- Мерзликина Г.С. Концепция «умной специализации» регионов: уточнение принципов // *Вопросы инновационной экономики*. 2021. Т. 11. N 3. С. 997–1014.
- Hausmann R., Rodrik D., Velasco A. Growth Diagnostics, The John F. Kennedy School of Government, Harvard University. 2005. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.446.2212&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 06.01.2023)
- Lee K. Schumpeterian Analysis of Economic Catch-Up: Knowledge: Path-Creation and the Middle-Income Trap. Cambridge University Press. New York, 2013.
- Felipe J., Kumar U., Abdon A., Bacate M. Product complexity and economic development // *Struct. Change Econom. Dyn.* 2012. N 23. P. 36–68.
- Ланская Д.В., Яковленко А.Е. Региональная стратегия неоиндустриализации на базе шестого технологического уклада и формирования новых отраслей экономики знаний // *Креативная экономика*. 2018. Т. 12. N 10. С. 1569–1586.
- Бодрунов С.Д., Боровков А.В. Новое индустриальное развитие и модернизация производственных систем российской промышленности // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2017. Т. 25. N 4. С. 19–29.

REFERENCES

1. Uyarra E., Zabala-Iturriagagoitia J.M., Flanagan K., Magro E. Public procurement, innovation and industrial policy: Rationales, roles, capabilities and implementation. *Research Policy*. 2020, vol. 49, pp. 103–144.
2. Pegels A., Lütkenhorst W. Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV. *Energy Policy*. 2014, vol. 74, pp. 522–534.
3. Mishenin E.V., Koblyanskaya I.I. Prospects and mechanisms for the development of the "circular" economy in the global environment. *Marketing i menedzhment innovatsii* [Marketing and management of innovations]. 2017, no. 2, pp. 329–343. (In Russian)
4. Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*. 2018, vol. 143, pp. 37–46.
5. Moskalenko N.A., Gaimur E.S. Economic and environmental aspects of the activities of industrial enterprises. *Biznes Inform* [Business Inform]. 2012, no. 10, pp.120–123. (In Russian)
6. Korhonen J. Two Paths to Industrial Ecology: Applying the Product-based and Geographical Approaches. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2002, vol. 45, pp. 39–57.
7. Akhmedova L.Sh., Idziev G.I. Sustainable development of the region based on ensuring ecological balance. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional economy: theory and practice]. 2013, no. 18, pp. 12–17. (In Russian)
8. Kovács G. Circular economy vs. closed loop supply chains: what is new under the sun? *Constructing a Green Circular Society*. Helsinki, Unigrafia Oy, 2017, pp. 6–13.
9. Walls J.L., Paquin R.L. Organizational Perspectives of Industrial Symbiosis: A Review and Synthesis. *Organization and Environment*. 2015, vol. 28, pp. 32–53.
10. Tsurkan M.V., Lyubarskaya M.A. Development of ecotechnoparks within the framework of project management. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Tver. State University]. 2018, no. 3, pp. 80–89. (In Russian)
11. Idziev G.I. Innovative development of industry in the conditions of deindustrialization of Russian regions. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional problems of transformation of the economy]. 2022, vol. 140, no. 6, pp. 14–21. (In Russian)
12. Startsev A.A. "Green" industry is the very beginning of "green" construction. *Vestnik «YUNIDO v Rossii»* [Vestnik "UNIDO in Russia"]. 2011, no. 2, pp. 82–85. (In Russian)
13. Edilyan E.T. "Green" industrial policy: institutionalization, world experience, features of implementation in Russia. *Gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie. Uchenye zapiski* [State and municipal management. Scientific notes]. 2019, no. 2, pp.180–185. (In Russian)
14. Folomiev A.N. New industrial policy and innovative transformations of the national economy. *Innovatsii* [Innovations]. 2017, vol. 230, no. 12, pp. 28–33. (In Russian)
15. Pashkus V.Yu., Zyuzina L.A. Modern industrial policy: development priorities of the regional innovation system and problems of import substitution. *Marketing MBA. Marketingovoe upravlenie predpriyatiem* [Marketing MBA. Marketing management of the enterprise]. 2019, vol. 10, no. 2, pp.76–107. (In Russian)
16. Dubinina N.A., Lantsman E.N. Analysis of approaches to the formation of industrial policy. *Aktual'nye problemy ekonomiki i prava* [Actual problems of economics and law]. 2013, no. 4, pp. 144–151. (In Russian)
17. Radosevic S., Yoruk E. Technology upgrading of middle income economies: A new approach and results. *Technological Forecasting and Social Change*. 2018, vol. 129, pp. 56–75.
18. Merzlikina G.S. The concept of "smart specialization" of regions: clarification of principles. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki* [Issues of innovative economics]. 2021, vol. 11, no. 3, pp. 997–1014. (In Russian)
19. Hausmann R., Rodrik D., Velasco A. *Growth Diagnostics*, The John F. Kennedy School of Government, Harvard University, 2005. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.446.2212&rep=rep1&type=pdf> (accessed 06.01.2023)
20. Lee K. *Schumpeterian Analysis of Economic Catch-Up: Knowledge: Path-Creation and the Middle-Income Trap*. Cambridge University Press, New York, 2013.
21. Felipe J., Kumar U., Abdon A., Bacate M. Product complexity and economic development. *Struct. Change Econom. Dyn.* 2012, no. 23, pp. 36–68.
22. Lanskaya D.V., Yakovlenko A.E. Regional strategy of neo-industrialization on the basis of the sixth technological order and the formation of new branches of the knowledge economy. *Kreativnaya ekonomika* [Creative Economy]. 2018, vol. 12, no. 10, pp. 1569–1586. (In Russian)
23. Bodrunov S.D., Borovkov A.V. New industrial development and modernization of production systems of the Russian industry. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the South-Western State University]. 2017, vol. 25, no. 4, pp. 19–29. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Гаджимурад И. Идзиев / Gadzhimurad I. Idziev <https://orcid.org/0000-0002-0109-3048>
 Лейла Ш. Ахмедова / Leyla Sh. Akhmedova <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>
 Патимат А. Бекшокова / Patimat A. Bekshokova <https://orcid.org/0000-0001-5473-0728>
 Загир В. Атаев / Zagir V. Ataev <https://orcid.org/0000-0001-7731-5594>

Оригинальная статья / Original article
УДК 633.161:632.51:632.954:631.95
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-170-178



Агроэкологическая оценка применения гербицидов на посевах сои в центральной зоне Краснодарского края

Анатолий П. Савва, Тамара Н. Тележенко, Валерия А. Суворова
Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Анатолий П. Савва, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией гербологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о 39.
Тел. +79184436636
Email savap53@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9457-2223>

Формат цитирования

Савва А.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А.
Агроэкологическая оценка применения гербицидов на посевах сои в центральной зоне Краснодарского края // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 170-178. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-170-178

Получена 10 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 23 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Агроэкологическая оценка применения гербицидов на посевах сои сорта Арлета в центральной зоне Краснодарского края.

Материал и методы. Эксперименты проводили на опытном поле Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» в 2022 году согласно методическим рекомендациям по испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве. В опыте использовали гербициды из разных химических классов. Эффективность оценивали по разнице сорняков и урожая зерна сои в сравнении с контролем. Сравнительную экотоксикологическую нагрузку препаратов проводили по экологической нагрузке и коэффициенту избирательности действия для почвы.

Результаты. Виды сорных растений в опыте высокоэффективно подавлялись гербицидами Пульсар, ВР, Пивот, ВК и смесью Базагран, ВР + Зеллек Супер, КЭ (88–98 %). При применении препаратов Дуал Голд, КЭ, Фронтьер Оптима, КЭ и Пропонит, КЭ до всходов сои биологическая эффективность была ниже. Препараты Пульсар, ВР и Пивот, ВК, в сравнении с другими гербицидами, обладали более низким уровнем экологической нагрузки и высоким коэффициентом избирательного действия и отвечают современным требованиям безопасности по отношению к природной среде.

Выводы. При выборе гербицидов для применения на посевах сои в центральной зоне Краснодарского края в целях охраны окружающей среды их следует комплексно подбирать с учетом экотоксикологической нагрузки препаратов.

Ключевые слова

Соя, урожайность, сорное растение, гербицид, эффективность, экологическая нагрузка, коэффициент избирательного действия.

Agroecological assessment of herbicides application on soybean crops in the central zone of Krasnodar Territory, Russia

Anatoly P. Savva, Tamara N. Telezhenko and Valeria A. Suvorova

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Anatoly P. Savva, PhD in Biology, Leading Researcher & Head, Laboratory of Herbology, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Russia 350039.

Tel. +79184436636

Email savap53@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9457-2223>

How to cite this article

Savva A.P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A. Agroecological assessment of herbicides application on soybean crops in the central zone of Krasnodar Territory, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 170-178. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-170-178

Received 10 May 2023

Revised 23 June 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. Agroecological assessment of herbicides application on crops of soybean variety Arleta in the central zone of Krasnodar Territory.

Materials and Methods. The experiments were carried out on the experimental field of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection in 2022 according to the methodological recommendations for testing herbicides in agriculture. Herbicides from different chemical classes were used in the experiment. Efficiency was assessed by the difference in weed and soybean grain yield in comparison with the control. The comparative ecotoxicological load of preparations was carried out according to the ecological load and the coefficient of selectivity of action for the soil.

Results. Weed species in the experiment were highly effectively suppressed by the herbicides Pulsar, BP, Pivot, VK and a mixture of Bazagran, BP + Zellek Super, and KE (88–98 %). When using Dual Gold, EC, Frontier Optima, EC and Proponit, and EC before the soybean shoots, the biological efficacy was lower. The preparations Pulsar, BP and Pivot, and VK, in comparison with other herbicides, had a lower level of environmental load and a high coefficient of selective action and meet modern safety requirements for the natural environment.

Conclusions. In order to protect the environment when choosing herbicides for application on soybean crops in the central zone of Krasnodar Territory, they should be comprehensively selected taking into account the ecotoxicological load of the preparations.

Key Words

Soybean, yield, weed, herbicide, efficiency, environmental load, selective action coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Защита сельскохозяйственных культур от сорной растительности, как основная часть регулирования численности вредных организмов агрофитоценозов, должна занимать в современном земледелии страны особое положение.

Засоренность посевов культурных растений является постоянно присутствующим компонентом полевых севооборотов и становится со временем все более серьезной проблемой недобора урожая и ухудшения его качественных характеристик [1]. По степени отрицательного влияния на эти показатели сорняки занимают первое место среди других неблагоприятно воздействующих факторов [2]. Они лучше культурных растений адаптировались к условиям окружающей среды обитания и могут оказывать высокую конкуренцию за потребление из почвы питательных веществ, вносимых минеральных и органических удобрений, влаги и солнечной энергии [3]. Сорняки затрудняют уход за посевами и проведение уборочных работ, что требует дополнительных затрат труда, материально-технических средств и финансовых ресурсов, тем самым это приводит к удорожанию хозяйственно-ценной продукции растениеводства [4]. Сорная растительность представляет благоприятную базу для резервации возбудителей болезней и вредителей сельскохозяйственных культур, содействует распространению и накоплению многих видов фитопатогенов и фитофагов, является местом для обитания вредных грызунов [5]. Ежегодные потери урожая основных сельскохозяйственных культур от сорной растительности могут составлять от 15 до 25 % и более [6].

Таким образом, борьба с сорной растительностью в нашей стране на настоящее время является одной из главных проблем в области защиты растений, которая направлена на сохранение потенциального урожая и его качества [7]. Без решения этой проблемы бессмысленно проводить мероприятия, направленные на повышение плодородия почвы и увеличения продуктивности растениеводства.

В связи с этим, эффективная борьба с сорной растительностью является обязательной ежегодной технологией и экономической необходимостью при возделывании практически всех сельскохозяйственных культур во многих регионах мира [8].

Устранение или уменьшение конкурентных взаимоотношений между растениями культур и сорняков возможно с использованием агротехнического, биологического и химического методов [9].

На настоящее время самым эффективным и востребованным способом защиты посевов сельскохозяйственных культур является химический, который основан на использовании гербицидов разных классов соединений [10]. При грамотном их применении с учетом видового состава сорной растительности, фазы их роста и развития, степени засоренности можно значительно снизить численность или полностью уничтожить сопутствующи

щие сельскохозяйственным культурам сорные растения [11].

Применение гербицидов позволяет обеспечить высокую биологическую и хозяйственную эффективность, а также быструю окупаемость денежных средств, для проводимых защитных мероприятий. Все это способствует широкому масштабному использованию этого метода, как важнейшего элемента технологии возделывания сельскохозяйственных культур [12].

Однако при применении гербицидов возникает ряд трудно решаемых проблем. Это, прежде всего, появление и накопление к ним устойчивых видов сорняков, длительная инактивация в почве, отрицательное последствие на последующие культуры севооборота. Далее, они создают серьезную угрозу экологической обстановке, загрязняя окружающую среду биологически активными веществами небезразличными для агроценозов и здоровья человека [13]. Поэтому неграмотное и неразумное их применение может негативно повлиять на экологию.

В этом направлении постоянно ведется активная работа по уменьшению гектарной нормы гербицидов за счет синтеза новых действующих веществ, обладающих высокой эффективностью в низких нормах внесения.

Цель работы – сравнительная агроэкологическая оценка гербицидов на посевах сои в центральной зоне Краснодарского края.

Задача исследования: определить биологическую и хозяйственную эффективность используемых гербицидов на посевах сои и провести расчеты их экотоксикологической опасности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по агроэкологической оценке применения гербицидов проводили на посевах сои сорта Арлетав полевых условиях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» в 2022 году.

Климат степной равнинной части Краснодарского края характеризуется отсутствием выраженных времен года. По температурному режиму – умеренно-континентальный [14]. Годовой ход температуры резко выражен. В январе этот показатель составлял -3...-5°C, в июле +22...+24°C. Общее количество выпавших атмосферных осадков за календарный год находится в пределах 400...600 мм.

Условия проведения опыта представлены на рисунке, из которого следует, что температура воздуха в мае была близка к среднегодовым данным. В июне и августе она была в среднем на 3°C, а в июне на 7,5°C выше нормы. Количество атмосферных осадков в мае и июне в 2,3 и 1,5 раза превышало среднегодовое показатели, соответственно. Сумма осадков в июне была практически на уровне нормы, а в августе наблюдался сильный дефицит влаги [15].

Почва опытного участка была представлена черноземом, выщелоченным малогумусным сверхмощным по гранулометрическому составу легкоголистый. Количество гумуса в верхнем горизонте – 3,4 %. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной ($pH_{водн.} = 6,9$) [14].

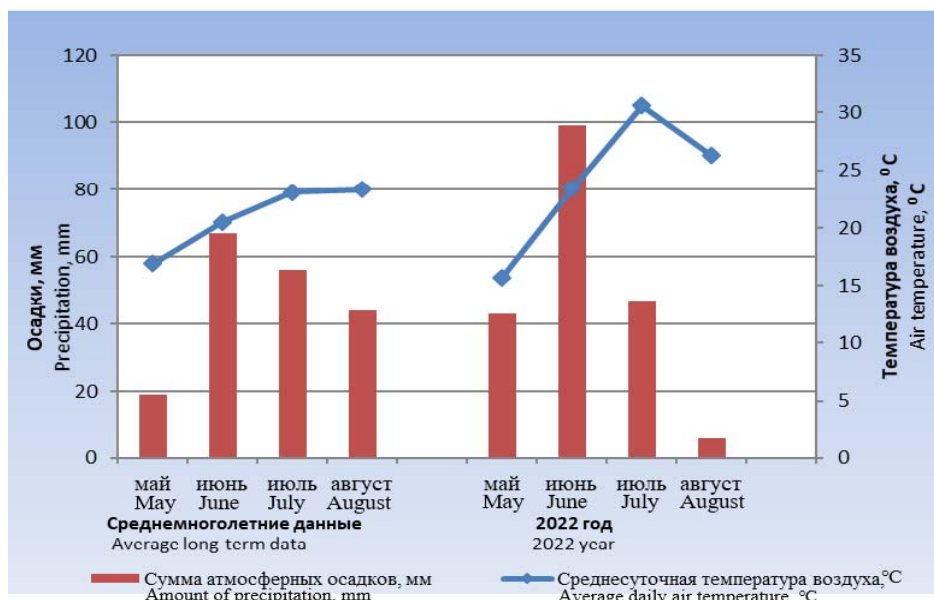


Рисунок. Метеорологические условия проведения полевого опыта, 2022 г.

Figure. Meteorological conditions for the field experiment, 2022

Выращивание сои проводили по принятой технологии для центральной зоны Краснодарского края, которая включала в себя лущение стерни предшественника (озимая пшеница) с последующей глубокой вспашкой. Весной – боронование и предпосевная культивация. Посев сои (сорт Арлета) был проведен 28 апреля 2022 года из расчета 360 тыс. шт./га [15].

Посевы сои на опытном участке были засорены однолетними двудольными сорными растениями – марью белой (*Chenopodium album* L.), дурнишником обыкновенным (*Xanthium strumarium* L.), амброзией полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.), щирицей запрокинутой (*Amaranthus retroflexus* L.), и злаками – щетинником сизым (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. Et Schult), ежовником обыкновенным (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv) [14].

В эксперименте использовали гербициды, разрешенные к применению на территории Российской Федерации на посевах сои: Дуал Голд, КЭ (С-металахлор – 960 г/л); Фронтьер Оптима, КЭ (диметенамид-Р – 720 г/л); Пропонит, КЭ (пропизохлор – 720 г/л); Пульсар, ВР (имазамокс – 40 г/л); Пивот, ВК (имазетапир – 100 г/л); Базагран, ВР (бентазон – 480 г/л); Зеллек Супер, КЭ (галаксифоп-П-этил – 104 г/л к-ты).

Внесение рабочих растворов гербицидов в максимальной норме их применения проводили до всходов и в фазе 2-3 тройчатых листьев сои ручным опрыскивателем «PULVEREX», оборудованным штангой (2 метра) с плоскоструйными распылителями (ТЕЕJET 11002 VS) при расходе рабочей жидкости 200 л/га. Площадь делянок в опыте составляла 25 м² при четырехкратной повторности с рендомизированным их расположением [16].

Закладку и проведение полевого эксперимента проводили согласно методическим указаниям по испытанию гербицидов в сельскохозяйственном производстве [17]. Учеты засоренности проводили в четыре срока. Первый – с определением видов сорных растений, плотности засоренности, их фазы роста и развития осуществляли непосредственно перед внесением гербицидов (исходная засоренность). Через 30 и 45 дней после нанесения препаратов проводили второй и третий учеты, при которых учитывали количество сорных растений по видам и определяли их сырую надземную биомассу. При уборке урожая проводили четвертый учет сорняков по их количеству [16].

Уборку урожая сои на экспериментальных делянках опыта выполняли напрямую комбайном ХЕГЕ-125 с последующим взвешиванием и определением урожайности зерна (т/га).

Биологическую эффективность препаратов проводили по уменьшению количества и массы сорняков, хозяйственную – в разнице урожая культуры по отношению варианта без использования гербицидов (контроль).

Результаты, полученные в полевом опыте, были статистически обработаны способом дисперсионного анализа (Microsoft Office Excel).

Экотоксикологическую оценку гербицидов рассчитывали по двум показателям [18].

Первый – экологическая нагрузка для почвы:

$$ЭН = \frac{D \cdot T_{50}}{LD_{50}}$$

где D – суммарная за сезон доза действующего вещества, мг/га; T₅₀ – период полураспада пестицида в почве, недель; LD₅₀ – среднетоксическая норма пестицида, мг/кг.

Второй – коэффициент избирательного действия:

$$КИД = \frac{LD_{50}}{D}$$

где LD₅₀ – среднетоксическая норма пестицида, мг/кг; D – суммарная норма гербицида за вегетационный период, л/га.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные полевых опытов свидетельствуют о том, что применение 1,6 л/га препарата Дуал Голд, КЭ до всходов сои обеспечило 75,5...80,8 % снижение численности сорняков до уборки урожая культуры в сравнении с контролем (табл. 1).

Таблица 1. Действие гербицидов на общую засоренность посевов сои**Table 1.** Effect of herbicides on total weediness of soybean crops

Варианты опыта Experimental variants	Номер учета Account number	Численность сорных растений Number of weeds		Сырая масса сорных растений Raw mass of weeds			
		экз. / м² copies / m²	снижение, % к контролю decline, % to control	г/м² g/m²		снижение, % к контролю decline, % to control	
				злако- вые cereals	двудо- льные bipartite	злако- вые cereals	двудо- льные bipartite
до всходов / before germination							
Дуал Голд, КЭ – 1,6 л/га Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	2	20,5	80,6	2	123	97,9	61,3
	3	21,9	78,1	8	218	94,9	58,4
	4	23,7	75,5	-	-	-	-
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	2	23,0	78,8	5	134	94,7	57,9
	3	24,4	75,6	11	235	92,9	55,2
	4	26,2	72,9	-	-	-	-
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га Proponite, CE – 3,0 l/ha	2	21,6	79,5	3	128	96,0	59,7
	3	23,1	76,9	9	225	94,2	57,1
	4	24,8	74,3	-	-	-	-
Без гербицидов (контроль) Herbicide-free (control)	2	105,4	-	95	318	-	-
	3	100,1	-	156	524	-	-
	4	96,6	-	-	-	-	-
фаза 2-3 тройчатых листьев / phase 2-3 triple leaves							
Пульсар, ВР – 1,0 л/га Pulsar, AS – 1,0 l/ha	2	7,0	93,2	12	46	97,1	94,7
	3	8,9	91,0	33	99	94,6	92,3
	4	10,7	88,8	-	-	-	-
Пивот, ВК – 0,8 л/га Pivot, WC – 0,8 l/ha	2	8,3	92,0	18	59	95,6	93,2
	3	10,4	89,5	37	122	94,0	90,5
	4	12,1	87,9	-	-	-	-
Базагран, ВР + Зеллек-супер, КЭ – 3,0 + 0,5 л/га Bazagran, AS + Zellek-super, CE – 3,0 l/ha + 0,5 l/ha	2	7,5	92,7	7	64	98,2	92,6
	3	9,3	90,6	22	118	96,4	90,8
	4	11,2	88,3	-	-	-	-
Без гербицидов (контроль) Herbicide-free (control)	2	103,4	-	405	863	-	-
	3	98,9	-	608	1288	-	-
	4	95,6	-	-	-	-	-

Подавление сырой надземной биомассы однолетних злаковых и двудольных сорных растений спустя 30 и 45 дней после внесения гербицида составляло 94,9...97,9 и 58,4...61,3 %, соответственно. Применение препарата Дуал Голд, КЭ способствовало высокоэффективному подавлению ежовника обыкновенного, щетинника сизого, щирицы запрокинутой, мари белой, в меньшей степени – амброзии полыннолистной (табл. 2). Дурнишник обыкновенный проявил устойчивость к препарату.

Примерно такая же биологическая эффективность наблюдалась и от использования других почвенных гербицидов: Фронтьер Оптима, КЭ и Пропонит, КЭ.

Применение послевсходовых гербицидов в период 2–3 тройчатых листьев культуры было более эффективно. Так, использование 1,0 л/га препарата Пульсар, ВР обеспечило 88,8...93,2 % снижение общего числа злаковых и двудольных сорных растений и 94,6...97,1 и 92,3...94,7 % подавление их

сырой вегетативной массы, соответственно. Близкий гербицидный эффект наблюдался и от использования гербицида Пивот, ВР и смеси препаратов 3,0 л/га Базагран, ВР + 0,5 л/га Зеллек Супер, КЭ.

Полученные данные по биологической эффективности гербицидов хорошо согласуются с результатами, полученными при уборке урожая сои, которые показывают, что при применении препаратов в период вегетации культуры наблюдалась более высокая величина сохраненного урожая (177...180 %), чем при использовании почвенных гербицидов (151...155 %) (табл. 3).

Сравнительная оценка экотоксикологической опасности показала, что среди изученных на посевах сои гербицидов, препарат Пульсар, ВР характеризуется более низким уровнем экологической нагрузки для почвы (19 кг/га) и высоким коэффициентом избирательности действия (5000 мг/га) (табл. 4).

Таблица 2. Действие гербицидов на виды сорных растений в посевах сои
Table 2. Effect of herbicides on weed species in soybean crops

Варианты опыта Experimental variants	Номер учета Account number	Снижение численности сорных растений, % к контролю Reduction of number of weeds, % to control					
		<i>Echinochloa crusgalli</i>	<i>Setaria pumila</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	<i>Xanthium strumarium</i>
до всходов / before germination							
Дуал Голд, КЭ – 1,6 л/га Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	2	95,6	93,9	94,5	92,9	45,6	0
	3	93,4	91,8	92,0	90,9	42,9	0
	4	91,2	90,0	89,4	88,0	39,4	0
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	2	93,9	90,9	92,4	88,5	42,8	0
	3	91,6	88,6	89,8	86,4	40,0	0
	4	89,2	86,7	87,2	83,3	36,5	0
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га Proponite, CE – 3,0 l/ha	2	94,9	92,1	93,7	91,2	44,4	0
	3	92,7	90,5	91,1	88,2	41,1	0
	4	90,4	88,0	88,5	86,1	38,2	0
Без гербицидов (контроль)* Herbicide-free (control)*	2	29,5	16,5	23,8	11,3	18,0	6,3
	3	27,3	15,8	22,5	11,0	17,5	6,0
	4	26,0	15,0	21,8	10,8	17,0	6,0
фаза 2-3 тройчатых листьев / phase 2-3 triple leaves							
Пульсар, ВР – 1,0 л/га Pulsar, AS – 1,0 l/ha	2	95,4	93,8	94,2	92,0	89,9	90,9
	3	93,3	91,5	92,9	89,8	86,7	88,2
	4	91,1	89,7	91,1	86,3	85,3	84,7
Пивот, ВК – 0,8 л/га Pivot, WC – 0,8 l/ha	2	94,7	91,9	93,3	90,0	88,8	88,6
	3	92,6	90,2	91,4	86,7	85,5	84,7
	4	90,3	87,6	90,1	84,2	83,6	82,4
Базагран, ВР + Зеллек-супер, КЭ – 3,0 + 0,5 л/га Bazagran, AS + Zellek-super, CE – 3,0 l/ha + 0,5 l/ha	2	96,5	95,0	95,6	87,0	87,1	85,2
	3	94,4	93,5	93,8	84,6	85,5	82,4
	4	92,2	91,0	92,6	81,1	83,5	78,8
Без гербицидов (контроль)* Herbicide-free (control)*	2	28,3	16,0	22,5	10,0	17,8	8,8
	3	27,0	15,3	21,0	9,8	17,3	8,5
	4	25,8	14,5	20,3	9,5	17,0	8,5

Примечание: * – в контроле представлены данные о количестве сорняков, экз./м²

Note: * – in the control, data on the number of weeds and plants/m² are presented

Таблица 3. Урожайность сои сорта Арлета при применении гербицидов
Table 3. Yield of soybean variety Arleta when using herbicides

Варианты опыта Experimental variants	Средняя урожайность Average yield	
	т/га с/ha	% к контролю % to control
до всходов / before germination		
Дуал Голд, КЭ – 1,6 л/га / Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	2,20	154,9
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га / Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	2,15	151,4
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га / Proponite, CE – 3,0 l/ha	21,8	153,5
Без гербицидов (контроль) / Herbicide-free (control)	14,2	100
НСР ₀₅ / NSR ₀₅		1,21
фаза 2-3 тройчатых листьев / phase 2-3 triple leaves		
Пульсар, ВР – 1,0 л/га / Pulsar, AS – 1,0 l/ha	2,59	179,9
Пивот, ВК – 0,8 л/га / Pivot, WC – 0,8 l/ha	2,55	177,1
Базагран, ВР + Зеллек-супер, КЭ – 3,0 + 0,5 л/га / Bazagran, AS + Zellek-super, CE – 3,0 + 0,5 l/ha	2,57	178,5
Без гербицидов (контроль)* / Herbicide-free (control)*	1,44	100
НСР ₀₅ / NSR ₀₅		1,42

Примечание: * – в контроле представлены данные о количестве сорняков, экз./м²

Note: * – in the control, data on the number of weeds and plants/m² are presented

Таблица 4. Сравнительная оценка экотоксикологической опасности применения гербицидов на посевах сои
Table 4. Comparative assessment of ecotoxicological hazard of using herbicides on soybean crops

Название препарата Name of drug	ЛД ₅₀ , мг/кг LD ₅₀ , mg/kg	Период полуразпада, недели Half-life, weeks	ЭН, мг/га EL mg/ha	КИД, мг/кг CSA, mg/kg
Дуал Голд, КЭ – 1,6 л/га Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	4300	3,0	1072	269
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	1570	1,0	550	1308
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га Proponite, CE – 3,0 l/ha	2761	1,7	1330	920
Пульсар, ВР – 1,0 л/га Pulsar, AS – 1,0 l/ha	5000	2,4	19	5000
Пивот, ВК – 0,8 л/га Pivot, WC – 0,8 l/ha	5000	7,3	117	6250
Базарган, ВР – 3,0 л/га + Зеллек-супер, КЭ – 0,5 л/га Bazargan, AS – 3,0 l/ha + Zellek-super, CE – 0,5 l/ha	800+516	2,0	3600+202	267+1032

Близок по этим показателям гербицид Пивот, ВК. Остальные препараты: ДуалГолд, КЭ; Фронтьер Оптима, КЭ; Пропонит, КЭ и смесь Базарган, ВР + Зеллек Супер, КЭ оказывали более высокую опасность для окружающей среды.

ВЫВОДЫ

Биологическая эффективность применения гербицидов Пульсар, ВР (1,0 л/га), Пивот, ВК (0,8 л/га) и смеси Базарган, ВР (3,0 л/га) + Зеллек Супер, КЭ (0,5 л/га) на посевах сои в фазе 2–3 тройчатых листьев была на уровне 88...98 %, при этом величина сохраненного урожая культуры составляла 177...180 % в сравнении с вариантом без применения гербицидов (контроль).

Использование гербицидов Дуал Голд, КЭ (1,6 л/га), Фронтьер Оптима, КЭ (1,2 л/га) и Пропонит, КЭ (3,0 л/га) до всходов сои было несколько менее эффективно за счет слабого подавления амброзии полиннолистной. Дурнишник обыкновенный проявил к ним устойчивость. Величина сохраненного урожая была в пределах 151...155 % к контролю.

Среди гербицидов, применяемых на посевах сои, препараты Пульсар, ВР и Пивот, ВК характеризуется более низким уровнем экологической нагрузки и высоким коэффициентом избирательного действия, чем Дуал Голд, КЭ Фронтьер Оптима, КЭ, Пропонит КЭ и смесь Базарган, ВР + Зеллек Супер, КЭ.

Таким образом, при выборе гербицидов для применения на посевах сои в центральной зоне Краснодарского края в целях охраны окружающей среды следует комплексно оценивать с учетом их экотоксикологической нагрузки.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0001.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher

Education of the Russian Federation within the framework of research on topic No FGRN-2022-0001.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mayerová M., Madaras M., Soukup J. Effect of chemical weed control on crop yields in different crop rotations in a long-term field trial // *Crop Protection*. 2018. V. 114. P. 215–222. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219418302059> (дата обращения: 01.03. 2023)
2. Butkevičienė L.M. et al. The influence of long-term different crop rotations and monoculture on weed prevalence and weed seed content in the soil // *Agronomy*. 2021. N 7. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/7/1367> (дата обращения: 01.03. 2023)
3. Tataridas A., Kanatas P., Chatzigeorgiou A., et al. Sustainable crop and weed management in the era of the EU Green Deal: A survival guide // *Agronomy*. 2022. N 3. P. 589. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/589> (дата обращения: 01.03.2023)
4. Colbach N., Gardarin A., Moreau D. The response of weed and crop species to shading: Which parameters explain weed impacts on crop production? // *Field Crops Research*. 2019. V. 238. P. 45–55. doi: 10.1016/j.fcr.2019.04.008.
5. Sharma A., Jha P., Reddy G.V.P. Multidimensional relationships of herbicides with insect-crop food webs // *Science of the total environment*. 2018. V. 643. P. 1522–1532. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971832388X> (дата обращения: 01.03. 2023)
6. Gharde Y. et al. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India // *Crop Protection*. 2018. V. 107. P. 12–18. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219418300073> (дата обращения: 01.03. 2023)
7. Monteiro A., Santos S. Sustainable Approach to Weed Management: The Role of Precision Weed Management // *Agronomy*. 2022. N 1. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/1/118> (дата обращения: 01.03. 2023)
8. Scursoni J.A., Vera A.C.D., Oreja F.H., et al. Weed management practices in Argentina crops // *Weed Technology*. 2019. V. 33. N 3. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/abs/weed-management-practices-in-argentina-crops/EAC2D5666889FF9E8DC84A7C4B099D0> (дата обращения: 01.03. 2023)
9. Kocira A., Staniak M. Weed ecology and new approaches for management // *Agriculture*. 2021. V. 11. N 3. P. 262. URL:

<https://www.mdpi.com/2077-0472/11/3/262/htm> (дата обращения: 01.03. 2023)

10. Спиридонов Ю.Я., Жемчужин С.Г., Клейменова И.Ю. Современное состояние проблемы изучения применения гербицидов (Обзор публикаций за 2014–2017 гг.) // *Агрохимия*. 2019. N 6. С. 81–91. <https://doi.org/10.1134/S0002188119060103>

11. Meriem H., Rafika L. Effectiveness of herbicides on the weed flora of winter cereals in the region of sétifian high plains, algeria // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2021. N 2. P. 63–72. URL: <https://www.ikppress.org/index.php/PCBMB/article/view/6001> (дата обращения: 01.03. 2023)

12. Dayan F.E. Current status and future prospects in herbicide discovery // *Plants*. 2019. V. 8. N 9. P. 341. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/9/341> (дата обращения: 01.03. 2023)

13. Meena R.S., Kumar S., Datta R., et al. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review // *Land*. 2020. V. 9. N 2. P. 34. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/2/34> (дата обращения: 01.03. 2023)

14. Савва А.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А., Ковалев С.С. Противовдольный гербицид Флекс, ВР для защиты посевов сои в Краснодарском крае // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. N 3. С. 69–73. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_3_69

15. Савва А.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А. Новый отечественный препарат Нексус на посевах сои в условиях центральной зоны Краснодарского края // *Материалы международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем»*, Краснодар, 13–15 сентября, 2022. С. 321–332.

16. Савва А.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А. Отечественный препарат Когорта на посевах сои в Краснодарском крае // *Материалы Жученковских чтений VII «Биологические основы защиты растений»*, Краснодар, 15 сентября, 2022. С. 211–219.

17. Голубев А.С., Маханькова Т.А. Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. ФГБНУ ВИЗР, Санкт-Петербург, 2020. 80 с.

18. Соколов М.С., Монастырский О.А., Пикушова Э.А. Экологизация защиты растений. Пущино: Биопресс. 1994. 462 с.

REFERENCES

1. Mayerová M., Madaras M., Soukup J. [Effect of chemical weed control on crop yields in different crop rotations in a long-term field trial]. *Crop Protection*, 2018, vol. 114, pp. 215–222. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219418302059> (accessed 01.03. 2023)

2. Butkevičienė L.M. et al. [The influence of long-term different crop rotations and monoculture on weed prevalence and weed seed content in the soil]. *Agronomy*, 2021, no. 7. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/7/1367> (accessed 01.03. 2023)

3. Tataridas A., Kanatas P., Chatzigeorgiou A., et al. [Sustainable crop and weed management in the era of the EU Green Deal: A survival guide]. *Agronomy*, 2022, no. 3, pp. 589. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/589> (accessed 01.03. 2023)

4. Colbach N., Gardarin A., Moreau D. The response of weed and crop species to shading: Which parameters explain weed impacts on crop production? *Field Crops Research*, 2019, vol. 238, pp. 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.008>

5. Sharma A., Jha P., Reddy G.V.P. [Multidimensional relationships of herbicides with insect-crop food webs]. *Science of the total environment*, 2018, vol. 643. pp. 1522–1532. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971832388X> (accessed 01.03. 2023)

6. Gharde Y. et al. [Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India]. *Crop Protection*, 2018, vol. 107, pp. 12–18. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219418300073> (accessed 01.03. 2023)

7. Monteiro A., Santos S. [Sustainable Approach to Weed Management: The Role of Precision Weed Management]. *Agronomy*, 2022, no. 1. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/1/118> (accessed 01.03. 2023)

8. Scursoni J.A., Vera A.C.D., Oreja F.H., et al. [Weed management practices in Argentina crops]. *Weed Technology*, 2019, vol. 33, no. 3. Available at: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/abs/weed-management-practices-in-argentina-crops/EAC2D5666889F9E8DC84A7C4B099D0> (accessed 01.03. 2023)

9. Kocira A., Staniak M. [Weed ecology and new approaches for management]. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no.3, pp. 262. Available at: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/3/262/htm> (accessed 01.03. 2023)

10. Spiridonov Yu.Ya., Zhemchuzhin S.G., Kleimenova I.Yu. The current state of the problem of studying the herbicides application. *Agrochemistry*, 2019, no. 6, pp. 81–91. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S0002188119060103>

11. Meriem H., Rafika L. [Effectiveness of herbicides on the weed flora of winter cereals in the region of sétifian high plains, algeria]. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 2021, no. 2, pp. 63–72. Available at: <https://www.ikppress.org/index.php/PCBMB/article/view/6001> (accessed 01.03. 2023)

12. Dayan F.E. [Current status and future prospects in herbicide discovery]. *Plants*, 2019, vol. 8, no. 9, pp. 341. Available at: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/9/341> (accessed 01.03. 2023)

13. Meena R.S., Kumar S., Datta R., et al. [Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review]. *Land*, 2020, vol. 9, no. 2, pp. 34. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/2/34> (accessed 01.03. 2023)

14. Savva A.P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A., Kovalev S.S. Antifungal herbicide Flex, BP for the protection of soybean crops in the Krasnodar Territory. *Achievements of science and technology of agriculture*, 2022, vol. 36, no. 3, pp. 69–73. (In Russian) https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_3_69

15. Savva A.P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A. Novyi otechestvennyi preparat Nexus na posevakh soi v usloviyakh tsentral'noi zony Krasnodarskogo kraja [A new domestic drug Nexus on soybean crops in the conditions of the central zone of the Krasnodar Territory]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Biologicheskaya zashchita rastenii – osnova stabilizatsii agroekosistem»*, Krasnodar, 13–15 sentyabrya [Materials of the international scientific and practical conference "Biological protection of plants – the basis of stabilization of agroecosystems", Krasnodar, 13–15 September 2022]. Krasnodar, 2022, pp. 321–332. (In Russian)

16. Savva A.P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A. Otechestvennyi preparat Kogorta na posevakh soi v Krasnodarskom krae [Domestic drug Cohort on soybean crops in the Krasnodar Territory]. *Materialy Zhuchenkovskikh chtenii VII «Biologicheskie osnovy zashchity rastenii»*, Krasnodar, 15 sentyabrya [Materials of the Zhuchenkov readings of the Research Institute "Biological foundations of plant protection", Krasnodar, 15 September 2022]. Krasnodar, 2022, pp. 211–219. (In Russian)

17. Golubev A.S., Makhankova T.A. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu registratsionnykh ispytaniy gerbitsidov*. FGBNU

VIZR [Guidelines for conducting registration tests of herbicides]. St. Petersburg, FSBI VIZR Publ., 2020, 80 p. (In Russian)

18. Sokolov M.S., Monastyrsky O.A., Pikushova E.A. *Ekologizatsiya zashchity rastenii* [Ecologization of plant protection]. Pushchino, Biopress Publ., 1994, 462 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Анатолий П. Савва, Тамара Н. Тележенко, Валерия А. Суворова осуществляли закладку полевого опыта, проводили учеты сорной растительности и уборку урожая. Тамара Н. Тележенко, Валерия А. Суворова обобщали полученные в опыте результаты. Анатолий П. Савва анализ и написание рукописи. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anatoly P. Savva, Tamara N. Telezhenko and Valeria A. Suvorova carried out the laying of the field experiment, carried out weed counts and harvested. Tamara N. Telezhenko and Valeria A. Suvorova summarised the results obtained in the experiment. Anatoly P. Savva carried out analysis and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Анатолий П. Савва / Anatoly P. Savva <https://orcid.org/0000-0002-9457-2223>

Тамара Н. Тележенко / Tamara N. Telezhenko <https://orcid.org/0000-0002-1001-708X>

Валерия А. Суворова / Valeria A. Suvorova <https://orcid.org/0000-0003-1082-3652>

Оригинальная статья / Original article

УДК 632.4 (632.9)

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-179-189



Влияние биологической системы защиты на состав почвенной микробиоты и качество картофеля в условиях центральной агроклиматической зоны Краснодарского края

Светлана Н. Нековаль, Оксана А. Маскаленко

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

Контактное лицо

Оксана А. Маскаленко, научный сотрудник,
ФГБНУ «Федеральный научный центр
биологической защиты растений»; 350039
Россия, г. Краснодар, п/о 39.

Тел. +79182211681

Email d.o.a.123@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-7259-3584>**Формат цитирования**

Нековаль С.Н., Маскаленко О.А. Влияние биологической системы защиты на состав почвенной микробиоты и качество картофеля в условиях центральной агроклиматической зоны Краснодарского края // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, N 3. С. 179-189. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-179-189

Получена 27 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 19 июня 2023 г.

Принята 20 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Оценка влияния биопрепаратов на супрессивность почвы, биологическую эффективность, урожайность и биохимические показатели картофеля в условиях Краснодарского края.

Материалы и методы. Опыт проводили на картофеле сорта Колумба. В исследовании изучались биологические препараты против болезней картофеля. Работа выполнена по общепринятым методикам.

Результаты. За исследуемый период в комплексе почвенных грибов выделены представители родов *Alternaria*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*. При применении биопрепаратов отмечено увеличение грибов *Trichoderma* spp. и условно-супрессивных грибов *Penicillium* spp. и *Aspergillus* spp. по сравнению с контролем и вариантом с химической защитой – в 4,0 и 29,0 раз, в 1,7 и 1,8 раз и в 1,4 и 4,5 раз, соответственно. Эффективность биопрепаратов против альтернариоза и фузариозного увядания составляла 73,4–77,7 % в первый год исследований, и 70,0–76,3 % во второй год, что было выше химической защиты на 3,3–3,8 % и на 0,8–2,7 % соответственно. Урожайность клубней картофеля была выше контроля и варианта с химической защитой на 49,3–10,1 %. Наибольшее содержание витамина С отмечено в варианте с биологической системой защиты. Содержание нитратов во всех вариантах опыта было в пределах нормы, содержание крахмала было выше контроля и варианта с химической защитой на 1,1–0,2 %.

Заключение. Применение биологической системы защиты позволило снизить развитие альтернариоза и фузариоза на растениях картофеля, повысить супрессивность почвы, увеличить урожайность и улучшить биохимические показатели.

Ключевые слова

Картофель, биологическая система защиты, химические препараты, биопрепараты, супрессивность, альтернариоз, фузариозное увядание, патогены, почвенные грибы, биохимические показатели.

Effect of the biological protection system on the composition of soil microbiota and quality of potatoes in the central agro-climatic zone of Krasnodar Territory, Russia

Svetlana N. Nekoval' and Oksana A. Maskalenko

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Oksana A. Maskalenko, Researcher, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Krasnodar Territory, 350039 Russia.

Tel. +79182211681

Email d.o.a.123@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7259-3584>

How to cite this article

Nekoval' S.N., Maskalenko O.A. Effect of the biological protection system on the composition of soil microbiota and quality of potatoes in the central agro-climatic zone of Krasnodar Territory, Russia.

South of Russia: ecology, development. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 179-189. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-179-189

Received 27 May 2023

Revised 19 June 2023

Accepted 20 August 2023

Abstract

Aim. Assessment of the effect of biological products on soil suppression, biological efficacy, yield and biochemical parameters of potatoes in Krasnodar Territory.

Material and Methods. The experiment was carried out on potatoes of the Colomba variety. The biological preparations against potato diseases have been studied. The research was carried out according to generally accepted methods.

Results. During the study period, representatives of the genera *Alternaria*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* were identified in the complex of soil fungi. When using biological products, an increase in *Trichoderma* spp. and conditionally suppressive fungi *Penicillium* spp. and *Aspergillus* spp. compared with the control and the chemical protection option, by 4.0 and 29.0 times, 1.7 and 1.8 times and 1.4 and 4.5 times, respectively, was observed. The efficacy of the biological products against *Alternaria* and *Fusarium* wilt was 73.4–77.7 % in the first year of the research, and 70.0–76.3 % in the second year, which was higher than chemical protection by 3.3–3.8 % and 0.8–2.7 %, respectively. The yield of potato tubers was higher than the control and the chemical protection option by 49.3–10.1 %. The highest content of vitamin C was noted in the biological protection system option. The content of nitrates in all variants of the experiment was within the normal range. The content of starch was higher than the control and the chemical protection option by 1.1–0.2%, respectively.

Conclusions. The application of a biological protection system made it possible to reduce the development of *Alternaria* and *Fusarium* on potato plants, increase soil suppression, increase yield and improve biochemical indicators.

Key Words

Potato, biological protection system, chemicals, biological products, suppression, *Alternaria*, *Fusarium* wilt, pathogens, soil fungi, biochemical indicators.

ВВЕДЕНИЕ

Картофель входит в ежедневный пищевой рацион современного человека. Содержит большое количество крахмала, белка и является источником витамина С, макро- и микроэлементов. Общая площадь картофеля в мировом земледелии составляет 17,5 млн га. Краснодарский край входит в топ 20 регионов по выращиванию картофеля и является благоприятным регионом как для выращивания картофеля, так и для развития различных патогенных инфекций [1].

В последние годы основными болезнями, которые наносят большой ущерб этой культуре являются альтернариоз и фузариозное увядание.

Патогенные микроорганизмы заражают картофель на протяжении всего периода вегетации и во время хранения, в результате чего качество продовольственных и семенных клубней снижается. Зараженный семенной материал является источником инфекций картофеля в течение следующего вегетационного периода. Поэтому защита картофеля от фитопатогенных болезней является важной продовольственной и экономической задачей [1].

Для того, чтобы сохранить урожай от болезней и вредителей и получить высокую прибыль, сельхозтоваропроизводители применяют современные высокоинтенсивные технологии возделывания картофеля, химические пестициды и большие дозы минеральных удобрений [2]. К примеру, в России на картофеле проводят до 9–11 опрыскиваний против болезней и вредителей за сезон, а в некоторых европейских странах в 1,5–2 раза больше [3]. Такой подход приводит к сокращению биоразнообразия почвенных микроорганизмов, нарушению баланса «патоген – супрессор», возникновению резистентности у вредных объектов. В нашей стране проблеме устойчивости к фунгицидам уделяют большое внимание и для того, чтобы предупредить распространение устойчивости вредных микроорганизмов на растениях, разработана и утверждена соответствующая стратегия (Распоряжение Правительства РФ № 2045-р от 25 сентября 2017 года) [3]. Кроме того, использование химических препаратов является следствием накопления токсинов в клубнях картофеля и в почве, в общем, отрицательно воздействует на жизнедеятельность и здоровье человека [4].

Применение микробных биопрепаратов направлено на введение в состав почвенной микрофлоры полезных микроорганизмов, механизм действия которых различен, включая конкуренцию за питание, колонизацию ризосферы и поверхности листьев, а также синтез специальных антибиотических соединений и ферментов. К наиболее активным микроорганизмам-супрессорам относятся представители бактерий рр. *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Streptomyces*, грибов р. *Trichoderma* [5; 6].

Биологические препараты по своему составу могут совмещать свойства биоудобрений, биостимуляторов и биопестицидов. Их применение в рамках закона «О развитии производства органической продукции на территории Краснодарского края» могут служить альтернативой химическим средствам защиты, что позволяет снизить пестицидную нагрузку на природу, а также повысить урожайность картофеля и его качество с меньшими затратами [7].

В связи с вышеизложенным интерес вызывает изучение влияния биологической системы защиты картофеля от болезней, в условиях Краснодарского края.

Задачи исследований: изучить состав почвенных микромицетов до и после применения средств защиты картофеля от болезней (биологических и химических); оценить влияние систем биологической и химической защиты на динамику развития основных болезней; оценить влияние на биометрические показатели растений, структуру урожая, урожайность, биохимические показатели клубней картофеля (содержание витамина С, крахмала, нитратного азота).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2021–2022 гг. в Темрюкском районе Краснодарского края. Все характеристики почвы определяли по ГОСТам 26213-2021; 26107-84; 26205-91; 27821-88. Почва лугово-черноземная, количество гумуса в пахотном слое составляло 4,5 %, pH водной вытяжки – 6,9, содержание азота составляло 0,185 %, содержание подвижных соединений фосфора и калия достигало 13,0 и 18,5 мг на 100 г соответственно, сумма обменных оснований – 32,5 мг-экв./100 г почвы [8–11].

Изучение биологической эффективности химических и биологических препаратов проводили на картофеле сорта Коломба. Внесен в Государственный реестр для производства в России в 2013 году. Предназначен для культивирования в Центральном, Северо-Западном и Центрально-Черноземном регионе. Сорт устойчив к возбудителю рака картофеля, парше, золотистой картофельной нематодой, вирусу Y, среднеустойчив к фитофторозу [12].

Предшественником в первый год исследования являлась кукуруза, во второй год исследования – картофель. Посадку клубней картофеля осуществляли во второй декаде апреля, вручную. Схема посадки: 30,0 x 70,0 см, глубина посадки картофеля – 12,0 см.

Перед посадкой картофеля в 2021 и 2022 году были проведены следующие агротехнические мероприятия: лущение стерни; вспашка на глубину 20–22 см; выравнивание почвы дисками (один след); весенняя и предпосадочная культивации на глубину 8–10 см. В период вегетации картофеля проводили культивацию междурядий стрельчатыми лапами на глубину 8–10 см, ручную прополку. Уборку урожая осуществляли вручную.

Площадь одной опытной делянки составляла 25 м², количество повторений в опыте – четыре. Предпосевную обработку клубней, а также опрыскивание растений картофеля проводили при помощи ранцевого опрыскивателя Жук Классик ОГ-112 12 л.

Материалом исследования являлись биологические и химические препараты, картофель сорта Коломба.

Опыт включал в себя три варианта: применение биологических препаратов, химических препаратов и контроль (без обработки).

В варианте с применением биологической системы защиты заблаговременно в почву однократно вносили микробиологическое удобрение Геостим, Ж (*Trichoderma viride*, 6 г/дм³, *Azotomonas agilis*, 1×10⁹ КОЕ/см³, *Azotobacter chroococcum* DSM 281, 1×10⁹ КОЕ/см³) с нормой расхода 1 л/га. Обработку проросших клубней перед посадкой проводили комплексным микробиологическим удобрением с защитным действием БСКа-3, Ж (*Trichoderma viride* 256,

1,5 г/дм³; *Pseudomonas koreensis* Ар33, 2,5×10⁸ КОЕ/см³; *Bacillus subtilis* 17, 2,5×10⁸ КОЕ/см³; *Bradyrhizobium japonicum* 614а, 2,5×10⁸ КОЕ/см³) с нормой расхода 4,0 л/т. Против комплекса болезней в фазу всходов – бутонизации проводили двукратную обработку картофеля биофунгицидом БФТИМ КС-2, Ж (*Bacillus amyloliquefaciens* КС-2, 1×10⁹ КОЕ/мл) с нормой расхода 3 л/га.

В варианте с химической защитой перед высадкой картофеля проводили протравливание проросших клубней инсектофунгицидным протравителем Селест Топ, ВС (Дифеноконазол 25 г/л, Тиаметоксам 262,5 г/л, Флудиоксонил 25 г/л) с нормой расхода 0,4 л/т. Против болезней применяли двукратную обработку картофеля фунгицидом Абига Пик, КС (Меди хлорокись 400 г/л) с нормой расхода 3,0 л/га.

В 2021 году были проведены 2 учета по влиянию элементов системы защиты картофеля на состав почвенных микромицетов – перед высадкой клубней и после уборки урожая, оценку влияния систем защиты на развитие болезней картофеля, биометрические показатели проводили в период вегетации культуры, урожайность и биохимические показатели картофеля оценивали после уборки урожая. Аналогичные учеты были проведены в 2022 году.

Метеорологические условия вегетационных периодов 2021–2022 гг. различались, но, в целом были удовлетворительными для развития растений картофеля.

В 2021 году средняя температура воздуха в период посадки клубней картофеля, всходов, цветения и бутонизации незначительно отличалась от средне-голетних данных, при этом сумма осадков в данные периоды развития картофеля превышала средне-голетние значения на 13–78 %. В 2022 году средняя температура воздуха в периоды развития картофеля также находилась на уровне средне-голетних значений, однако в период всходов количество осадков составляло половину от нормы, в период бутонизации – незначительно ниже нормальных значений, в период цветения – на 135 % выше средне-голетних данных.

Вегетационный период картофеля сорта Колумба составил 99–106 дней. За вегетационный период 2021–2022 гг. проводили почвенный микологический анализ до посадки картофеля и после уборки урожая по методике С.В. Еремеевой [13]. Идентификацию патогенных микроорганизмов на растениях картофеля осуществляли с помощью определителя болезней [14].

Учеты заболеваний, определение биологической эффективности и урожайности на растениях картофеля проводили в соответствии с методическими указаниями по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве [15].

Для определения влияния систем защиты на развитие растений картофеля проводили измерения биометрических показателей, таких как: высота растений, количество стеблей и листьев, площадь листовой поверхности (методом высечек) [16].

Урожайность определяли путем подсчета и взвешивания клубней картофеля. Содержание витамина С и крахмала в картофеле определяли в соответствии с действующими ГОСТами [17; 18]. Содержание нитратного азота в клубнях картофеля определяли нитратометром SOEKS.

Математическую обработку полученных данных выполняли с помощью программы Statistica 10.0 и по методическим рекомендациям Б.А. Доспехова [19].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важным фактором снижения патогенной инфекции в почве является ее супрессивность, которая зависит от общего количества обитающих в ней микроорганизмов.

Применение биопрепаратов является одним из важнейших факторов для повышения супрессивности почвы. Отдельный интерес вызывают ризосферные грибы и бактерии, вытесняющие из почвы аборигенных микроорганизмов. По литературным данным отмечено, что применение биопрепаратов на основе бактерий родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces* и грибов рода *Trichoderma* препятствует проникновению патогенной инфекции в растения, защищая их от комплекса болезней в течение всего вегетационного периода [20; 21].

При изучении влияния систем биологической и химической защиты картофеля на состав почвенных микромицетов проводили микологический анализ почвы с опытных участков до обработок препаратами, входящими в системы защиты, после обработок и после сбора урожая.

По результатам почвенного анализа, проведенного в 2021 году, до применения исследуемых средств защиты в комплексе патогенных грибов выделены представители родов *Alternaria*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Cladosporium*. Количество колониеобразующих единиц (КОЕ) грибов рода *Alternaria* spp. варьировало в пределах 4,3 – 5,5 тыс. в 1 г абсолютно сухой почвы. Грибы рода *Fusarium* spp. составляли от 5,0 до 5,5 тыс./г абсолютно сухой почвы, *Verticillium* spp. от 2 до 3,6 тыс./г абсолютно сухой почвы, *Cladosporium* spp. – 1,1–2,6 тыс./г абсолютно сухой почвы. Количество колониеобразующих единиц грибов рода *Trichoderma* spp. было на низком уровне и составляло от 0,2 до 0,4 тыс./г абсолютно сухой почвы, количество условно-супрессивных грибов родов *Penicillium* и *Aspergillus* spp. варьировало от 1,8 до 4,1 и от 2,1 до 3,3 тыс./г абсолютно сухой почвы соответственно. Общее количество супрессивных и условно-супрессивных грибов было ниже патогенной группы в 2,1–2,9 раза.

После проведения обработок в варианте опыта с применением химической защиты количество КОЕ патогенных, супрессивных и условно-супрессивных грибов снизилось в 2,2–2 раза соответственно относительно контрольного варианта опыта. Необходимо отметить, что при применении химической системы защиты происходит снижение не только патогенной, но и супрессивной микробиоты, в отличие от биологических средств защиты, которые обладают избирательным действием на почвенные микроорганизмы. Применение биологической системы защиты оказало влияние на количественный состав почвенных микромицетов, по сравнению с контрольным вариантом опыта и вариантом с обработкой химическими препаратами. Так, по сравнению с контролем количество патогенных микроорганизмов снизилось следующим образом: *Alternaria* spp. в 4,1 раза, *Fusarium* spp. в 3,7 раз, *Verticillium* spp. – в 2,3 раза, *Cladosporium* – в 2 раза. По сравнению с вариантом с химической защитой количество *Alternaria* spp. снизилось в 1,9 раза, *Fusarium* spp. в 1,4 раза, *Verticillium* spp. – в 1,3 раза, *Cladosporium* – в 1,1 раз. Количество КОЕ *Penicillium* spp. увеличилось в 1,7 и 1,8 раза, *Aspergillus* – в 1,4 и 4,5 раз по сравнению с контролем и вариантом с химической защитой. В данном варианте опыта отмечено значительное увеличение грибов рода *Trichoderma* spp. по сравнению с контролем и вариантом с химической защитой – в 4,0 и 29,0 раз соответственно (рис. 1).

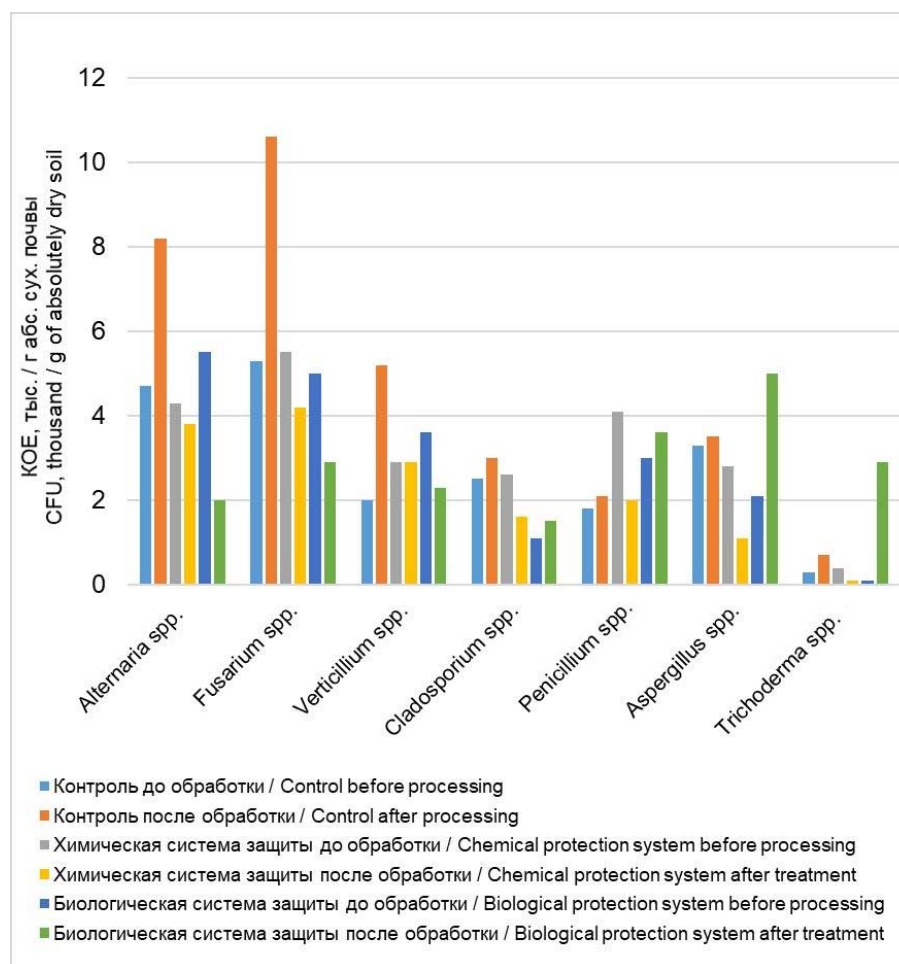


Рисунок 1. Состав почвенных микромицетов до и после применения химической и биологической систем защиты картофеля, 2021 г.

Figure 1. Composition of soil micromycetes before and after the application of potato chemical and biological protection systems, 2021

По результатам почвенного микологического анализа, проведенного в 2022 году до применения биологических и химических средств защиты картофеля, отмечено, что в контроле сохранялся неблагоприятный инфекционный фон, а количество патогенной микробиоты было значительно выше, чем в исследуемых вариантах. В варианте с применением химических препаратов произошло увеличение доли патогенных грибов до 73,5 %. В варианте с применением биологической системы защиты отмечено преобладание супрессивной (*Trichoderma* spp.) и условно-супрессивной (*Penicillium* spp., *Aspergillus* spp.) микробиоты.

Оценка почвенных образцов после применения систем защиты позволила выявить тенденцию уменьшения патогенной микробиоты при одновременном увеличении супрессивной, отмеченную в предыдущем году в варианте с применением биологических препаратов. Количество грибов р. *Alternaria* spp. уменьшилось в 5,4 раза по сравнению с контролем и в 3,4 раза по сравнению с вариантом с применением химических препаратов. Количество КОЕ *Fusarium* spp. снизилось в 4,6 раз по сравнению с контролем и в 3,3 раза относительно варианта с химической защитой. В варианте с биологической системой защиты количество КОЕ *Verticillium* spp. было в 4,2 раза ниже, чем в контроле, а в варианте с химической защитой данный гриб отсутствовал. Грибы р. *Cladosporium* в варианте с

биологической системой защиты не отмечены. Количество грибов р. *Penicillium* spp. в варианте с применением биологической системы защиты было практически на одном уровне с контролем, но ниже, чем в варианте с химической защитой. Количество КОЕ *Aspergillus* spp. было выше в 1,4 раза относительно контроля и в 1,3 раза ниже относительно варианта с применением химической защиты. Количество КОЕ *Trichoderma* spp. составило 6,5 тыс./г, что в 3,8 раз больше, чем в контрольном варианте. В варианте с химической защитой *Trichoderma* spp. не была выявлена (рис. 2).

В период вегетации на растениях картофеля во всех вариантах опыта зафиксировано развитие альтернариоза и фузариозного увядания.

В 2021 году развитие альтернариоза было менее интенсивным, чем в 2022 году, и в фазу цветения в контрольном варианте не превышало 17,7 %. В вариантах с биологической и химической системой защиты развитие альтернариоза на растениях картофеля составила 4,7–5,3 %. Биологическая эффективность в варианте с химической защитой достигала 70,1 %, что было ниже варианта с биологической системой защиты на 3,3 %. В 2022 году получены аналогичные результаты – биологическая эффективность варианта с элементами биологической защиты была выше варианта с химической на 0,4 % (рис. 3).

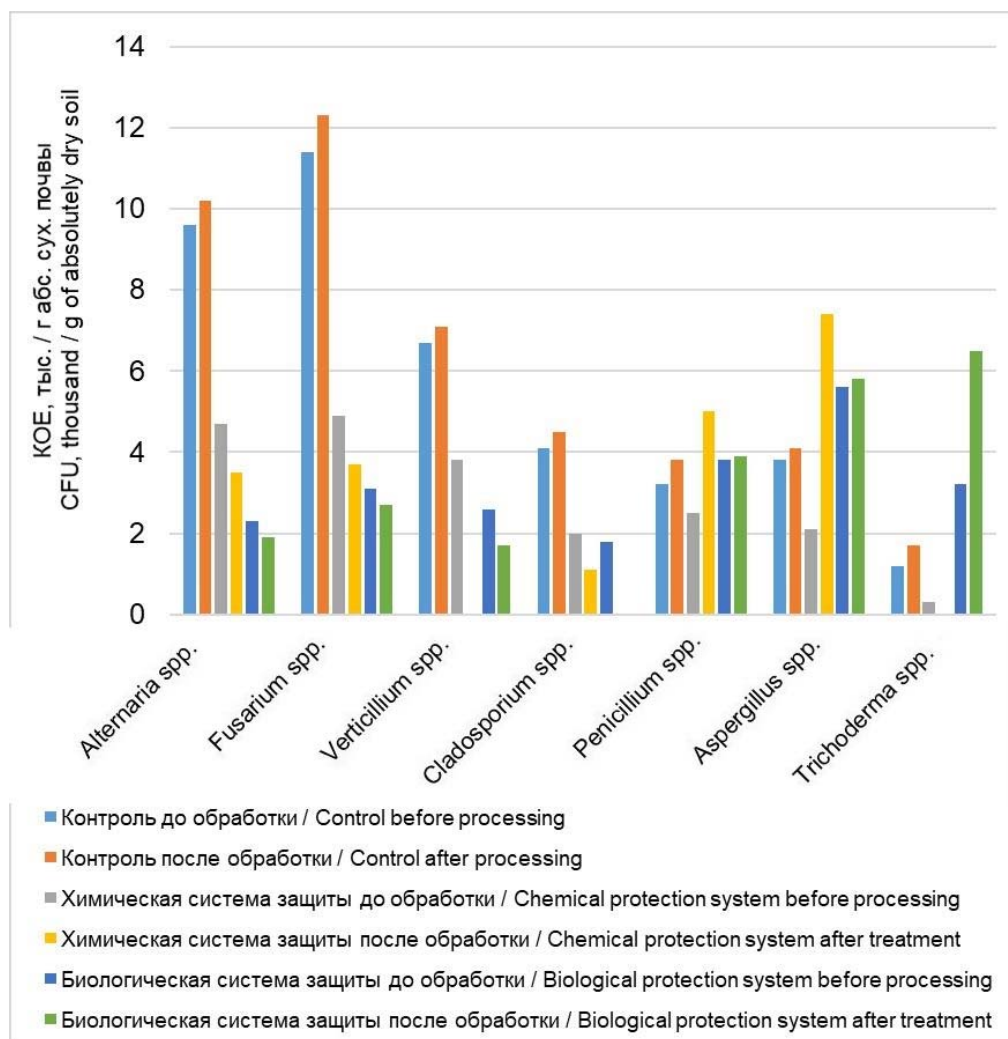


Рисунок 2. Состав почвенных микромицетов до и после применения химической и биологической систем защиты картофеля, 2022 г.

Figure 2. Composition of soil micromycetes before and after application of potato chemical and biological protection systems, 2022

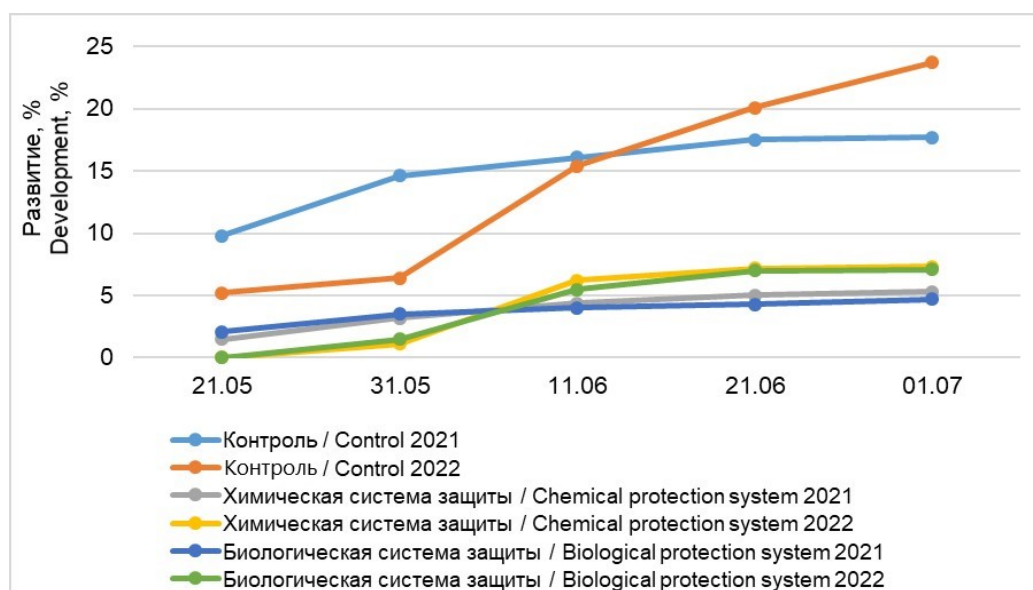


Рисунок 3. Влияние систем защиты картофеля на динамику развития альтернариоза на растениях, 2021–2022 гг.

Figure 3. Effect of potato protection systems on the dynamics of the *Alternaria* development on plants, 2021–2022

В 2021–2022 гг. развитие фузариозного увядания в контроле в период цветения составило 15,7–20,3 %, что превышало показатели вариантов с химической и биологической защитой в 3,8–4,5 и 3,8–4,2 раза

соответственно. Наилучший результат получен при применении биологической защиты – 77,7–76,3 %, что было выше варианта с химической защитой на 3,8–2,9 % соответственно году исследований (рис. 4).

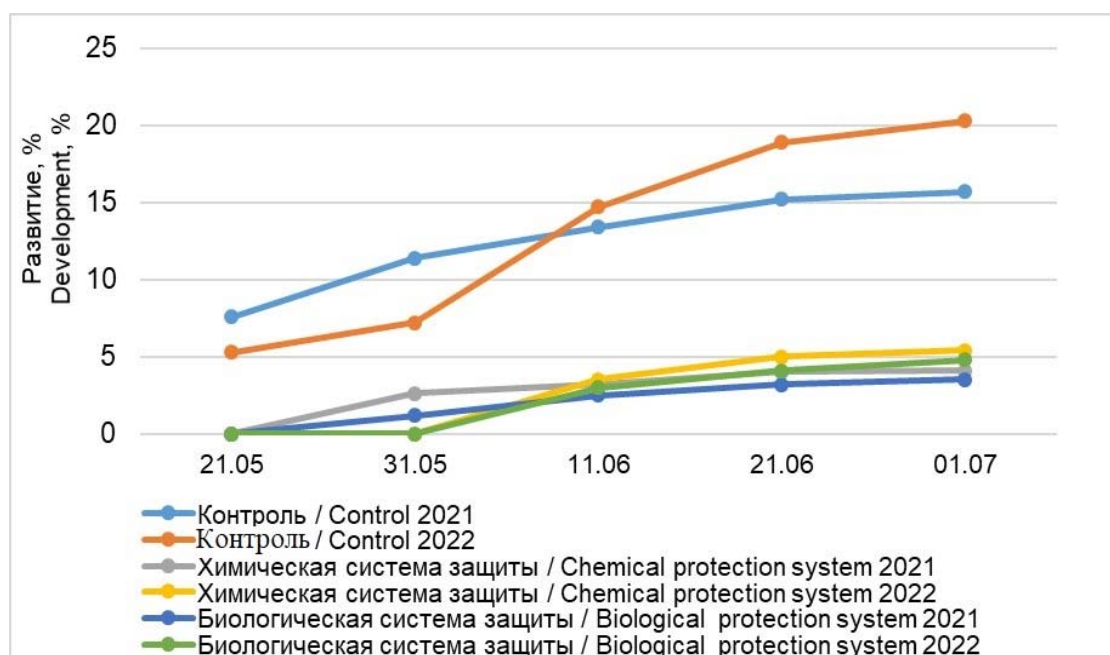


Рисунок 4. Влияние систем защиты картофеля на динамику развития фузариозного увядания на растениях, 2021–2022 гг.

Figure 4. Effect of potato protection systems on the dynamics of *Fusarium* wilt development on plants, 2021–2022

В период вегетации для определения влияния систем защиты на рост и развитие растений картофеля проведены измерения биометрических показателей.

Отмечены различия в интенсивности формирования вегетативных органов в зависимости от вариантов опыта (табл. 1).

Таблица 1. Влияние систем защиты на биометрические показатели растений картофеля, 2021–2022 гг.

Table 1. Impact of protection systems on biometric indicators of potato plants, 2021–2022

Вариант Variation	Высота 1 растения, см Height of 1 plant, cm	Количество стеблей с 1 куста, шт. Number of stems from 1 bush, pcs.	Количество листьев с 1 растения, шт. Number of leaves from 1 plant, pcs.	Площадь листовой поверхности с 1 растения, см ² Leaf surface area from 1 plant, cm ²
Контроль Control	49,4	4,1	58,4	0,79
Химическая система защиты Chemical protection system	53,7	4,5	67,2	0,9
Биологическая система защиты Biological protection system	56,2	5,1	74,0	0,98
НСП ₀₅ SSD ₀₅	1,65	0,34	2,51	0,06

Максимальная высота растений была отмечена в фазу цветения картофеля. В варианте опыта с применением биологической системы защиты в среднем за два года исследований выявлено более интенсивное формирование зеленой массы. Так, высота растений превышала показатели контроля и варианта с химическими обработками на 13,8 и 4,6 %. Количество стеблей было больше на 24,4 и 13,3 %.

Количество листьев и, соответственно, площадь листовой поверхности были выше в варианте с

биологической защитой. Количество листьев было выше на 26,7 и 10,1 % по сравнению с контролем и вариантом с химической защитой, а площадь листовой поверхности была выше на 24,0 и 8,9 % соответственно.

В варианте с применением биологических средств защиты масса одного товарного клубня была больше, чем в варианте с химической защитой – на 13,1 %, и больше контроля на 14,1 %. Наибольшее количество и масса не товарных клубней с одного куста отмечены в контрольном варианте. Максимальное количество

товарных клубней с одного куста отмечено при применении химической защиты, что было больше контроля на 37,9 %, и больше варианта с биологической системой на 7,6 %. Товарная и общая масса клубней с куста в варианте

с применением биологической защиты была выше контроля и химической системы защиты на 49,3 и 19,4 %; на 10,1 и 8,1 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Влияние систем защиты на показатели урожайности картофеля, 2021–2022 гг.

Table 2. Impact of protection systems on potato yield indicators, 2021–2022

Вариант Variation	Масса 1 клубня, г Weight of 1 tuber, g		Количество клубней с куста, шт. Number of tubers per bush, pcs.			Масса клубней г/куста Weight of tubers g/bush		
	Товарная Commodity	Не товарная Not a commodity	Товарная Commodity	Не товарная Not a commodity	Общее Total	Товарная Commodity	Не товарная Not a commodity	Общая Total
Контроль Control	105,3	31,6	6,6	7,4	14,0	695,4	233,3	928,7
Химическая система защиты Chemical protection system	106,4	23,6	9,1	2,8	11,9	967,9	66,2	1034,1
Биологическая система защиты Biological protection system	120,2	31,0	8,6	2,3	10,9	1038,2	71,0	1109,2
НСП₀₅ SSD₀₅	5,8	3,2	0,4	0,2	0,4	28,5	7,8	31,4

Наибольшая урожайность отмечена при использовании биологических средств защиты: средний валовый сбор за 2 года исследований превышал значения контроля и варианта с химической защитой на 19,4 и 6,7 %, а сбор товарного урожая картофеля был выше значений

контроля на 49,3 %, и выше значений в варианте с химической защитой на 7,2 %. При этом в контрольном варианте потери товарных клубней составили 25,1 %, в варианте с химической защитой – 6,7 %, в варианте с биологической защитой – 6,3 % (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность клубней картофеля (т/га) в зависимости от систем защиты, 2021–2022 гг.

Table 3. Potato tuber yield (t/ha) depending on protection systems, 2021–2022

	Вариант Variation	Контроль Control	Химическая система защиты Chemical protection system	Биологическая система защиты Biological protection system	НСП ₀₅ SSD ₀₅
2021	валовый сбор gross collection	38,9	42,7	46,6	1,8
	% к контролю % to control	-	109,8	119,8	-
	товарная часть commodity part	29,4	40,2	43,9	1,5
	% к контролю % to control	-	136,7	149,3	-
2022	валовый сбор gross collection	35,4	40,3	42,1	0,8
	% к контролю % to control	-	113,8	118,9	-
	товарная часть commodity part	26,2	37,2	39,1	0,9
	% к контролю % to control	-	142,0	149,2	-
Средняя Average	валовый сбор gross collection	37,1	41,5	44,3	1,3
	% к контролю % to control	-	111,7	119,4	-
	товарная часть commodity part	27,8	38,7	41,5	1,2
	% к контролю % to control	-	139,2	149,3	-

От уровня защиты картофеля против возбудителей болезней в значительной мере зависят качественные характеристики клубней, в том числе биохимические.

Содержание витамина С является сортовым признаком, однако, по литературным данным отмечено,

что при повышении нитратов в клубнях картофеля количество аскорбиновой кислоты снижается. В свою очередь, содержание нитратов в клубнях картофеля зависит от внесения дозы азотных удобрений и средств защиты растений. В исследованиях Пашкова Д.А.,

отмечено, что наличие патогенных инфекций на растениях картофеля отрицательно влияют на содержание крахмала, чем больше процент развития болезней, тем ниже содержание крахмала в клубнях [22; 23].

Результаты наших исследований подтвердили закономерность, при которой содержание витамина С уменьшается с увеличением нитратов в клубнях картофеля. Так, в варианте с применением биологической системы защиты содержание витамина С было выше, чем в контроле и в варианте с химической защитой на 6,1 и 9,9 % соответственно. Содержание

нитратного азота колебалось в пределах допустимых значений (250 мг/кг). Наименьшее количество нитратного азота отмечено в варианте с биологической системой защиты, что было меньше контроля и варианта с химической защитой на 8,4 и 18,5 %.

При выращивании картофеля содержание крахмала в клубнях картофеля варьировало от 15,2 % в варианте с химической системой защиты, до 15,4 % в варианте с биологической системой защиты, в контрольном варианте содержание крахмала было ниже на 0,9 и 1,1 % соответственно (табл. 4).

Таблица 4. Влияние систем защиты на биохимические показатели картофеля, 2021–2022 гг.

Table 4. Impact of protection systems on the biochemical indicators of potatoes, 2021–2022

Вариант Variation	Содержание витамина С, мг/100 г сырого в-ва Vitamin C content, mg/100 g of raw substance	Содержание крахмала, % Starch content, %	Нитратный азот мг/кг Nitrate nitrogen mg/kg
Контроль Control	17,0	14,3	135,7
Химическая система защиты Chemical protection system	16,3	15,2	148,4
Биологическая система защиты Biological protection system	18,1	15,4	125,2
НСП₀₅ SSD₀₅	0,47	0,10	3,99

ВЫВОДЫ

Почвенный микологический анализ показал, что в первый год проведения исследований до применения биологических и химических систем защиты картофеля доля патогенной микробиоты составляла 72,9 %. После применения систем защиты в первый год в контрольном варианте наблюдалось повышение инфекционного фона до 81,1 %. В варианте с химической защитой наблюдалось снижение всех микромицетов, однако соотношение патогенов к супрессивной группе микромицетов оставалось высоким и составляло – 79,6 %. Использование препаратов на основе живых микроорганизмов в биологической системе защиты позволило сократить долю патогенов от общего числа микромицетов до 43,1 % и повысить количественный состав супрессивной микрофлоры на 45,2 % от количества супрессоров до обработки.

Во второй год исследований, перед применением систем защиты, в контрольном варианте доля патогенной микробиоты составляла – 79,5 %, что было на 1,6 % ниже, чем в прошлом году, в варианте с химической системой – отмечено снижение патогенов по отношению к прошлому году на 6,1 %. В варианте с применением биологической системы защиты доля патогенных микроорганизмов составляла 43,8 % от общего числа микромицетов.

После применения систем биологической и химической защиты количество патогенных микромицетов снизилось во всех вариантах опыта. В контрольном варианте количество патогенных микроорганизмов оставалось высоким и составляло 78,0 %. В вариантах с химической и биологической системами защиты доля патогенов снизилась до 40,1 и 28,0 % соответственно.

При применении системы биологической защиты отмечена менее интенсивная пораженность растений

альтернариозом и фузариозным увяданием, по сравнению с контролем и вариантом с химической защитой.

В варианте с применением биологической системы защиты выявлено более интенсивное формирование зеленой массы растений картофеля. Кроме того, в этом варианте была выявлена максимальная масса одного товарного клубня и общая масса товарных клубней с куста, не смотря на то, что количество клубней с куста было меньше, чем в варианте с применением химических средств защиты.

Наибольшая общая урожайность отмечена в варианте с применением биологической защиты (сбор товарного урожая клубней картофеля был выше значений контроля на 49,3 %, и выше значений в варианте с химической защитой на 10,1 %).

В варианте с применением биологической системы защиты содержание витамина С было выше, чем в контроле и в варианте с химической защитой на 6,1 и 9,9 % соответственно. Содержание нитратного азота колебалось в пределах допустимых значений (250 мг/кг). Наименьшее количество нитратного азота отмечено в варианте с биологической системой защиты, что было меньше контроля и варианта с химической защитой на 8,4 и 18,5 %. Содержание крахмала в клубнях картофеля варьировало от 15,2 % в варианте с химической системой защиты, до 15,4 % в варианте с биологической системой защиты, в контрольном варианте содержание крахмала было ниже на 0,9 и 1,1 % соответственно.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что изучаемые нами биологические препараты не уступают по защитным свойствам химическим, при этом благоприятно влияют на рост и развитие растений, не вызывают резистентность у вредных организмов, повышают супрессивность

почвенной микробиоты и не загрязняют окружающую среду.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2021-0001 «Разработка технологий интегрированной защиты сельскохозяйственных культур с учетом иммунологических характеристик сорта. Мониторинг и изучение вредных объектов, оценка биорациональных средств и разработка элементов технологий защиты».

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research work on topic No. FGRN-2021-0001 "Development of technologies for integrated protection of crops, taking into account the immunological characteristics of the variety. Monitoring and study of harmful objects, assessment of biorational means and development of elements of protection technologies".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nekoval S.N., Zakharchenko A.V., Sadovaya A.E., Churikova A.K., Fedoryanskaya I.S., Maskalenko O.A. Biological efficacy of the microbiological fertilizer "Ecorik" on potato crops under the conditions of the central agroclimatic zone of Krasnodar Krai, Russia // *Research on Crops*. 2021. Т. 22. N. 4. С. 881–887. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.144>
2. Бутов А.В., Мандрова А.А. Экологическое качество картофеля при биологизации высокоинтенсивной технологии его возделывания и поливе // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48. N 2. С. 170–177. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-170-177>
3. Щербакова Л.А. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенных грибов и их хемосенсибилизация как способ повышения защитной эффективности триазолов и стробилуринов // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. N 5. С. 875–891. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.875rus>
4. Нековаль С.Н., Захарченко А.В., Чурикова А.К., Маскаленко О.А., Надыкта В.Д. Применение микробиологических препаратов при возделывании арбуза // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. N 3. С. 26–32. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_3_26
5. Salwan R., Sharma V., Saini R., Pandey M. Identification of plant beneficial *Bacillus* spp. for Resilient agricultural ecosystem // *Current Research in Microbial Sciences*. 2021. Т. 2. С. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100046>
6. De los Santos–Villalobos S., Parra–Cota F.I. Current trends in plant growth-promoting microorganisms research for sustainable food security // *Current Research in Microbial Sciences*. 2022. Т. 2. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2020.100016>
7. Союз органического земледелия. URL: <https://soz.bio/baza-znaniy/zakony/> (дата обращения: 15.06.2023)
8. ГОСТ 26213–2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 11 с.
9. ГОСТ 26107–84. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Издательство стандартов, 1984. 7 с.
10. ГОСТ 26205–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М.: Госстандарт СССР, 1992. 10 с.

11. ГОСТ 27821–88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Издательство стандартов, 1988. 7 с.
12. Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «ГОССОРТКОМИССИЯ»). URL: <https://gossortrf.ru/wpcontent/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> (дата обращения: 19.05.2023)
13. Лужнова С.А., Еремеева С.В., Папаяни О.И., Юртаева Е.А., Утяганова Е.В., Исаева Е.И. Чувствительность плесневых грибов *Alternaria* spp. к новым производным 1,3-диазинона-4 и их ациклическим предшественникам // *Астраханский медицинский журнал*. 2022. Т. 17. N 1. С. 35–44. <https://doi.org/10.48612/agmu/2022.17.1.35.44>
14. Зейрук В.Н., Жевора С.В., Васильева С.В., Белов Г.Л., Долженко В.И., Кузнецова М.А., Анисимов Б.В., Еланский С.Н. Атлас болезней, вредителей, сорняков картофеля и мероприятий по борьбе с ними. Москва: Наука, 2020. 322 с.
15. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации РАСХН Государственное научное учреждение ВИЗР. Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2009. 379 с.
16. Дмитриев Н.Н., Хуснидинов Ш.К. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии // *Вестник КрасГАУ*. 2016. N 7(118). С. 88–93.
17. ГОСТ 24556–89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. М.: Издательство стандартов, 2003. 11 с.
18. ГОСТ 7698–93 (ИСО 1666–73, ИСО 3188–78, ИСО 3593–81, ИСО 3946–82, ИСО 3947–77, ИСО 5378–78, ИСО 5379–83, ИСО 5809–82, ИСО 5810–82). Крахмал. Правила приемки и методы анализа (с Поправкой). М.: Издательство стандартов, 2001. 43 с.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
20. Домрачева Л.И., Скугорева С.Г., Стариков П.А., Горностаева Е.А., Ашихмина Т.Я. Микробы–антагонисты против фитопатогенных бактерий и грибов (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. N 2. С. 6–14. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-006-014>
21. Чурикова А.К., Нековаль С.Н. Биологические агенты и их метаболиты в борьбе с *Meloidogyne* spp. при выращивании овощных культур (обзор) // *Юг России: экология, развитие*. 2022. Т. 17. N 3(64). С. 175–186. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-175-186>
22. Бутов А.В., Мандрова А.А. Биохимические показатели и нитраты в период хранения картофеля при современных приемах возделывания // *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49. N 1. С. 127–134. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-127-134>
23. Пашков Д.А. Влияние инфекции на некоторые биохимические показатели картофеля при хранении // *Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет"*. 2018. Т. 1. N 10. С. 75–78.

REFERENCES

1. Nekoval S.N., Zakharchenko A.V., Sadovaya A.E., Churikova A.K., Fedoryanskaya I.S., Maskalenko O.A. Biological efficacy of the microbiological fertilizer "Ecorik" on potato crops under the conditions of the central agroclimatic zone of Krasnodar Krai, Russia. *Research on Crops*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 881–887. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.144>
2. Butov A.V., Mandrova A.A. Ecological quality of potatoes during biologization of high-intensity technology of its cultivation and watering. *Technique and technology of food*

- production, 2018, vol. 48. no. 2, pp. 170–177. (In Russian) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-170-177>
3. Shcherbakova L.A. Development of resistance to fungicides in phytopathogenic fungi and their chemosensibilization as a way to increase the protective effectiveness of triazoles and strobilurines. *Agricultural biology*, 2019, vol. 54, no. 5, pp. 875–891. (In Russian) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.875rus>
 4. Nekoval' S.N., Zaharchenko A.V., Churikova A.K., Maskalenko O.A., Nadykta V.D. The use of microbiological preparations in the cultivation of watermelon. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, 2022, vol. 36, no. 3, pp. 26–32. (In Russian) https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_3_26
 5. Salwan R., Sharma V., Saini R., Pandey M. Identification of plant beneficial *Bacillus* spp. for Resilient agricultural ecosystem. *Current Research in Microbial Sciences*, 2021, vol. 2, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100046>
 6. De los Santos-Villalobos S., Parra-Cota F.I. Current trends in plant growth-promoting microorganisms research for sustainable food security. *Current Research in Microbial Sciences*, 2022, vol. 2. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2020.100016>
 7. Soyuz organicheskogo zemledeliya [Organic Farming Union] Available at: <https://soz.bio/baza-znaniy/zakony/> (accessed 15.06.2023)
 8. GOST 26213–2021. Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva [GOST 26213–2021. Soils. Methods of determination of organic matter]. Moscow, Russian Institute of Standardization, 2022, 11 p. (In Russian)
 9. GOST 26107–84. Pochvy. Metody opredeleniya obshchego azota [GOST 11.26107–84. Soils. Methods for determining total nitrogen]. Moscow, Standards Publ., 1984, 7 p. (In Russian)
 10. GOST 26205–91. Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedinenii fosfora i kaliya po metodu Machigina v modifikatsii Ts/NAO [GOST 12.26205–91. Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the Machigin method in the modification of C/NAO]. Moscow, Gosstandart of the USSR Publ., 1992, 10 p. (In Russian)
 11. GOST 27821–88. Pochvy. Opredelenie summy pogloshchennykh osnovanii po metodu Kappena [GOST 13.27821–88. Soils. Determination of the amount of absorbed bases by the Kappen method]. Moscow, Standards Publ., 1988, 7 p. (In Russian)
 12. Gosudarstvennaya komissiya Rossiiskoi Federatsii po ispytaniyu i okhrane selektsionnykh dostizhenii (FGBU «GOSSORTKOMISSIYA») [The State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements (FSBI "GOSSORTKOMMISSION")]. Available at: <https://gossortrf.ru/wpcontent/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> (accessed 19.05.2023)
 13. Luzhnova S.A., Ereemeeva S.V., Papajani O.I., Jurtaeva E.A., Utjaganova E.V., Isaeva E.I. Sensitivity of mold fungi *Alternaria* spp. to new derivatives of 1,3-diazinone-4 and their acyclic precursors. *Astrakhan medical journal*, 2022, vol. 17, no. 1, pp.

- 35–44. (In Russian) <https://doi.org/10.48612/agmu/2022.17.1.35.44>
14. Zejruk V.N., Zhevoru S.V., Vasil'eva S.V., Belov G.L., Dolzhenko V.I., Kuznecova M.A., Anisimov B.V., Elanskij S.N. *Atlas boleznei, vreditelei, sornyakov kartofelya i meropriyatiya po bor'be s nimi* [Atlas of diseases, pests, potato weeds and measures to combat them]. Moscow, Nauka Publ., 2020, 322 p. (In Russian)
15. Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam fungitsidov v sel'skom khozyaistve [Methodological guidelines for registration tests of fungicides in agriculture]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation RAAS State Scientific Institution VIZR. Saint Petersburg: All-Russian Research Institute of Plant Protection RAAS, 2009, 379 p. (In Russian)
16. Dmitriev N.N., Husnudinov Sh.K. Methodology of accelerated determination of the area of the leaf surface of agricultural crops using computer technology. *Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasSAU]*. 2016, no. 7 (118), pp. 88–93. (In Russian)
17. GOST 24556–89. Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Metody opredeleniya vitamina S [GOST 24556–89. Fruit and vegetable processing products. Methods for determining vitamin C]. Moscow, Standards Publ., 2003, 11 p. (In Russian)
18. GOST 7698–93 (ISO 1666–73, ISO 3188–78, ISO 3593–81, ISO 3946–82, ISO 3947–77, ISO 5378–78, ISO 5379–83, ISO 5809–82, ISO 5810–82). *Krakhmal. Pravila priemki i metody analiza (s Popravkoi)* [GOST 7698–93 (ISO 1666–73, ISO 3188–78, ISO 3593–81, ISO 3946–82, ISO 3947–77, ISO 5378–78, ISO 5379–83, ISO 5809–82, ISO 5810–82). Starch. Acceptance rules and methods of analysis (as amended)]. Moscow, Standards Publ., 2001. 43 p. (In Russian)
19. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)
20. Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Starikov P.A., Gornostaeva E.A., Ashihmina T.Ja. Microbes–antagonists against phytopathogenic bacteria and fungi (review). *Theoretical and applied ecology*, 2022, no. 2, pp. 6–14. (In Russian) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-006-014>
21. Churikova A.K., Nekoval' S.N. Biological agents and their metabolites in the fight against *Meloidogyne* spp. when growing vegetable crops (review). *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3(64), pp. 175–186. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-175-186>
22. Butov A.V., Mandrova A.A. Biochemical parameters and nitrates during potato storage with modern cultivation techniques. *Equipment and technology of food production*, 2019, vol. 49, no. 1, pp. 127–134. (In Russian) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-127-134>
23. Pashkov D.A. The effect of infection on some biochemical parameters of potatoes during storage. *Vestnik studencheskogo nauchnogo obshchestva GOU VPO "Donetskii natsional'nyi universitet"* [Bulletin of the Student Scientific Society of the Donetsk National University]. 2018, vol. 1, no. 10, pp. 75–78. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Оксана А. Маскаленко, Светлана Н. Нековаль 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

Oksana A. Maskalenko and Svetlana N. Nekoval' equally contributed to all the work during the study. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Светлана Н. Нековаль / Svetlana N. Nekoval' <https://orcid.org/0000-0003-4217-3156>

Оксана А. Маскаленко / Oksana A. Maskalenko <https://orcid.org/0000-0002-7259-3584>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 591.151:636.32/.38.082

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-190-195



Оценка полиморфизма генов GDF9, BMP15 и их взаимосвязь с репродуктивными функциями овец разных пород

Закир К. Гаджиев, Евгения С. Суржикова, Дарья Д. Евлагина, Александр И. Суров, Светлана Н. Шумаенко

ФГБНУ «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр», Михайловск, Россия

Контактное лицо

Закир К. Гаджиев, доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории разведения и селекции сельскохозяйственных животных (с сектором скотоводства), ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, г. Михайловск, ул. Никонова, 49.

Тел. +78652717033

Email gadzhiev70@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1966-7000>

Формат цитирования

Гаджиев З.К., Суржикова Е.С., Евлагина Д.Д., Суров А.И., Шумаенко С.Н. Оценка полиморфизма генов GDF9, BMP15 и их взаимосвязь с репродуктивными функциями овец разных пород // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 190-195. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-190-195

Получена 9 февраля 2023 г.

Прошла рецензирование 15 мая 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Полиморфизм является результатом эволюционных процессов, он передаётся по наследству, связан с биоразнообразием, модифицируется естественным отбором и функционирует для сохранения различных форм популяции. Экономически выгодно находить гены, которые можно использовать в селекции таким образом, чтобы повышать плодовитость животных в разных природно-географических зонах, поскольку приспособительные способности организма устроены сложно. В связи с этим целью настоящего исследования послужило изучение генетического потенциала, овец разных пород, разводимого в различных эколого-географических регионах Северного Кавказа с горно-отгонным и пастбищно-стойловым условием ведения овцеводства.

Материал и методы. Генотипирование овец разных пород, содержащихся в различных природно-климатических зонах Республики Дагестан и наиболее засушливом районе Ставропольского края в зоне рискованного земледелия, где климат резко континентальный, в локусах генов дифференциального фактора роста (*GDF9*) и костного морфогенетического белка (*BMP15*) проводилось методом ПЦР-ПДРФ (полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) путём разрезания ДНК с помощью эндонуклеаз рестрикции и дальнейшего анализа размеров образующихся фрагментов ПЦР. Генетическая структура генов изучена методами генетико-статистического анализа полученных данных.

Заключение. Впервые изучена генетическая структура популяций овец разных пород, разводимых в условиях предгорья Республики Дагестан и засушливом районе Ставропольского края. Полученная информация о роли степени генетической изменчивости овец разных пород даёт ответ о экологическом благополучии стад, определяется статус, характеризующий признаки многоплодия, что в дальнейшем позволит улучшить и значительно ускорить селекционную работу с поголовьем. Поскольку важной задачей дальнейшего повышения эффективности отрасли является воспроизводство стада с одновременным ростом продуктивности животных.

Ключевые слова

Овцы, генетическая изменчивость, ген, популяция, условия разведения.

Evaluation of the polymorphism of the GDF9 and BMP15 genes and their relationship with the reproductive functions of sheep of different breeds

Zakir K. Gadzhiev, Evgeniya S. Surzhikova, Darya D. Evlagina, Alexander I. Surov and Svetlana N. Shumaenko

North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center, Mikhaylovsk, Russia

Contact person

Zakir K. Gadzhiev, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Breeding and Selection of Farm Animals (Livestock Sector), North-Caucasian Federal Agricultural Research Centre; 49 Nikonova St, Mikhaylovsk, Russia 356241.

Tel. +78652717033

Email gadzhiev70@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1966-7000>

How to cite this article

Gadzhiev Z.K., Surzhikova E.S., Evlagina D.D., Surov A.I., Shumaenko S.N. Evaluation of the polymorphism of the GDF9 and BMP15 genes and their relationship with the reproductive functions of sheep of different breeds. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 190-195. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-190-195

Received 9 February 2023

Revised 15 May 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. Polymorphism is the result of evolutionary processes and is inherited, associated with biodiversity and modified by natural selection and functions to preserve various forms of population. It is economically advantageous to find genes that can be used in breeding in such a way as to increase the fertility of animals in different natural geographical zones, since the adaptive abilities of organisms are complicated. In this regard, the purpose of this study was to study the genetic potential of sheep of different breeds bred in various ecological and geographical regions of the North Caucasus with pasture-pasture and pasture-stall conditions of sheep breeding.

Material and Methods. Genotyping was undertaken of sheep of different breeds contained in various natural and climatic zones of the Republic of Dagestan and the most arid region of Stavropol Territory in the zone of risky agriculture where the climate is sharply continental. Genotyping in the loci of the genes of differential growth factor (GDF9) and bone morphogenetic protein (BMP15) was carried out by PCR-PDRF (polymorphism of the lengths of restriction fragments) by cutting DNA using endonuclease restriction and further analysis of the size of the resulting PCR fragments. The genetic structure of genes has been studied by methods of genetic and statistical analysis of the data obtained.

Conclusion. The genetic structure of sheep populations of different breeds bred in the foothills of the Republic of Dagestan and the arid region of Stavropol Territory was studied for the first time. Information obtained on the role of the degree of genetic variability of sheep of different breeds provides data which can contribute to the ecological well-being of herds and the status characterising the signs of multiple birth rates is also determined. This will further improve and significantly accelerate breeding work with livestock, since an important task of further increasing the efficiency of the industry is the reproduction of the herd together with a simultaneous increase in the productivity of animals.

Key Words

Sheep, genetic variability, gene, population, breeding conditions.

ВВЕДЕНИЕ

Овцеводство – одна из древнейших отраслей животноводства, которая принесла огромную пользу человечеству на всех этапах его становления и развития. Овцы – чрезвычайно неприхотливые животные, спокойные и покладистые.

Традиционным регионом разведения племенного овцеводства всегда был и остаётся Северный Кавказ. В первую очередь это связано с наличием обширных площадей естественных кормовых угодий, включающих горные, высокогорные, пустынные, полупустынные пастбища. Природно-климатические условия и исторические факторы также оказали влияние на развитие овцеводства в регионе. Богатейшая территория позволяет разводить овец разного направления продуктивности. Для каждого направления соответствует своя климатическая зона и определенные экологические факторы, например, на разведение мясошерстных и грубошерстных пород овец больше ориентированы горные районы с холодным климатом, тогда как тонкорунные и полутонкорунные овцы, преимущественно разводятся на территориях богатыми лугами с мягким климатом [1; 2].

На сегодняшний день многое сделано для совершенствования пород и сохранения особенности генофонда овец на Северном Кавказе. Однако расширенное воспроизводство стада овец с одновременным ростом продуктивности животных до сих пор является важной задачей дальнейшего повышения эффективности отрасли животноводства. Целесообразно обеспечить воспроизводство в основном за счёт увеличения продуктивного маточного поголовья и лучшего использования его для получения большего числа здорового высококачественного потомства [3; 4].

С использования передовых технологий в области генетики, поиск генетических маркеров, характеризующих признаки многоплодия, позволит улучшить и значительно ускорить селекционную работу с поголовьем. Некоторые мутации могут способствовать высокой плодовитости, скорости овуляции или размеру помёта, и, следовательно, необходимы для репродуктивности овец. Поэтому выгодно находить любые гены, которые можно использовать в селекции с целью повышения плодовитости животных в разных эколого-географических зонах, а также использовать их для повышения экономической выгоды [4].

Важная характеристика генетических маркеров – полиморфизм. Он является результатом эволюционных

процессов, передаётся по наследству, связан с биоразнообразием, модифицируется естественным отбором и функционирует для сохранения различных форм популяции, живущей в разнообразной среде обитания [5].

Многими учёными было доказано, что гены: дифференциальный фактор роста (*GDF9*) и костного морфогенетического белка (*BMP15*) полиморфны и эффективны в увеличении числа близнецов у овец [6–9]. Гены *GDF9* и *BMP15*, два члена трансформирующего фактора роста. β (ТГФ- β) суперсемейства, являются ключевыми генами, участвующими в увеличении скорости овуляции и размера помёта [10]. Также выявлено, что данные гены могут играть решающую роль не только в регулировании скорости овуляции, но и в здоровье ооцитов, а также в установлении беременности [11].

Вышеизложенное послужило целью данного исследования, направленной на выявление генетического потенциала овец разных пород, разводимых в различных эколого-географических регионах Северного Кавказа с отгонно-пастбищным и пастбищно-стойловым условиями ведения овцеводства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научно-исследовательская работа проводилась с использованием молекулярно-генетических методов на овцах из разных эколого-географических зон. Объект исследования – овцы разных пород: дагестанская горная, разводимые на территории Республики Дагестан в условиях отгонно-пастбищной системы и маньчский меринос, выращенные на пастбищно-стойловом содержании в Ставропольском крае.

Геномную ДНК выделяли из цельной крови (10 мл), полученной из яремной вены от 136 овцематок (по 68 голов от двух исследуемых пород) в асептических условиях с использованием ЭДТА в качестве антикоагулянта. Выделение ДНК проводилось согласно протоколу с использованием коммерческого набора реагентов (DIAatom DNA Prep 100).

Методом полимеразно-цепной реакции (ПЦР) путём использования специфических синтезируемых наборов олигонуклеотидов (праймеров) на 4-х канальном термоциклере «Терцик», выполнено ДНК-генотипирование исследуемых популяций овец разных пород. Последовательности праймеров, ферментов рестрикции и условия ПЦР описаны в таблице 1.

Таблица 1. Условия проведения ПЦР-ПДРФ

Table 1. Conditions of PCR-RFLP

Последовательность олигонуклеотидов (праймеры) Sequence of oligonucleotides (primers)	Т° С, отжига T° C, Annealing	Участок амплификации, (п.н.) Amplification site, (p.n.)
<i>GDF9/BstHII</i>		
F: 5'- gaa-gac-tgg-tat-ggg-gaa-atg -3' R: 5'- cca-atc-tgc-tcc-tac-aca-cct -3'	63	462
<i>BMP15/Hinf I</i>		
F: 5'- cac-tgt-ctt-ctt-gtt-act-ttt-caa-tga-cac-3' R: 5'- gat-gca-ata-ctg-cct-gct-tg-3'	63	141

Продукты ПЦР расщепляли ферментами *BstHII* для экзона I гена *GDF9* и *Hinf I* для II экзона *BMP15* в течение ночи при 37°С, с дальнейшим разделением полученных фрагментов методом горизонтального геле-электрофореза в агарозном геле, после окрашивания

этидием бромистым. Длина фрагментов рестрикции определялась при ультрафиолетовом свете [12; 13].

Обработка цифрового материала исследований осуществлялась с использованием пакета программ «Microsoft Office» и генетико-статистических методов анализа.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате молекулярно-генетического исследования методом ПЦР-ПДРФ у овцематок разных пород выявлено наличие полиморфных вариантов генов дифференциального фактора роста (*GDF9*) и костного морфогенетического белка (*BMP15*).

В исследуемой выборке овцематок породы маньчский меринос, разводимых на территории Ставропольского края, в зоне рискованного земледелия,

где климат резко континентальный при изучении полиморфизма локуса гена *GDF9/BstHNI*, было определено, что частота встречаемости аллеля *GDF9^G* в 4,55 раза выше, по сравнению с частотой встречаемости аллеля *GDF9^A* (0,18). Данная закономерность нашла отражение в частоте встречаемости животных-носителей гомозиготных *GDF9^{AA}*, *GDF9^{GG}* и гетерозиготного *GDF9^{AG}* генотипов, составившей 5,9; 70,6 и 23,5 %, соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Частота распределения генотипов генов *GDF9/BstHNI*, *BMP15/HinfI* у овцематок породы маньчский меринос
Table 2. Frequency of occurrence of alleles and genotypes for the *GDF9/BstHNI*, *BMP15/HinfI* genes in Manych Merino

Ген-маркер Gene marker	Генотип Genotype	n	Частота встречаемости / Frequency of occurrence		χ^2
			генотипа, % genotypes, %	аллеля, $\pm$ sp alleles, $\pm$ sp	
<i>GDF9/BstHNI</i>	<i>GDF9^{AA}</i>	4	5,9	<i>GDF9^A</i> – 0,18 $\pm$ 0,033 <i>GDF9^G</i> – 0,82 $\pm$ 0,032	2,42
	<i>GDF9^{GG}</i>	48	70,6		
	<i>GDF9^{AG}</i>	16	23,5		
<i>BMP15/HinfI</i>	<i>BMP15⁺⁺</i>	15	22,1	<i>BMP15^G</i> – 0,39 $\pm$ 0,041 <i>BMP15⁺</i> – 0,61 $\pm$ 0,042	27,71
	<i>BMP15^{GG}</i>	0	0		
	<i>BMP15^{G+}</i>	53	77,9		

Примечания: sp – ошибка частот генотипов / аллелей; уровень значимости $p < 0,05$

Note: sp – genotype / allele frequency error; significance level $p < 0.0$

Полиморфизм гена *BMP15/HinfI* у овцематок породы маньчский меринос был представлен двумя аллелями *BMP15⁺* и *BMP15^G*. Доля предпочтительной для селекции аллели *BMP15⁺* составила 0,61, что обусловило неоднозначность присутствия в выборке овцематок данной породы гомозиготного *BMP15⁺⁺* и гетерозиготного *BMP15^{G+}* варианта генотипов, составившее 22,1 и 77,8 % соответственно, при отсутствии животных-носителей гомозиготного генотипа *BMP15^{GG}*.

Расчёт критерия соответствия Пирсона (χ^2) с целью оценки значимости селективного различия между генотипами показал, что генетическое равновесие для гена *GDF9/BstHNI* соблюдается ($\chi^2 = 2,42$), критерий Пирсона не превышал критического значения ($p < 0,05$). Значение χ^2 для гена *BMP15/HinfI* составило 27,71, из

чего делается вывод о нарушении генетического равновесия за счёт преобладания гетерозиготных особей в данном гене у популяции овец породы маньчский меринос.

При анализе полиморфизма гена *GDF9/BstHNI* в выборке овцематок дагестанской горной породы, разводимой в предгорной зоне Республики Дагестан, выявлена высокая (0,70) концентрация аллеля *GDF9^G* и низкая (0,30) аллеля *GDF9^A*. Исследования показали, что большинство овцематок данной породы были носителями гомозиготного генотипа *GDF9^{GG}* частота встречаемости, которого составила 66,2%, что почти в 2,5 и 8,9 раза больше, по отношению к гомозиготному генотипу *GDF9^{AA}* и гетерозиготному *GDF9^{AG}* соответственно. (табл. 3).

Таблица 3. Частота встречаемости аллелей и генотипов по генам *GDF9/BstHNI*, *BMP15/HinfI* у овцематок дагестанской горной породы

Table 3. Frequency of occurrence of alleles and genotypes for the *GDF9/BstHNI*, *BMP15/HinfI* genes of ewes of the Dagestan mountain breed

Ген-маркер Gene-marker	Генотип Genotype	n	Частота встречаемости / Frequency of occurrence		χ^2
			генотипа, % genotypes, %	аллеля, $\pm$ sp alleles, $\pm$ sp	
<i>GDF9/BstHNI</i>	<i>GDF9^{AA}</i>	18	26,4	<i>GDF9^A</i> – 0,30 $\pm$ 0,033 <i>GDF9^G</i> – 0,70 $\pm$ 0,034	46,59
	<i>GDF9^{GG}</i>	45	66,2		
	<i>GDF9^{AG}</i>	5	7,4		
<i>BMP15/HinfI</i>	<i>BMP15⁺⁺</i>	18	26,5	<i>BMP15^G</i> – 0,37 $\pm$ 0,040 <i>BMP15⁺</i> – 0,63 $\pm$ 0,041	22,98
	<i>BMP15^{GG}</i>	0	0		
	<i>BMP15^{G+}</i>	50	73,5		

Примечания: sp – ошибка частот генотипов / аллелей; уровень значимости $p < 0,05$

Note: sp – genotype / allele frequency error; significance level $p < 0.05$

Было установлено, что характер распределения частот аллелей и генотипов в гене костного морфогенетического белка (*BMP15/HinfI*) у исследуемого поголовья овцематок дагестанской горной породы практически совпадают с исследованиями, проведенными на овцах породы маньчский меринос.

Анализ результатов генотипирования овцематок дагестанской горной породы также представлен двумя аллелями, с высокой частотой встречаемости аллеля *BMP15⁺* (0,63) и низкой – 0,37 аллеля *BMP15^G*. Вариативность частоты встречаемости гетерозиготного генотипа *BMP15^{G+}* составила 73,5 %, при отсутствии

гомозиготного генотипа *BMP15^{GG}* и низкой частоте встречаемости животных-носителей гомозиготного генотипа *BMP15⁺⁺*.

Полученное значение хи-квадрат (χ^2) свидетельствовал о том, что генетическое равновесие по изучаемым генам (*GDF9/BstHNI* и *BMP15/HinfI*) в популяции овец дагестанской горной породы нарушено ($\chi^2 = 46,59; 22,98$).

В результате проведенных исследований по генотипированию, методами генетико-статистического анализа дана оценка генетической структуры изучаемых пород овец по исследуемым генам (табл. 4).

Таблица 4. Генетическая структура овец разных пород, содержащихся в различных эколого-географических зонах
Table 4. Genetic structure of sheep of different breeds kept in different ecological and geographical zones

Порода Breed	Показатель / Indicator						
	Ca, %	Na	V, %	PIC	H _{obs}	H _{ex}	TГ
Маньчжурский меринос Manych Merino	<i>GDF9/BstHHL</i>						
	71,48	1,40	27,02	0,30	0,31	0,42	-0,11 Ф<Т
	<i>BMP15/Hinfl</i>						
	52,42	1,91	46,08	0,48	3,53	0,91	+2,62 Ф>Т
Дагестанская горная Dagestan mountain	<i>GDF9/BstHHL</i>						
	58,0	1,72	40,50	0,42	0,08	0,72	-0,64 Ф<Т
	<i>BMP15/Hinfl</i>						
	53,38	1,87	45,12	0,47	2,78	0,87	+1,91 Ф>Т

Проанализировав результаты показателей генетической структуры, было установлено, что коэффициент Ca (степень гомозиготности) в гене дифференциального фактора роста среди популяций овец маньчжурского мериноса и дагестанской горной породы составил 58,0 и 71,48 %, тогда как по гену *BMP15/Hinfl* данный коэффициент в обеих популяциях был практически одинаковым. При этом Na (уровень полиморфности) в гене *GDF9/BstHHL* был меньшим (1,40) для выборки овец маньчжурского мериноса, большим (1,72) – у овцематок дагестанской горной породы, однако по гену *BMP15/Hinfl* складывается обратная ситуация, наибольшее значение отмечено у овец породы маньчжурский меринос (1,91).

Показатель V (степень генетической изменчивости) для популяции овец дагестанской горной породы по изучаемому локусу гена *GDF9/BstHHL* оказался достаточно высоким (40,50 %), что на 13,5 % больше, по сравнению с данными, полученными у овец породы маньчжурский меринос.

Способность ген-маркера выявлять полиморфизм популяции в зависимости от количества определенных аллелей и их частоты встречаемости, помогает значение – PIC (величина информационного полиморфизма). Расчёт значения PIC для генетических маркеров *GDF9/BstHHL* и *BMP15/Hinfl*, показал примерно равное их селекционное значение, как у овцематок маньчжурский меринос, так и дагестанской горной породы.

В популяции овец дагестанской горной породы H_{obs} (уровень наблюдаемой гетерозиготности) гена *GDF9/BstHHL* составил 0,08, что на 74,2% ниже, чем у овец породы маньчжурский меринос (0,31). Однако показатель H_{ex} (уровень ожидаемой гетерозиготности) по данному гену у овцематок породы дагестанская горная был выше на 71,4%. В гене *BMP15/Hinfl* для изучаемых популяций овец показатель H_{ex} был сравнительно одинаковым и составил 0,91 и 0,87, а H_{obs} варьировал от 2,78 до 3,53.

В исследуемых популяциях отрицательное значение TГ (тест гетерозиготности) в локусе гена *GDF9/BstHHL* может свидетельствовать о недостатке гетерозигот. В гене *BMP15/Hinfl* тест гетерозиготности имел положительное значение и составил для популяций овец маньчжурского мериноса – 2,62, дагестанской горной породы – 1,91.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведённого ДНК-генотипирования установлена породная специфичность аллельного профиля генов дифференциального фактора роста (*GDF9*) и костного морфогенетического белка (*BMP15*) ассоциируемых с воспроизводительными

качествами овец разных эколого-географических условиях разведения. Анализ полученных результатов исследования позволяет сделать вывод о том, что генотипирование по данным ген-маркерам, способствует выявлению и отбору животных-носителей с желательными аллелями, что сможет увеличить плодовитость животных, повышению выхода агнатов и окажет положительное влияние на эффективность разведения овцеголовья.

Для подтверждения этой гипотезы требуется контролируемое разведение овцематок и баранов-производителей с селекционно-значимым генотипом, а также крупномасштабные исследования, изучающие влияние генов на размер помёта и исследования на других породах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селионова М.И., Чижова Л.Н., Михайленко А.К., Суржикова Е.С., Шарко Г.Н. Оценка адаптационной перестройки овец в разных условиях на основе биомаркеров // Вестник АПК Ставрополя. 2019. N 2(34). С. 19–25.
2. Амерханов Х.А., Трухачёв В.И., Селионова М.И. Из истории российского овцеводства. Ставрополь: ИП Мокринский Н.С. 2017. 408 с.
3. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Состояние, динамика и тенденции в развитии овцеводства в мире и в России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. N 3. С. 3–6.
4. Айбазов А.М., Мамонтова Т.В. Интенсификация воспроизводства овец в Ставропольском крае (часть 2. Плодовитость овец и пути ее повышения) // Сельскохозяйственный журнал. 2020. N 4(13). С. 19–28. DOI: 10.25930/2687-1254/003.4.13.2020.
5. Марков А.К. Основные направления повышения экономической эффективности интенсификации животноводства в современных условиях // International scientific review. 2020. N LXX. С. 31–34.
6. Abdoli R., Zamani P., Deljou A., Rezvan H. Association of *BMP15* and *GDF9* genes polymorphisms and secondary protein structure changes with reproduction traits in Mehraban ewes // Gene. 2013. V. 524. N 2. P. 296–303. DOI: 10.1016/j.gene.2013.03.133.
7. Barzegari A., Atashpaz S., Ghabili K., Nemati Z., Rustaei M., Azarbaijani R. Polymorphisms in *GDF9* and *BMP15* associated with fertility and ovulation rate in Moghani and Ghezel sheep in Iran // Reproduction in Domestic Animals. 2010. V. 45. P. 666–669. DOI:10.1111/j.1439-0531.2008.01327.x.
8. Iandris E., Kominakis A., Andreadou M., Kapeoldassi K., Chadio S., Tsiligianni T., Gazouli M., Ikononopoulos I. Associations between single nucleotide polymorphisms of *GDF9* and *BMP15* genes and litter size in two dairy sheep breeds of Greece // Small Ruminant Research. 2012. V. 107. N 1. P. 16–21. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2012.04.004
9. Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Колосов Ю.А., Широкова Н.В. Генетическая структура стада по генам *GDF9*, *GH* у овец Волгоградской и эдильбаевской // Аграрно-пищевые

инновации. 2021. N 2(14). С. 51–59. DOI: 10.31208/2618-7353-2021-14-51-59.

10. Knight P.G., Glister C. TGF- β superfamily members and ovarian follicle development // *Reproduction*. 2006. V. 132. N 2. P. 191–206.

11. Hanrahan J.P., Gregan S.M., Mulsant P., Mullen M., Davis G.H., Powell R., Galloway S.M. Mutations in the genes for oocyte-derived growth factors GDF9 and BMP15 are associated with both increased ovulation rate and sterility in Cambridge and Belclare sheep (*Ovis Aries*) // *Biology of Reproduction*. 2004. V. 70. N 4. P. 900–909. DOI:10.1095/biolreprod.103.023093.

12. Оздемиров А.А., Чижова Л.Н., Хожиков А.А. [и др.]. Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец дагестанской горной породы // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 2(59). С. 39–44. DOI:10.18470/1992-1098-2021-2-39-44.

13. Оздемиров А.А., Суров А.И., Суржикова Е.С. [и др.]. Полиморфизм генов *GH/HaeIII* и *GDF9/AspEI*, генетическая изменчивость, ассоциация их генотипов с иммунным статусом у овец разных пород, разводимых в различных природно географических зонах // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3(64). С. 78–84. DOI 10.18470/1992-1098-2022-3-78-84.

REFERENCES

1. Selionova M.I., Chizhova L.N., Mikhailenko A.K., Surzhikova E.S., Sharko G.N. Assessment of adaptive adjustment of sheep in different conditions based on biomarkers. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol]. 2019, no. 2(34), pp. 19–25. (In Russian)

2. Amerkhanov H.A., Trukhachev V.I., Selionova M.I. *Iz istorii rossijskogo ovtsevodstva* [From the history of Russian sheep breeding]. Stavropol, Mokriysky N.S. Publ., 2017, 408 p. (In Russian)

3. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. The state, dynamics and trends in the development of sheep breeding in the world and in Russia. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo* [Sheep, goats, wool business]. 2019, no. 3, pp. 3–6. (In Russian)

4. Aybazov A.M., Mamontova T.V. Intensification of sheep reproduction in the Stavropol Territory (part 2. Fertility of sheep and ways to increase it). *Agricultural magazine*, 2020, no. 4(13). pp. 19–28. (In Russian) DOI: 10.25930/2687-1254/003.4.13.2020.

5. Markov A.K. The main directions of increasing the economic efficiency of livestock intensification in modern conditions.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Закир К. Гаджиев, Евгения С. Суржикова, Дарья Д. Евлагина, Александр И. Суров, Светлана Н. Шумаенко провели отбор биоматериала, ДНК-исследования и проанализировали данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

International scientific review. 2020, no. LXX, pp. 31–34. (In Russian)

6. Abdoli R., Zamani P., Deljou A., Rezvan H. Association of *BMPR-1B* and *GDF9* genes polymorphisms and secondary protein structure changes with reproduction traits in Mehraban ewes. *Gene*, 2013, vol. 524, no. 2, pp. 296–303. DOI: 10.1016/j.gene.2013.03.133.

7. Barzegari A., Atashpaz S., Ghabili K., Nemati Z., Rustaei M., Azarbaijani R. Polymorphisms in GDF9 and BMP15 associated with fertility and ovulation rate in Moghani and Ghezel sheep in Iran. *Reproduction in Domestic Animals*, 2010, no. 45. pp. 666–669. DOI:10.1111/j.1439-0531.2008.01327.x.

8. Iandris E., Kominakis A., Andreadou M., Kapeoldassi K., Chadio S., Tsiligianni T., Gazouli M., Ikononopoulos I. Associations between single nucleotide polymorphisms of GDF9 and BMP15 genes and litter size in two dairy sheep breeds of Greece. *Small Ruminant Research*, 2012, vol. 107, no. 1, pp.16–21. DOI:10.1016/j.smallrumres.2012.04.004

9. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Kolosov Yu.A., Shirokova N.V. Genetic structure of the herd according to GDF 9, GH genes in sheep of Volgograd and Edilbaevsky breeds. *Agricultural and food innovations*, 2021, no. 2(14), pp. 51–59. (In Russian) DOI: 10.31208/2618-7353-2021-14-51-59.

10. Knight P.G., Glister C. TGF- β superfamily members and ovarian follicle development. *Reproduction*, 2006, vol. 132, no. 2, pp. 191–206.

11. Hanrahan J.P., Gregan S.M., Mulsant P., Mullen M., Davis G.H., Powell R., Galloway S.M. Mutations in the genes for oocyte-derived growth factors GDF9 and BMP15 are associated with both increased ovulation rate and sterility in Cambridge and Belclare sheep (*Ovis Aries*). *Biology of Reproduction*, 2004, vol. 70, no. 4, pp. 900–909. DOI:10.1095/biolreprod.103.023093.

12. Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khodakov A.A. [et al.]. Polymorphism of genes of cast, gr, GS 9 sheep of Dagestan mountain breed. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 2(59), pp. 39–44. (In Russian) DOI 10.18470/1992-1098-2021-2-39-44.

13. Ozdemirov A.A., Surov A.I., Surzhikova E.S. [et al.]. Polymorphism of *GH/HaeIII* and *GDF9/AspEI* genes, genetic variability, association of their genotypes with immune status in sheep of different breeds bred in different natural geographical zones. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3(64), pp. 78–84. (In Russian) DOI 10.18470/1992-1098-2022-3-78-84.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zakir K. Gadzhiev, Evgeniya S. Surzhikova, Darya D. Evlagina, Alexander I. Surov and Svetlana N. Shumaenko conducted the selection of biomaterial, DNA studies and analysed the data. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Закир К. Гаджиев / Zakir K. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0003-1966-7000>
 Евгения С. Суржикова / Evgeniya S. Surzhikova <https://orcid.org/0000-0002-3955-0902>
 Дарья Д. Евлагина / Darya D. Evlagina <https://orcid.org/0000-0001-6101-7293>
 Александр И. Суров / Alexander I. Surov <https://orcid.org/0000-0002-3892-6621>
 Светлана Н. Шумаенко / Svetlana N. Shumaenko <https://orcid.org/0000-0003-2113-5740>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 591.151:636.22

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-196-200



Анализ полиморфизмов в генах, ассоциируемых с молочной продуктивностью у районированных пород крупного рогатого скота, выращиваемых в условиях Республики Дагестан

Алимсолтан А. Оздемиров, Абдусалам А. Хожиков, Зухра М. Гусейнова, Мадина А. Даветеева

Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Алимсолтан А. Оздемиров, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр РД»; 367014 Россия, г. Махачкала, ул. А. Шахбанова, 30. Тел. +79094806199
Email alim72@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

Формат цитирования

Оздемиров А.А., Хожиков А.А., Гусейнова З.М., Даветеева М.А. Анализ полиморфизмов в генах, ассоциируемых с молочной продуктивностью у районированных пород крупного рогатого скота, выращиваемых в условиях Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 196-200. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-196-200

Получена 30 декабря 2022 г.

Прошла рецензирование 20 мая 2023 г.

Принята 21 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Уникальному генофонду аборигенных пород угрожает все больше распространяющееся направление коммерческих пород, что в свою очередь чревато сужением генетической базы, необходимой для увеличения и сохранения имеющегося генетического разнообразия. По этой причине проводимые нами исследования ставили перед собой цель изучить полиморфизм генов *PRL*, *PIT-1*, *GH* у крупного рогатого скота красной степной породы, выращиваемых в условиях Дагестана.

Методы. Генотипирование крупного рогатого скота красной степной и кавказской бурой пород было осуществлено методами ПЦР-ПДРФ. Посредством этих методов был проведен генетический анализ, изучен полиморфизм генов пролактин, соматотропин, гипофизарно-специфический фактор транскрипции.

Результаты. В результате проведенного генотипирования подопытной группы крупного рогатого скота породы красная степная, было выяснено, что распределение двух аллелей и трех генотипов (*PIT-1A* и *PIT-1B*; *PIT-1AA*, *PIT-1BB*, *PIT-1AB*), гена *PIT-1*, имеет специфический характер. Специфичность аллельного спектра гена *PRL*, выразилось в высокой (0,84) частоте встречаемости аллеля *PRL^A* и низкой (0,16) аллеля *PRL^B*. Что нашло отражение в присутствии гомо-, гетерозиготных генотипов с частотой встречаемости 73,0; 23,0; 4,0 %, соответственно.

Заключение. Применяемые генетические подходы по повышению продуктивных и породных качеств скота, которые являясь современными и основанными на более полном анализе генетического разнообразия и генотипа исследуемых популяций, способствуют сохранению районированных пород. В то же время внутривидовая изменчивость и хорошая адаптивность должны обеспечить устойчивое развитие молочного скотоводства в различных природно-климатических зонах.

Ключевые слова

Крупный рогатый скот, полиморфизм, популяция, адаптация, красная степная порода.

Analysis of polymorphisms in genes associated with milk productivity in red steppe and Caucasian brown cow breeds in two natural-climate zones (mountains and plain) of Dagestan, Russia

Alimsoltan A. Ozdemirov, Abdusalam A. Khozhokov, Zukhra M. Huseynova and Madina A. Daveteeva

Federal Agrarian Scientific Centre, Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

Principal contact

Alimsoltan A. Ozdemirov, Head, Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding, Federal Agrarian Research Centre, Republic of Dagestan; 30 A. Shakhbanova St, Makhachkala, 367014 Russia. Tel. +79094806199
Email alim72@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

How to cite this article

Ozdemirov A.A., Khozhokov A.A., Huseynova Z.M., Daveteeva M.A. Analysis of polymorphisms in genes associated with milk productivity in red steppe and Caucasian brown cow breeds in two natural-climate zones (mountains and plain) of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 196-200. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-196-200

Received 30 December 2023

Revised 20 May 2023

Accepted 21 August 2023

Abstract

Aim. The unique gene pool of indigenous breeds in the Dagestan Caucasus is threatened by the increasingly widespread use of commercial breeds, which in turn risks narrowing the genetic base necessary to increase and maintain existing genetic diversity. For this reason, our research aimed to study the polymorphism of the PRL, PIT-1, GH genes in red steppe and Caucasian brown cattle raised in the conditions of Dagestan.

Methods. Genotyping of red steppe and Caucasian brown cattle was carried out using PCR-RFLP methods. Using these methods, genetic analysis was carried out and polymorphism of the prolactin, somatotropin and pituitary-specific transcription factor genes was studied.

Results. As a result of the genotyping of an experimental group of red steppe cattle, it was found that the distribution of two alleles and three genotypes (PIT-1A and PIT-1B; PIT-1AA, PIT-1BB, PIT-1AB) of the PIT-1 gene has a specific character. The specificity of the allelic spectrum of the PRL gene is expressed in the high (0.84) frequency of occurrence of the PRLA allele and low (0.16) frequency of the PRLB allele. This is reflected in the presence of homo- and heterozygous genotypes with a frequency of occurrence of 73.0; 23.0; 4.0 %, respectively.

Conclusion. Applied genetic approaches to improve the productive and breed qualities of livestock, which are modern and based on a more complete analysis of the genetic diversity and genotype of the studied populations, contribute to the conservation of zoned breeds. At the same time, intrapopulation variability and good adaptability should ensure the sustainable development of dairy cattle breeding in various climatic zones.

Key Words

Cattle, polymorphism, population, adaptation, red steppe breed, Caucasian brown breed.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей адаптации к определенным условиям является сбалансированный отбор, посредством которого поддерживается аллельное разнообразие генов [1; 2]. Это становится актуальным в связи с общемировым сокращением биоразнообразия, что чревато исчезновением породного разнообразия генофонда мелкого и крупного рогатого скота [3–5].

Статистика данных ФАО говорит о том, что за шестилетний период (2001–2006) прекратило свое существование шесть десятков различных пород, что в свою очередь отразилось на потере генетических данных [6–8].

Таким образом, построение генетической базы данных районированным, локальным породам сохраняет свою актуальность, так как, определенный уклад генов как крупного, так и мелкого рогатого скота, приобретает все большее значение [9].

Большое значение будет иметь создание генетической базы у аборигенных, районированных пород, которые являясь источником сохранения генетической изменчивости сегодня, создадут благоприятные условия для планомерного увеличения биоразнообразия в будущем. Районированные породы скота, выращиваемые в определенных природно-географических зонах Дагестана на протяжении большого промежутка времени, превосходно адаптированы к местным природно-климатическим условиям предгорной и низменной провинций, адаптированы вышеотмеченные породы и к условиям кормления, присущим данной местности. По причине очень хорошей адаптации и производству продукции в

не легких условиях районированная красно-степная порода имеет большой спрос [10].

Развитие молекулярно-генетических методов, которые дают возможность амплифицировать огромное количество определенных участков ДНК, а также анализ полиморфизма этих участков, создали условия для поиска как ключевых генов, которые ассоциируются с хозяйственно-полезными признаками, так и сохранения, и накопления в племенных хозяйствах генотипов, являющимися селекционно-значимыми [10].

В тех странах, где животноводство имеет хорошее развитие, обязательным условием является генетическое маркирование с/х животных. В последние годы, к генетическому маркированию значительно возрос интерес и в РФ. Ввиду различных причин, в Дагестане отсутствовала не только геномная, но даже и маркерная селекция с проведением ДНК диагностики. Проводимые генетические исследования в Республике дадут возможность получить животных с определенным генотипом, имеющих улучшенную продуктивность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подопытными животными, для проведения генетических исследований служили коровы (n=48) из племенного хозяйства КХ «Агрофирма Чох» – на низменности. Кровь брали у коров – дочерей от одного быка. Опытным материалом являлась ДНК, которая была выделена из проб крови исследуемого поголовья. Выделение ДНК проводилось с использованием специального набора реагентов (DIAotmtmDNAprep).

Генотипирование исследуемых животных проводилось методом ПЦР-ПДРФ. ПЦР проводилась с использованием определенных праймеров (табл. 1).

Таблица 1. Аллельные варианты

Table 1. Allelic variants

Нуклеотидная последовательность Nucleotide Sequences	Т° C, отжига T° C, annealing	Генотип Genotype	Амплификат, (п.н.) Amplificat, (p.n.)	Эндонуклеаза, замена нуклеотида Endonuclease, nucleotide replacement
PIT-1 F:5'- caatgagaaagttggtgc -3' R:5'-tctgcattcgagatgctc -3'	55	AA/AB/BB	660	Hinfl / A→G
PRL F:5'-cgagtccttagagcttgattctt-3' R:5'-gcctccagaagtcgtttgttttc -3'	63	AA/AB/BB	156	RsaI / A→G
GH F:5'-gctgctcctgagccttcg -3' R:5'-gcggcggcactcatgacacct-3'	65	VV/VL/LL	223	AluI / C→A

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты генотипирования подопытного поголовья позволяют говорить о том, что в опытной группе маточного поголовья крупного рогатого скота красной степной породы, частота встречаемости аллеля гипофизарного фактора транскрипции – *PIT-1^A* имела показатель – 0,41; аллеля – *PIT-1^B* – 0,59, что отразилось и в частоте встречаемости гомозиготных и гетерозиготных генотипов (*PIT-1^{AA}*, *PIT-1^{BB}* и *PIT-1^{AB}*) и составило: *PIT-1^{AA}* – 23; *PIT-1^{BB}* – 42; *PIT-1^{AB}* – 35,0 % соответственно (табл. 2).

В результате проведенного генотипирования подопытной группы крупного рогатого скота породы красная степная, было выяснено, что распределение двух

аллелей и трех генотипов (*PIT-1^A* и *PIT-1^B*; *PIT-1^{AA}*, *PIT-1^{BB}*, *PIT-1^{AB}*), гена *PIT-1*, имеет специфический характер.

Для полиморфизма гормона роста GH, представленного двумя аллелями GH^V и GH^L, характерна высокая (0,70) концентрация аллеля GH^L и низкая (0,30) аллеля GH^V, присутствие гомозиготных генотипов GH^{VV}, GH^{LL} составило 21,0 и 60,0 %, гетерозиготного GH^{LV} – 19,0 %.

Специфичность аллельного спектра гена PRL, выразилось в высокой (0,84) частоте встречаемости аллеля PRL^A и низкой (0,16) аллеля PRL^B. Что нашло отражение в присутствии гомо-, гетерозиготных генотипов с частотой встречаемости 73,0; 23,0; 4,0 %, соответственно.

Таблица 2. Генотипы в исследуемых популяциях
Table 2. Genotypes in populations studied

Параметры Parameters	Genotypes in populations studied								
	GH			PRL			PIT-1		
	Генотип / Genotypes								
	VV* (V)	LV	LL (L)	AA (A)	AB	BB* (B)	AA* (A)	AB	BB (B)
красная степная, (n=47) / red steppe, (n=47)									
Частота аллеля Allele frequency	0,30		0,70	0,84		0,16	0,41		0,59
Частота генотипов, % Genotype frequency, %	21,0	19,0	60,0	73,0	23,0	4,0	23,0	35,0	42,0

Помимо этого, была проведена оценка генетической структуры подопытных коров, посредством генетико-статистического анализа. Показатели исследуемых генетических констант зависели как от гена, так и от ареала выращивания крупного рогатого скота

Так, степень гомозиготности (Ca, %), свидетельствующая о консолидации стада, варьировала в пределах – 51,6 %, в локусе гена PIT-1 в стаде красной степной породы.

Степень гомозиготности в локусе гена PRL в популяции коров красной степной породы составила 73,1 %. Относительно степени гомозиготности расположенной в локусе гена GH, варибельность данного показателя у анализируемого скота была низкой – 57,9 %.

Количество эффективно действующих аллелей (Na) в локусе гена PIT-1 у исследуемого поголовья имели значение – 1,95.

Количество эффективно действующих аллелей (ген PRL) – 1,38. Большие показатели – 1,73 число эффективно действующих аллелей было выявлено в локусе того же гена.

Установлена значительная варибельность степени генетической изменчивости (V, %) в локусах изучаемых генов исследуемых стад. Так, степень генетической изменчивости в локусе гена PIT-1 составило – 46,4 %.

Варибельность генетической изменчивости в локусе гена PRL имела показатель – 24,9% в популяции коров красной степной породы. Что касается генетической изменчивости в локусе гена GH, то наивысшие значения этого показателя составили 40,0 %.

В отношении гена GH отмечалось нарушение генетического равновесия – $\chi^2=15,0$, что помимо естественного отбора можно объяснить такими факторами как: неслучайный подбор партнеров при спаривании, свойственный некоторым животным или разделение популяции на две неравные части некими неожиданно возникшими естественными или искусственными барьерами и т.д.

Наблюдаемая (Hobs), а также ожидаемая (Hexp) гетерозиготности гена PIT-1 у исследуемого поголовья имел значительные показания (0,549 и 0,83).

Уровни Hobs и Hexp гена PRL, были не высокими у подопытного поголовья, с показателями 0,297 и 0,367. Уровень наблюдаемой (Hobs) гетерозиготности гена GH имело показатель – 0,232. Также следует отметить, что значение варибельности для показателя уровня ожидаемой гетерозиготности (Hexp) имело значение 0,725 для изучаемой породы скота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Генотипирование красно-степной породы дало возможность установить присутствие следующих аллелей (GH^V и GH^L , PRL^A и PRL^B , $PIT-1^A$ и $PIT-1^B$).

Варибельность уровня гомозиготности в исследуемой выборке, указывающая на консолидацию генофонда крупного рогатого скота породы красная степная, была относительно не высокой, однако уровень генетической изменчивости в изучаемой популяции имел значение – 24,9–46,4 %.

Результаты проведенных исследований говорят о своеобразии популяционного, породного генофонда в изученной выборке крупного рогатого скота породы красная степная.

Генетические подходы по увеличению породных и продуктивных качеств изучаемых пород, являются современными и основываются на тщательном анализе генетического разнообразия и генотипа изучаемых пород, способствуют сохранению районированных пород. В то же время внутривидовая изменчивость и хорошая адаптивность должны обеспечить устойчивое развитие молочного скотоводства в различных природно-климатических зонах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крюков В.И., Шалимова О.А., Друшляк Н.Г., Пикунова А.В. ДНК-диагностика в селекции крупного рогатого скота // Вестник Орел ГАУ. 2012. № 1. С. 62–68.
2. Селионова М.И., Чижова Л.Н., Бобрышова Г.Т., Суржикова Е.С., Михайленко А.К. Перспективные генетические маркеры крупного рогатого скота // Вестник АПК Ставрополя. 2018. № 3(31). С. 44–51.
3. Ozdemirov A.A., Chizova L.N., Hozhokov A.A., Surchikova E.S., Mikhailenko A.K. Гематологический профиль, генетическая изменчивость молочного скота кавказской бурой породы в разных эколого-географических зонах // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. № 4(61). С. 146–151.
4. Столповский Ю.А., Захаров-Гезехус И.А. Проблема сохранения генофондов domesticированных животных // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 4. С. 477–486. <https://doi.org/10.18699/VJ17.266>
5. Дроздов Е.В., Заякин В.В., Нам И.Я. Анализ полиморфизма генов каппа-казеина, β -лактоглобулина, пролактина, ген релизинг-фактора и соматотропина по AluI и MspI маркерам у коров айрширской породы // Вестник Брянского гос. университета. 2009. С. 119–125.
6. Zatoń-Dobrowolska M., Ćitek J., Filistowicz A. Genetic distance between the Polish Red, Czech Red and German Red cattle estimated based on selected loci of protein coding genes and

- DNA microsatellite sequences // Anim. Sci. Papers and Reports. 2007. V. 25. N 1. P. 45–54.
7. Eydivandi C., Amirinia C., Jomeh-Kashan N.E., Chamani M., Fayazi J.. Study of factor XI deficiency in Khuzestan cattle population of Iran // African Journal of Biotechnology. 2011. V. 10. P. 718–721.
8. Volkova V.V., Abdelmanova A.S., Deniskova T.E., Romanenkova O.S., Khozhokov A.A., Ozdemirov A.A., Sermyagin A.A., Zinovieva N.A. Investigation of the genetic diversity of dagestan mountain cattle using str-markers // Diversity. 2022. V. 14. N 7. C. 569.
9. Селионова М.И., Чиждова Л.Н., Суржикова Е.С., Шарко Г.Н., Михайленко Т.Н., Чудновец А.И. Породные особенности аллельного профиля генов, контролирующих молочную продуктивность крупного рогатого скота // АгроЗооТехника. 2019. Т. 2. N 1. С. 3.
10. Оздемиров А.А., Селионова М.И., Чиждова Л.Н., Хожиков А.А., Суржикова Е.С., Рамазанова Д.М. Полиморфизм генов pit-1, prl, gh молочного скота кавказской бурой породы, разводимого в различных природно-экологических зонах республики дагестан // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 2(55). С. 165–171.

REFERENCES

1. Kryukov V.I., Shalimova O.A., Drushlyak N.G., Pikunova A.V. DNA diagnostics in cattle breeding. Vestnik Orel GAU [Bulletin Orel GAU]. 2012, no. 1, pp. 62–68. (In Russian)
2. Selionova M.I., Chizhova L.N., Bobryshova G.T., Surzhikova E.S., Mikhailenko A.K. Promising genetic markers of cattle. Vestnik APK Stavropol'ya [Bulletin of the APK of Stavropol]. 2018, no. 3(31), pp. 44–51. (In Russian)
3. Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S., Mikhailenko A.K. Hematological profile, genetic variability of dairy cattle of the Caucasian brown breed in different ecological and geographical zones. Yug Rossii : ekologiya,

- razvitiye [South of Russia: ecology, development]. 2021, vol. 16, no. 4(61), pp. 146–151. (In Russian)
4. Stolpovsky Yu.A., Zakharov-Gezekhus I.A. The problem of preserving the gene pools of domesticated animals Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 477–486. (In Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ17.266>
5. Drozdov E.V., Zayakin V.V., Nam I.Ya. Analysis of the gene polymorphism of kappa-casein, β -lactoglobulin, prolactin, the releasing factor gene and somatotropin for Alul and Mspl markers in Ayrshire cows. Vestnik Bryanskogo gos. universiteta [Bulletin of Bryansk State. University]. 2009, pp. 119–125. (In Russian)
6. Zatoń-Dobrowolska M., Čitek J., Filistowicz A. Genetic distance between the Polish Red, Czech Red and German Red cattle estimated based on selected loci of protein coding genes and DNA microsatellite sequences. Anim. Sci. Papers and Reports. 2007, vol. 25, no. 1, pp. 45–54.
7. Eydivandi C., Amirinia C., Jomeh-Kashan N.E., Chamani M., Fayazi J. Study of factor XI deficiency in Khuzestan cattle population of Iran. African Journal of Biotechnology. 2011, vol. 10, pp. 718–721.
8. Volkova V.V., Abdelmanova A.S., Deniskova T.E., Romanenkova O.S., Khozhokov A.A., Ozdemirov A.A., Sermyagin A.A., Zinovieva N.A. Investigation of the genetic diversity of dagestan mountain cattle using str-markers. Diversity. 2022, vol. 14, no. 7, p. 569.
9. Selionova M.I., Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Sharco G.N., Mikhailenko T.N., Chudnovets A.I. Breed features of the allelic profile of genes that control the milk productivity of cattle. AgroZooTehnika. 2019, vol. 2, no. 1, p. 3. (In Russian)
10. Ozdemirov A.A., Selionova M.I., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S., Ramazanova D.M. Polymorphism of genes pit-1, prl, gh of Caucasian brown breed dairy cattle bred in various natural-ecological zones of the Republic of Dagestan. Yug Rossii: ekologiya, razvitiye [South of Russia: ecology, development]. 2020, vol. 15, no. 2(55), pp. 165–171. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Алимсолтан А. Оздемиров и Абдусалам А. Хожиков провели ДНК- исследования и проанализировали данные. Зухра М. Гусейнова и Мадина А. Даветеева отобрали биоматериал для исследований. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alimsoltan A. Ozdemirov and Abdusalam A. Khozhokov conducted DNA research and analysed the data. Zukhra M. Huseynova and Madina A. Daveteeva selected biomaterial for research. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Алимсолтан А. Оздемиров / Alimsoltan A. Ozdemirov <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>
 Абдусалам А. Хожиков / Abdusalam A. Khozhokov <https://orcid.org/0000-0002-7303-0222>
 Зухра М. Гусейнова / Zukhra M. Huseynova <https://orcid.org/0000-0003-1728-2844>
 Мадина А. Даветеева / Madina A. Daveteeva <https://orcid.org/0000-0002-6429-7697>

Оригинальная статья / Original article

УДК 574.46

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-201-209



Моделирование социальной ответственности гостиничного бизнеса как фактора устойчивого развития туристской дестинации Калининградской области

Валентин В. Корнеевец¹, Людмила В. Семенова¹, Наталия В. Яковенко²¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия²Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Контактное лицо

Наталия В. Яковенко, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник дирекции НИИ ИТЛК, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия 394087. Tel. +79191889232

Email n.v.yakovenko71@gmail.comORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

Формат цитирования

Корнеевец В.В., Семенова Л.В., Яковенко Н.В. Моделирование социальной ответственности гостиничного бизнеса как фактора устойчивого развития туристской дестинации Калининградской области // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 201-209. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-201-209

Получена 15 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 26 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Обоснование подходов к моделированию социальной ответственности гостиничного бизнеса как фактора устойчивого развития дестинации.

Материал и методы. Для обработки исходной информации и написания работы были использованы теория системного анализа, экономико-статистический метод, сравнительно-описательный анализ и общенаучные методы эмпирических исследований. Эмпирическое обоснование предлагаемой модели базировалось на опросе населения, которое имело опыт проживания в объектах размещения, к вопросам о социальной ответственности и изменения потребительских привычек.

Результаты. Авторами выявлены и охарактеризованы основные подходы к моделированию социальной ответственности гостиничного бизнеса как фактора устойчивого развития дестинации. Предложена модель корпоративной социальной ответственности локального гостиничного кластера, которая концентрируется на улучшении качества гостиничного бизнеса, внедрении энергоэффективных и удобных технологий, а также развитии социально-культурной и туристической инфраструктуры, способствующих росту социальной инфраструктуры бизнеса.

Заключение. Универсальный характер структуры предлагаемой модели позволяет экстраполировать основные результаты в систему гостиничного бизнеса не только Калининградской области, но и в других регионах Российской Федерации.

Ключевые слова

Гостиничный бизнес, модель, дестинация, туризм, Калининградская область.

Modeling the social responsibility of the hospitality industry as a factor of sustainable development of a travel destination of the Kaliningrad region, Russia

Valentin S. Korneevets¹, Liudmila V. Semenova¹ and Nataliya V. Yakovenko²

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

²G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia

Principal contact

Nataliya V. Yakovenko, Doctor of Geography, Professor, Chief Research Officer, Directorate of the Research Institute of Innovative Technologies and the Forestry Complex, G.F. Morosov Voronezh State University of Forestry and Technologies; 8 Timiryazev St, Voronezh, 394087 Russia.

Tel. +79191889232

Email n.v.yakovenko71@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

How to cite this article

Korneevets V.S., Semenova L.V., Yakovenko N.V.

Modeling the social responsibility of the hospitality industry as a factor of sustainable development of a travel destination of the Kaliningrad region, Russia.

South of Russia: ecology, development. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 201-209. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-201-209

Received 15 May 2023

Revised 26 June 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To substantiate approaches to the modeling of the social responsibility of the hospitality industry as a factor of sustainable development of a travel destination.

Material and Methods. System analysis theory, economic-statistical method, comparative-descriptive analysis and general scientific methods of empirical research were used to process the initial information and to write the paper. The empirical grounding of the proposed model was based on a survey of the population which had experienced accommodation facilities, on questions about social responsibility and on changes in consumer habits.

Results. The authors have identified and characterised the main approaches to modeling social responsibility of the hospitality industry as a factor of sustainable development of a travel destination. A model of corporate social responsibility of a local hotel cluster, which focuses on improving the quality of the hospitality industry, the introduction of energy-efficient and convenient technologies, as well as the development of socio-cultural and tourist infrastructure which contribute to the growth of the social infrastructure of the business, is proposed.

Conclusion. The universal nature of the structure of the proposed model, allows the extrapolation of the main results concerning the system of the hospitality industry not only in the Kaliningrad region, but also in other regions of the Russian Federation.

Key Words

Hotel business, model, destination, tourism, Kaliningrad region.

ВВЕДЕНИЕ

Основная концепция Корпоративной социальной ответственности (КСО) заключается в том, чтобы бизнес действовал ответственно по отношению к обществу и заинтересованным сторонам, кроме своих акционеров. Эта идея была впервые представлена в 1960-х годах и со временем стала одной из самых обсуждаемых тем в академических и профессиональных кругах, особенно после финансового кризиса 2008 года. КСО призвана решать социальные проблемы, которые не входят в обязанности компаний, установленные законом, или которые не прямо связаны с интересами акционеров [1].

Это предполагает выделение ресурсов компании и человеческих усилий на разработку и внедрение мер КСО, которые могут соответствовать ожиданиям различных заинтересованных сторон [2; 3]. Некоторые исследователи говорят, что компании могут получить выгоду от ответственности перед своими заинтересованными сторонами, если они будут соблюдать эту практику последовательно [4]. Другие ученые указывали, что единственная ответственность, которую фирмы должны нести, это ответственность перед своими акционерами, то есть максимизация прибыли [5].

Движущие силы КСО являются одними из наиболее обсуждаемых тем учеными-менеджерами. В то время как значительные исследования были сосредоточены на внешних движущих силах КСО, таких как давление заинтересованных сторон [6–8], институциональное давление и юридические предписания, мало внимания уделялось внутренним детерминантам КСО, таким как состав правления и характеристики, приверженность руководства компании этике и политическая идеология генерального директора [9–12], и это лишь некоторые из них.

Поэтому в будущем исследования должны учитывать все эти факторы вместе, чтобы предоставить комплексный подход к политике КСО фирмы, который будет более эффективным, чем рассмотрение каждого фактора отдельно.

Когда движущими силами КСО фирмы являются личные интересы генерального директора, связи фирмы с общественностью, соблюдение фирмой институциональных и нормативных факторов, фирма может не воспользоваться всеми преимуществами своих действий в области КСО. Неравномерное внимание к заинтересованным сторонам компании может быть результатом расхождений в движущих силах, что может нанести вред компании, а не принести пользу. Такие последствия являются нежелательными при инвестировании в КСО.

Цель исследования состоит в обосновании подходов к моделированию социальной ответственности гостиничного бизнеса как фактора устойчивого развития дестинации.

Для достижения исследовательской цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить место и роль социальной ответственности гостиничного бизнеса как фактора устойчивого развития дестинации.

2. Разработать модель корпоративной социальной ответственности локального гостиничного кластера, которая концентрируется на улучшении качества гостиничного бизнеса, внедрении энергоэффективных и удобных технологий, а также

развитии социально-культурной и туристической инфраструктуры, способствующих росту социальной инфраструктуры бизнеса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обработки исходной информации и написания работы были использованы теория системного анализа, экономико-статистический метод, сравнительно-описательный анализ и общенаучные методы эмпирических исследований. Эмпирическое обоснование предлагаемой модели базировалось на опросе населения, которое имело опыт проживания в объектах размещения, к вопросам о социальной ответственности и изменения потребительских привычек.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Индустрия гостеприимства в Калининградской области в последние годы развивается очень высокими темпами. В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Калининградской области на долгосрочную перспективу, утвержденной постановлением Правительства Калининградской области от 02 августа 2012 года № 583, развитие сферы туризма и отдыха – один из базовых приоритетов новой модели экономики Калининградской области.

Город и область обладают благоприятным геополитическим положением, имеют значительное количество достопримечательностей и богатую историю, что определяет их привлекательность для туристов. Кроме того, расположение у Балтийского моря добавляет дополнительную привлекательность для любителей пляжного отдыха и водных видов спорта.

В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Калининградской области и государственной программой Калининградской области «Туризм» приоритетными направлениями политики Калининградской области в сфере туризма и отдыха, включающими элементы социальной ответственности бизнеса являются:

- обеспечение качества и доступности услуг в сфере туризма Калининградской области;
- формирование представления о Калининградской области как о регионе, комфортном и безопасном для пребывания туристов;
- повышение конкурентоспособности индустрии туризма Калининградской области на международном и российском рынках;
- обеспечение доступности объектов культурно-исторического наследия для туристов Калининградской области [13].

Калининградская область занимает шестое место в рейтинге национального туризма, включая самые привлекательные регионы России. Запросы на бронирование гостиниц показывают, что город Калининград занимает седьмое место в топ-10 популярных городов России для туристических поездок. На протяжении 5 лет с 2007 года в Калининградской области наблюдался поток туристов, не превышающий 600 тыс. чел. С 2014 года начинается активный рост туристских прибытий (рис. 3). При этом следует заметить, что поток российских туристов значительно превышает поток иностранных туристов, что говорит о том, что Калининградская область является интересной для жителей остальной части России. Подготовка к чемпионату мира по футболу способствовала

увеличению конкурентной способности региона, созданию благоприятных условий для развития инфраструктуры туризма, а также привлечению инвестиций в данную сферу.

Тенденции развития туристского сектора региона во многом соответствуют международным и национальным трендам. Можно увидеть снижение туристского потока в 2009 году, когда в России и в мире происходил финансовый кризис, а также заметное увеличение потока с 2012 года, после стабилизации экономической ситуации. К 2014 году поток туристов составил только 620 тыс. человек за год и основной задачей для развития туризма в области стало формирование турпотоков таким образом, чтобы максимально выигрывала как экономика региона в целом, так и индивидуальная туристская деятельность, в частности. Активное участие Калининградской области в реализации Федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2011–2018 гг.)», в подготовке к чемпионату мира по футболу позволило повысить конкурентоспо-

собность региона, создать условия для развития туристской инфраструктуры, привлечь инвестиции в отрасль.

С 1 июля 2019 года граждане 53 иностранных государств, в том числе Евросоюза, получили возможность въезжать в область по упрощенной процедуре бесплатных электронных виз на срок не более 8 суток. По данным областного Минтуризма, за 4 месяца существования упрощенного въезда по электронным визам область посетили 68,5 тыс. человек из 45 стран. Это позволило сохранить тенденции, сформировавшиеся в период чемпионата мира по футболу. В начале 2020 г. весь мир был охвачен пандемией COVID-19, что привело к полному закрытию границ странами, сокращению передвижения внутри страны, массовой самоизоляции населения, что, в свою очередь, повлияло на снижение туристической активности. В результате пандемии туристический поток в регионе снизился по сравнению с плановым показателем на 800 тысяч и составил по итогам 2020 года 1200 тысяч туристов.

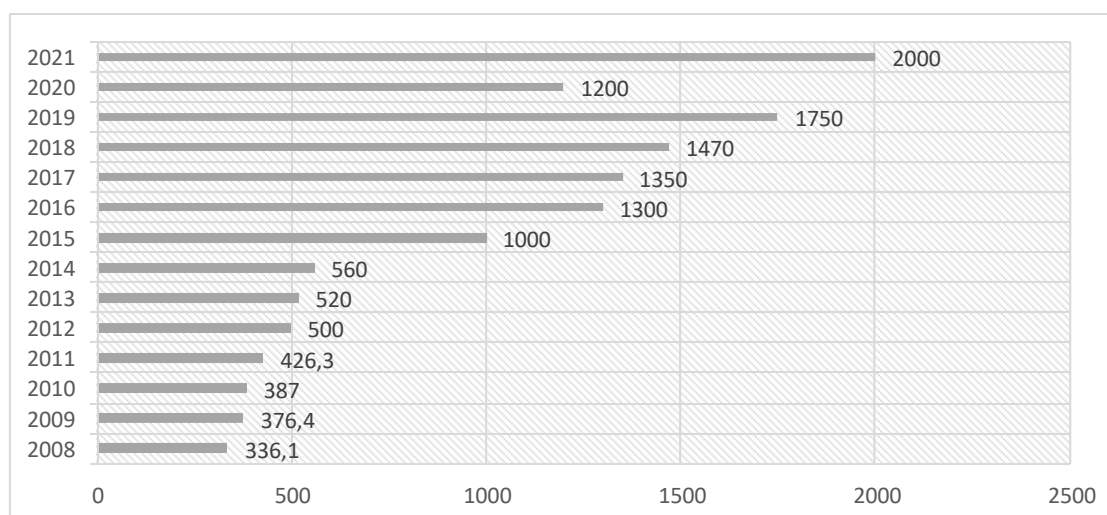


Рисунок 1. Динамика развития туризма в Калининградской области, тыс. чел. [14]

Figure 1. Dynamics of tourism development in the Kaliningrad region, thousand people [14]

Социальная ответственность бизнеса в случае с пандемией играет очень важную роль в отношении работников сферы гостеприимства, а также по отношению к туристам. Степень развитости социальной ответственности в гостиничном бизнесе проявляется в таких ситуациях особо остро. Можно утверждать, что по данным проведенных исследований, лишь меньшая часть гостиничного бизнеса Калининградской области обладает признаками корпоративной социальной ответственности. Это подтверждается и сравнительными показателями по социальной ответственности гостиничного бизнеса Балтийского региона, приведенными выше на рис. 1. Для Калининградской области характерны самые низкие показатели социальной ответственности: дополнительные меры по защите здоровья и безопасности отмечены только в 59,6 % гостиниц, а доступность для инвалидов колясочников обеспечена только в 10,5 % гостиничных предприятий.

Лучше ситуация с социальной ответственностью бизнеса проявляется в сетевых отелях, которые развиваются по международным стандартам сети, соблюдая экономичность ресурсов при проведении электричества, наличия «умных» ключей, правил по

переработке и утилизации отходов, имеют в номерном фонде большое количество номеров для людей с ограниченными возможностями, номеров для размещения разновозрастных групп, в особенности детских. Маркетинговая политика сетевых отелей более тесно связана с социальной ответственностью при формировании ценового предложения для детского туризма и размещения определенных социальных групп, людей с ограниченными возможностями. В сетевых отелях Калининграда работники проходят определенное обучение по многим аспектам социальной ответственности, так как это является определенным стандартом ведения бизнеса. Также, как уже отмечалось, они являются активной частью всех проводимых акций сетей по миру от благотворительности до помощи местному населению.

Для оценки актуального состояния ведения гостиничными предприятиями социально-ответственного бизнеса, было проведено исследование на соответствие элементам социальной ответственности бизнеса. Группы отелей рассматривались по всем видам социальной ответственности: юридической, качественной,

профессиональной, этической, экологической и финансовой, результаты представлены ниже.

Для понимания отношения людей, которые имели опыт проживания в объектах размещения, к вопросам о социальной ответственности и изменения потребительских привычек, было проведено исследование через опрос респондентов, которое дало дополнительную информацию. Из 392 респондентов в возрасте от 18 лет, 97,3 % имели опыт размещения в гостиничных объектах, при этом из них только 54,1 % знают, что такое социальная ответственность и каково ее проявление в деятельности гостиничного предприятия.

На выбор отеля у 98,2 % опрошенных влияет цена, у – 97,3 % – расположение.

Отзывы о сервисе важны для 59,5 % респондентов, услуги – 37,8 %, инфраструктура – 35,2 %, а экологичность предприятия важна только для 32,4 % респондентов (в ходе опроса респонденты могли выбрать несколько вариантов ответа). Также 64,1 % респондентов отметили, что потребительское поведение изменится после пандемии COVID-19, 89,2 % отметили необходимость в безопасности и соблюдении прав человека, 83,8 % – необходимость наличия инфраструктуры и номеров для людей с ограниченными возможностями и 78,4 % респондентов отметили необходимость соответствия международным стандартам сервиса, эпидемиологии, экологии и социальной ответственности. Показателем результат, полученный при ответе на вопрос: «Будете ли Вы обращать внимание на сертификацию отеля, знаки качества, знаки соответствия международным и государственным нормам и правилам эпидемиологической/экологической/социальной сфер?», где 67,6 % респондентов ответили положительно. Результаты опроса показали, что респонденты считают социальную ответственность предприятия размещения желательной к исполнению, а также говорят об изменении в потребительском поведении и более избирательном подходе к выбору средства размещения.

При этом следует учитывать, что устойчивые проекты будут расти и развиваться в соответствии с изменениями в потребительском спросе и глобальными потребностями в смягчении негативного воздействия гостиничной индустрии, в особенности [15; 16] это характерно для молодого поколения Z, где растет доля потребителей, требовательно относящихся как к защите окружающей среды, так и к социальной ответственности бизнеса.

Социальная ответственность бизнеса – определенная философия, которую стараются применять большинство европейских и американских компаний, если брать во внимание именно гостиничную индустрию. В России социальная ответственность зачастую не выходит за рамки первого уровня, а иногда имеет трудности даже с соблюдением ответственности и на первом уровне.

В России недостаточно законов для регулирования деятельности по социальной ответственности, например, даже если взять экологический менеджмент, то у гостиниц нет ресурсов, чтобы в полной мере вести экологическую политику, перерабатывать отходы. Существуют стандарты ISO [17; 18], но почти все меры для применения социальной ответственности носят добровольный характер. Очень сложно точно и грамотно разграничить требования для крупного, среднего и малого бизнеса. Например, для успешной экологической сертификации необходимо учитывать конкретные особенности социальной среды, климата и природных ресурсов определенного региона. Кроме того, стоимость сертификации не должна быть высокой, чтобы она была доступна для средних и малых гостиниц. Из-за отсутствия законов или недостатков в законодательстве не может сложиться и нужное поведение общества, хотя ситуация с пандемией в мире может дать большой толчок к активному применению политики социальной ответственности на предприятиях, в особенности на предприятиях сервиса и гостиничных предприятиях.



Рисунок 2. Модель корпоративной социальной ответственности группы объектов размещения гостиничного бизнеса (составлено авторами)

Figure 2. Model of corporate social responsibility of a group of hotel accommodation facilities (compiled by the authors)

Следует учитывать, что проблема пандемии и ее последствия сильно отразятся на формируемом турпотоке и потребительских привычках туристов. Туристы становятся более избирательными к объектам размещения, стандартам обслуживания и к внедряемым мерам социальной ответственности.

Моделирование подходов по формированию социальной ответственности гостиничного бизнеса.

Осознав актуальность проблемы социальной ответственности бизнеса необходимо четко понимать, как устроена модель самой ответственности бизнеса, какие последствия будут у предприятия, которое решило интегрировать модель социальной ответственности в свой бизнес.

Нужно понимать, что социальная ответственность бизнеса различается в зависимости от его размера – малого, среднего или крупного. Малый гостиничный бизнес уже по своей природе обладает социальной миссией, и является источником создания новых рабочих мест, а также реальным инструментом для удовлетворения потребностей населения как в части потребляемых товаров и услуг, так и социальных запросов. Это означает, что малый бизнес является эффективным средством для предоставления новых

возможностей на рынке труда.

Что касается крупного бизнеса и сетевого, то приоритетными направлениями, помимо гостеприимства, является создание собственной философии, принципов работы, где социальная ответственность выступает главенствующей основой для формирования устойчивого развития, формирования местного населения, экологии и других важных аспектов социальной сферы, для создания и поддержания доверительного имиджа компании. В долгосрочной перспективе, по примеру поведения крупных сетей, поддержка социально ответственного бизнеса будет способствовать стабилизации получения прибыли, поскольку у потребителей, поставщиков, мирового и местного сообщества формируется более привлекательный образ предприятия, что непосредственно влияет на увеличение продаж и позицию на рынке. Социально ответственное поведение способствует созданию дружественных (партнерских) отношений с органами власти, становятся более привлекательными для инвесторов, поскольку они рассматривают не только экономические показатели компании.

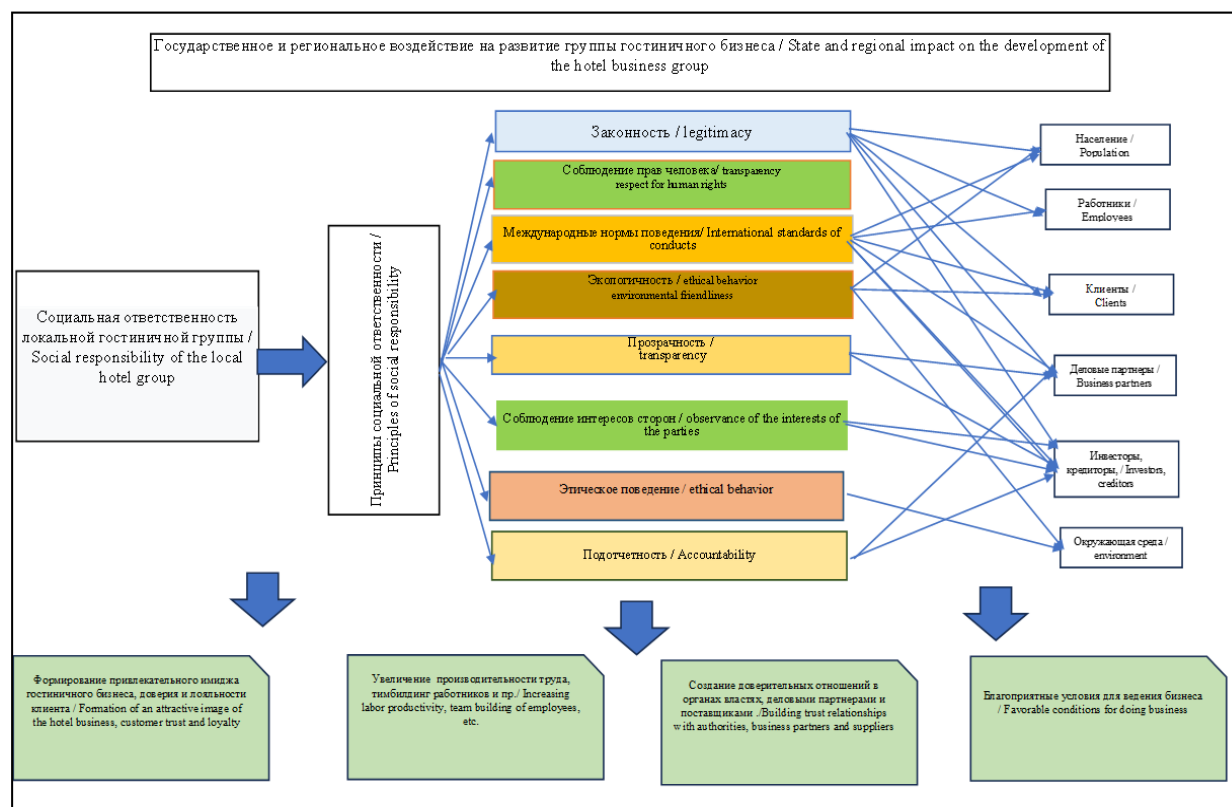


Рисунок 3. Моделирование социальной ответственности гостиничного бизнеса (составлено авторами)

Figure 3. Modelling the social responsibility of the hospitality industry (Compiled by the authors)

Будущее любого гостиничного бизнеса, крупного, среднего или малого в какой-то степени зависит от социального благополучия, стабильности, уровня культуры и образования в стране. Поэтому локальные гостиничные группы отелей должны занимать активную социально ответственную позицию. Свою социальную миссию гостиничные предприятия должны считать не как «одноразовую» социальную компанию, а взаимную работу власти и бизнеса в решении общественно важных проблем.

Объектно-ориентированный подход характеризуется мощным и универсальным формализмом, с помощью которого можно описать поведение экономических агентов на рынках. С точки зрения объектно-ориентированного подхода стоит рассматривать корпорацию как набор взаимодействующих объектов – бизнес-единиц. Целью применение данного подхода является выделение объектов, в частности, как отдельных корпораций, так и их составляющих и распределение между ними ответственности за

выполняемые действия. Этот подход дает возможность построить более устойчивую к изменениям систему, лучше соответствует существующим структурам и среде функционирования корпораций.

С помощью объектно-ориентированного подхода в процессе исследования корпораций туристического и гостинично-ресторанного бизнеса можно осуществлять моделирование их структуры в виде системы динамически развивающихся объектов (агентов). Такая специфика данного подхода обусловлена определенными признаками данных объектов (агентов):

- динамичностью характера, позволяющего характеризовать их по определенным свойствам поведения;
- сложностью структуры и механизмом функционирования;
- пребыванием под влиянием среды;
- наличием ресурсов и возможностей для осуществления изменений.

Следовательно, концепция реализации объектно-ориентированного подхода к управлению корпорациями туристического и гостинично-ресторанного бизнеса как объектов экономической системы, нацелена на обеспечение их сбалансированного роста и достижения определенного уровня развития (рис. 2).

Социальная ответственность владельцев гостиничного бизнеса включает в себя ряд преимуществ, которые следует учитывать:

- формирование привлекательного имиджа для гостиничного предприятия и всего гостиничного кластера;
- влияние на объем продаж и привлекательность условий для потенциальных инвесторов;
- повышение производительности труда, сплоченности коллектива и лояльности к руководству и гостиничному бренду;
- создание доверительных отношений с органами власти и партнерами по бизнесу;
- улучшение условий для ведения гостиничного бизнеса в целом.

Предложенная модель социальной ответственности может содействовать разработке системы мер, поощряющих социально-ответственное поведение предпринимателей. Устойчивое развитие туризма и индустрии гостеприимства, в сочетании с социальной ответственностью закладывает основу для новой логики как экономического, так и социального развития региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении следует отметить что социальная ответственность – это важный шаг на пути к устойчивому развитию гостиничных предприятий, открывающий для бизнеса новые возможности.

Ведение современного бизнеса требует от предприятий сферы услуг решительных шагов в реализации намеченных стратегий. Одни предприятия остаются неизменными выбранному вектору, другие же, несмотря на достижение экономического эффекта, стараются действовать ответственно. То есть корпоративную социальную ответственность вводят как базовый элемент при разработке, а в дальнейшем, и реализации Стратегии развития собственного бизнеса. Анализ подходов к КСО и официальные данные указывают на то, что¹ уровень использования проектов КСО предприятиями туристической

сферы остается на достаточно низком уровне. Даже предприятия, активно начавшие реализовывать данные проекты, не пытаются официально афишировать такие мероприятия, а тем более, создавать и публиковать нефинансовые отчеты. Ключевой преградой является неосведомленность бизнеса относительно данных проектов, и соответственно отчетов, а главное преимуществ, которые могут получить другие участники деятельности. Действовать социально сознательно не будет увеличивать прямо экономические прибыли предприятий, однако это будет прорывом и индикатором развития каждой отрасли экономики, привлекать инвестора (особенно внутреннего) и формировать положительный имидж самого предприятия, а соответственно, косвенно, влиять и на экономический эффект.

Но нужно понимать, что существуют проблемы, препятствующие внедрению элементов социальной ответственности в гостиничный бизнес, хотя при этом можно следовать большинству критериев, для дальнейшей их адаптации к условиям конкретного предприятия и региона.

Для эффективного внедрения концепции по совершенствованию внедрения социальной ответственности в региональный гостиничный бизнес необходимо:

- создание философии принципов работы и отношения к гостеприимству: от изучения прав человека, толерантности, равенства и безопасности человека до сохранения ресурсов и экологической безопасности;
- введение на законодательном уровне расширенных экологических стандартов гостиничного предприятия при обязательной, но доступной экологической сертификации определенных категорий отелей (объектов размещения в природных дестинациях, направленных на экологический туризм, крупный гостиничный бизнес, отели 4*, 5*) и добровольной для других с контролем за их исполнением;
- разработка согласованных программ на национальном уровне и внутри Балтийского региона по всем направлениям адаптации социальной ответственности в гостиничном бизнесе;
- внедрение социально-ориентированных технологий для размещения людей с ограниченными возможностями, детских групп, специальных групп и т.д.;
- формирование ценовой политики с учетом особых предложений для детского туризма, размещения определенных групп населения и людей с ограниченными возможностями;
- участие в региональных и федеральных социальных акциях, направленных на информационное обеспечение необходимости внедрения стандартов социальной ответственности.

Таким образом проведенное исследование показало, что существует ряд общих проблем в развитии гостиничного бизнеса в Балтийском регионе с позиций социальной ответственности. А высокие темпы развития туризма и гостиничного бизнеса требуют ускорения адаптации под новые стандарты социальной ответственности.

Благодаря универсальной структуре, реализуемой в данной модели, возможна экстраполяция основных результатов в гостиничном бизнесе не только в Калининградской области, но также и в других регионах Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Wang H., Choi Ja. A New Look at the Corporate Social–Financial Performance Relationship // *Journal of Management*. 2013. V. 39. P. 416–441. DOI:10.1177/0149206310375850
- Scheidler S., Edinger–Schons L.M., Spanjol J., Wieseke J. Scrooge Posing as Mother Teresa: How Hypocritical Social Responsibility Strategies Hurt Employees and Firms // *Journal of Business Ethics*. 2019. V. 157. P. 339–358. <https://doi.org/10.1007/s10551-018-3788-3>
- Abhinav G., Briscoe F., Hambrick D.C. Red, blue, and purple firms: Organizational political ideology and corporate social responsibility // *Strategic Management Journal*. 2017. V. 38. P. 1018–1040. <https://doi.org/10.1002/smj.2550>
- Kharabsheh B., Al–Shammari H., Bataineh K. Research on Corporate Social Responsibility: Insights and Future Directions // *Administrative Sciences*. 2023. V. 13. N 2. P. 64. <https://doi.org/10.3390/admsci13020064>
- Friedman B.M. A Friedman doctrine: The Social Responsibility of Business Is to Increase Its Profits // *New York Times*. 1970. P. 17. URL: <https://www.nytimes.com/1970/09/13/archives/a-friedman-doctrine-the-social-responsibility-of-business-is-to.html> (дата обращения: 25.05. 2023)
- Qian W., Dou J., Jia Sh. A Meta–Analytic Review of Corporate Social Responsibility and Corporate Financial Performance // *Business & Society*. 2016. V. 55. N 8. P. 83–121. DOI: 10.1177/0007650315584317
- Wowak A.J., Mannor M.J., Wowak K.D. Throwing caution to the wind: The effect of CEO stock option pay on the incidence of product safety problems // *Strategic Management Journal*. 2015. V. 36. P. 1082–1092. DOI:10.1002/smj.2277
- Graafland J., Hugo S. Decoupling among CSR Policies, Programs, and Impacts: An Empirical Study // *Business & Society*. 2019. V. 58 (2). P. 231–267. DOI:10.1177/0007650316647951
- Amor–Esteban V., García–Sánchez I., Galindo–Villardón M. Analysing the Effect of Legal System on Corporate Social Responsibility (CSR) at the Country Level, from a Multivariate Perspective // *Social Indicators Research*. 2018. V. 140. P. 435–452. DOI:10.1007/s11205-017-1782-2
- Uldam J., Hansen H.K. Corporate responses to stakeholder activism: partnerships and surveillance // *Critical Perspectives on International Business*. 2017. V. 13. N 2. P. 151–165. DOI:10.1108/cpoib-07-2015-0029
- Amr E., Weber O. Corporate Responsibility and Sustainability Reporting // *Corporate Sustainability Reporting: The Case of the Banking Industry*. 2019. P. 3–5. URL: <https://www.jstor.org/stable/resrep24967> (дата обращения: 10.06.2023)
- Habib J. How does CEO pay slice influence corporate social responsibility? U.S.–Canadian versus Spanish–French listed firms // *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2019. V. 26. N 2. P. 502–517. <https://doi.org/10.1002/csr.1728>
- Семенова Л.В., Кропинова Е.Г., Драгилева И.И., Зайцева Н.А., Гуменюк И.С. Стратегии развития туризма в Калининградской области: проблемы и перспективы. М.: РУСАЙНС, 2020. 170 с.
- Сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области. URL: https://kaliningrad.gks.ru/statistical_news/document/181186?ysclid=lddds806p2142312256 (дата обращения: 23.05.2023)
- Дедусенко Е.А. Влияние корпоративной социальной ответственности на гостиничный бизнес // *Вестник научных конференций*. 2017. N 1–5 (17). С. 71–72.
- Джабиев А.П. Влияние международных организаций на развитие социального предпринимательства и корпоративной социальной ответственности бизнеса // *Социальное предпринимательство и корпоративная социальная ответственность*. 2021. Т. 2. N 3. С. 171–190. DOI 10.18334/social.2.3.112343
- Авилова Н.Л., Красноженова Г.Ф., Ковалева Н.И., Хохлов И.Ю. Корпоративная социальная ответственность в гостиничном бизнесе: сравнительный анализ Испании и России // *Сервис в России и за рубежом*. 2022. Т. 16. N 1(98). С. 90–101. DOI 10.24412/1995-042X-2022-1-90-101
- Kulkova I. The influence of the social–cultural environment on the corporate social responsibility management // *Human Progress*. 2021. V. 7. N 3. P. 1. DOI 10.34709/IM.173.1

REFERENCES

- Wang H., Choi Ja. A New Look at the Corporate Social–Financial Performance Relationship. *Journal of Management*, 2013, vol. 39, pp. 416–441. DOI:10.1177/0149206310375850
- Scheidler S., Edinger–Schons L.M., Spanjol J., Wieseke J. Scrooge Posing as Mother Teresa: How Hypocritical Social Responsibility Strategies Hurt Employees and Firms. *Journal of Business Ethics*, 2019, vol. 157, pp. 339–358. <https://doi.org/10.1007/s10551-018-3788-3>
- Abhinav G., Briscoe F., Hambrick D.C. Red, blue, and purple firms: Organizational political ideology and corporate social responsibility. *Strategic Management Journal*, 2017, vol. 38, pp. 1018–1040. <https://doi.org/10.1002/smj.2550>
- Kharabsheh B., Al–Shammari H., Bataineh K. Research on Corporate Social Responsibility: Insights and Future Directions. *Administrative Sciences*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 64. <https://doi.org/10.3390/admsci13020064>
- Friedman B.M. [A Friedman doctrine: The Social Responsibility of Business Is to Increase Its Profits]. *New York Times*, 1970, pp. 17. Available at: <https://www.nytimes.com/1970/09/13/archives/a-friedman-doctrine-the-social-responsibility-of-business-is-to.html> (accessed 25.05. 2023)
- Qian W., Dou J., Jia Sh. A Meta–Analytic Review of Corporate Social Responsibility and Corporate Financial Performance. *Business & Society*, 2016, vol. 55, no. 8, pp. 83–121. DOI: 10.1177/0007650315584317
- Wowak A.J., Mannor M.J., Wowak K.D. Throwing caution to the wind: The effect of CEO stock option pay on the incidence of product safety problems. *Strategic Management Journal*, 2015, vol. 36, pp. 1082–1092. DOI:10.1002/smj.2277
- Graafland J., Hugo S. Decoupling among CSR Policies, Programs, and Impacts: An Empirical Study. *Business & Society*, 2019, vol. 58 (2), pp. 231–267. DOI:10.1177/0007650316647951
- Amor–Esteban V., García–Sánchez I., Galindo–Villardón M. Analysing the Effect of Legal System on Corporate Social Responsibility (CSR) at the Country Level, from a Multivariate Perspective. *Social Indicators Research*, 2018, vol. 140, pp. 435–452. DOI:10.1007/s11205-017-1782-2
- Uldam J., Hansen H.K. Corporate responses to stakeholder activism: partnerships and surveillance. *Critical Perspectives on International Business*, 2017, vol. 13, no. 2, pp. 151–165. DOI:10.1108/cpoib-07-2015-0029
- Amr E., Weber O. [Corporate Responsibility and Sustainability Reporting]. *Corporate Sustainability Reporting: The Case of the Banking Industry*, 2019, pp. 3–5. Available at: <https://www.jstor.org/stable/resrep24967> (accessed 10.06.2023)
- Habib J. How does CEO pay slice influence corporate social responsibility? U.S.–Canadian versus Spanish–French listed firms. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 2019, vol. 26, no.2, pp. 502–517. <https://doi.org/10.1002/csr.1728>
- Semenova L.V., Kropinova E.G., Dragileva I.I., Zaitseva N.A., Gumenyuk I.S. *Strategii razvitiya turizma v Kaliningradskoi oblasti: problemy i perspektivy* [Tourism development strategies in the Kaliningrad region: problems and prospects]. Moscow, RUSAINS, 2020, 170 p. (In Russian)

14. *Sait Territorial'nogo organa Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki po Kaliningradskoi oblasti* [Website of the Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Kaliningrad region]. Available at: https://kaliningrad.gks.ru/statistical_news/document/181186?ysclid=lddds806p2142312256 (accessed 23.05.2023)
15. Dedusenko E.A. The impact of corporate social responsibility on the hotel business. *Vestnik nauchnykh konferentsii* [Bulletin of scientific conferences]. 2017, no. 1–5 (17), pp. 71–72. (In Russian)
16. Jabiev A.P. The influence of international organizations on the development of social entrepreneurship and corporate

- social responsibility of business. *Social entrepreneurship and corporate social responsibility*, 2021, vol. 2, no. 3, pp. 171–190. DOI: 10.18334/social.2.3.112343 (In Russian)
17. Avilova N.L., Krasnozhenova G.F., Kovaleva N.I., Khokhlov I.Y. Corporate social responsibility in the hotel business: a comparative analysis of Spain and Russia. *Service in Russia and abroad*, 2022, vol. 16, no. 1(98), pp. 90–101. DOI: 10.24412/1995-042X-2022-1-90-101 (In Russian)
18. Kulkova I. The influence of the social–cultural environment on the corporate social responsibility management. *Human Progress*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 1. DOI: 10.34709/IM.173.1

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Валентин С. Корнеевец разработал дизайн эмпирического исследования, теоретически интерпретировал данные эмпирического исследования для обоснования модели, подготовил рукописи. Людмила В. Семенова подготовил и редактировал текст, применение статистических, математических, вычислительных или других формальных методов для анализа и синтеза данных исследования. Наталия В. Яковенко провела библиографический обзор зарубежной и отечественной литературы по тематике исследования, описание модели, утверждение окончательного варианта 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

Valentin S. Korneevets developed the design of the empirical study, theoretically interpreted the empirical research data to substantiate the model, and prepared the manuscript. Liudmila V. Semenova undertook preparation and editing of the text, and application of statistical, mathematical, computational, and other formal methods to analyse and synthesize the research data. Nataliya V. Yakovenko conducted a bibliographic review of foreign and domestic literature on the topic of the study, a description of the model and the approval of the final version 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

Валентин С. Корнеевец / Valentin S. Korneevets <https://orcid.org/0000-0002-7049-0346>

Людмила В. Семенова / Liudmila V. Semenova <https://orcid.org/0000-0001-6330-0746>

Наталия В. Яковенко / Nataliya V. Yakovenko <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

An elaboration of obstacles and perspectives of medical tourism development taking the approach of integrated service provision (Case study: Isfahan Province, Iran)

Somayeh S. Hosseini¹, Massoud Taghvaei¹ and Zagir V. Ataev^{2,3,4,5}

¹University of Isfahan, Isfahan, Iran

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia

⁴Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

⁵Kabardino-Balkar Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia

Principal contact

Somayeh S. Hosseini, Ph.D. Geography (Tourism), Assistant Professor, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Azadi Square, Isfahan, 8174673441 Iran.

Tel. +989138711684

Email ss.hosseini@geo.ui.ac.ir

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9043-697X>

How to cite this article

Hosseini S.S., Taghvaei M., Ataev Z.V. An elaboration of obstacles and perspectives of medical tourism development taking the approach of integrated service provision (Case study: Isfahan Province, Iran). *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 210-225. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-210-225

Received 18 May 2023

Revised 16 July 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. The intention of the present research has been to examine and evaluate the barriers and limitations to the development of medical tourism in Isfahan as one of Iran's tourism destinations by taking the approach of service integration.

Materials and Methods. This *exploratory* research was conducted using mixed qualitative and quantitative methodology. Data analysis by the qualitative method was done using MAXQDA-18 software, while by the quantitative method a combination of SWOT strategic planning technique and multi-criteria decision making was used

Results. Multiple weaknesses and challenges were classified by using a framework of indexes developed on different dimensions including: quality of medical services and facilities; access to medical and tourism information; infrastructures and regulations; communications and marketing; environmental factors; treatment procedures and passive defense and international barriers. Meanwhile, the role of each of these dimensions and sub-indexes in impeding medical tourism development in the region was evaluated by examining the association between the various dimensions contributing to medical tourism development in Isfahan.

Conclusions. To remove the barriers identified, several strategies are proposed. including the provision of health-based integrated services (medical, treatment and wellness), development of shared products by the sectors involved in this domain, compilation of a comprehensive plan for health tourism development, preparation of a coherent and well-organized scientific plan given the policies of resilient economy, realistic and practical attention to the branding issues, the usage of up-to-date methods of modern marketing plan for the health companies and facilitators, removal of the legal barriers to the medical tourism development and compilation of new supportive, supervisory and advertising policies.

Key Words

Medical tourism, service integration, destination competitiveness, evaluation of barriers, compilation of perspectives.

Анализ ограничений и перспектив развития медицинского туризма на основе подхода интегрированного предоставления услуг (на примере провинции Исфахан, Иран)

Сомайех С. Хоссейни¹, Масуд Тагвайи¹, Загир В. Атаев^{2,3,4,5}

¹Исфаханский университет, Исфахан, Иран

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия

⁴Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Махачкала, Россия

⁵Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Нальчик, Россия

Контактное лицо

Сомайех С. Хоссейни, кандидат географических наук (туризм), доцент, факультет географических наук и планирования, Исфаханский университет; 8174673441, Иран, Исфахан, площадь Азади. Тел. +989138711684

Email ss.hosseini@geo.ui.ac.ir

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9043-697X>

Формат цитирования

Хоссейни С.С., Тагвайи М., Атаев З.В. Анализ ограничений и перспектив развития медицинского туризма на основе подхода интегрированного предоставления услуг (на примере провинции Исфахан, Иран) // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 210-225. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-210-225

Получена 18 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 16 июля 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Изучение и оценка барьеров и ограничений для развития медицинского туризма в Исфахане, как одного из туристических направлений Ирана, использующего подход интегрированного предоставления услуг, является целью настоящего исследования.

Материал и методы. Экспериментальное исследование было проведено с использованием качественного и количественного смешанного метода. Анализ данных в качественном методе проводился с использованием программного обеспечения MAXQDA-18, в то время как в количественном методе использовалась комбинация метода стратегического планирования SWOT и многокритериального принятия решений.

Результаты. Многочисленные недостатки и проблемы были классифицированы с использованием системы индексов, разработанных по различным параметрам, включая качество медицинских услуг и учреждений, доступ к медицинской и туристической информации, инфраструктуру и правила, коммуникации и маркетинг, факторы окружающей среды, процедуры лечения, обеспечение медицинской безопасности и международные барьеры. Между тем, роль каждого из этих измерений и подиндексов в препятствии развитию медицинского туризма в регионе была оценена путем изучения связи между различными измерениями, способствующими развитию медицинского туризма в Исфахане.

Выводы. Для устранения выявленных барьеров было предложено несколько стратегий, включая предоставление комплексных медицинских услуг (медицинских, лечебных и оздоровительных), разработку совместных продуктов секторами, участвующими в этой области, составление комплексного плана развития оздоровительного туризма, подготовку согласованного и организованного в научном плане с учетом политики устойчивой экономики, реалистичного и практического внимания к вопросам брендинга, использования современных методов маркетингового плана для медицинских компаний и фасилитаторов, устранения правовых барьеров для развития медицинского туризма и составления новой политики поддержки, надзора и рекламы.

Ключевые слова

Медицинский туризм, интеграция услуг, конкурентоспособность назначения, оценка барьеров, обобщение перспектив.

INTRODUCTION

As a significant strategic industry in the world, medical tourism has a different market with its own peculiar characteristics. The scope of this market may cover a wide range of services from the main services of health-care to a combination of tourism-related complementary activities, services and infrastructures, recreation and leisure and purchase. Henceforth, it can be argued that the main theme of health tourism development is to ensure the sustainable development of the national economy and integrated cooperation in the recreation and tourism domains.

Medical tourism development plays a significant role in improving the economy and healthcare quality in a destination country [1]. Through linking modern medical services with tourism, this industry has enormous economic value and promotes tourism and trade. Based on estimations, by 2022, the Asian market will reach a revenue of over \$14 billion [2]. Among the most popular medical tourism hubs in Asia, Thailand, Singapore, Malaysia, India and the Philippines have occupied higher rankings [3].

There are numerous factors that have played a crucial part in driving countries towards the economic benefits expected to be obtained from medical tourism. By offering certain benefits such as lower medical costs, high quality medical services, shorter wait times and tourism packages designed as a combination of recreation and tourism, a number of major Asian countries have succeeded in being recognized as principal medical tourism destinations and hubs [4]. Accordingly, they have made considerable investments in establishing a “patient oriented service system” and in a “marketing promotion system” [5] and in achieving a “guaranteed quality in the international market” [6].

Furthermore, there seems to be competition between many nations as medical tourism destinations in moving towards the development of appropriate infrastructures, improvement of medical tourism [7] and elimination of existing obstacles and limitations. Based on a comprehensive approach, the integration of varied strategies relating to medical tourism development with governmental policies and pioneer management methods will result in successful outcomes in various segments of tourism, medical care and other economic sectors [8]. In sum, the adoption of medical tourism strategies by medical centres are mainly targeted at cost advantage factors that are realisable through competitive pricing, differentiation through innovation, a focus on medical intensive care and supportive governmental rules and regulations [9].

Over fifty percent of medical tourists are women who seek medical services mainly associated with cosmetic or fertility medical profiles [10]. It is noteworthy that Iran enjoys cutting-edge capabilities in servicing global medical travels in the cosmetics, reproduction and dentistry sectors [11]. Additionally, because it has shared religious, cultural and ethnic ties with neighboring countries, Iran (especially Isfahan Province) has a promising opportunity to be introduced as a medical tourism destination in the region and especially for fertility treatments. Hence, policy making and re-setting of goals related to this issue should be put on the agenda to see what and how competitive advantages are presented by competitors.

Furthermore, by virtue of its distinctive role in Iran's tourism economy system, as well as its crucial part in

introducing authentic Iranian-Islamic culture and attracting a large number of tourists, Isfahan province enjoys a particular potential for medical tourism development. Other advantages of Isfahan province contributing to this capability are as follows:

- favourable climatic conditions, rich civilization and cultural background,
- attractiveness resulting from registered historic monuments and buildings with national and international functions (i.e. 1730 and 4 national and world heritage sites, respectively) and handicrafts production centers,
- particular spatial location as a result of being situated at the geographical centre of Iran and connectivity with other provinces,
- appropriate status of inpatient services in Isfahan province (fig. 1) and being known as the pole for referrals from the west and central parts of Iran for the use of the healthcare services of this province and considerable demand from the neighboring provinces including Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Chaharmahal va Bakhtiari, Lorestan and Khuzestan [12],
- availability of advanced medical and treatment centres such as Shahid Motahari Hospital with specialty and super-specialty services and the availability of other medical centres such as Sadoughi Hospital, Shahid Chamran Heart Specialty Centre, Sadra Eye Centre, fertility and infertility clinics, dialysis and orthopedic centres etc.,
- having more than 6,000 hospital beds in 53 hospitals (i.e. 38 public and 15 private and charity hospitals),
- high inflow rate of competent manpower from the neighboring provinces and the plan designed for attracting 1 million foreign tourists based on 6th Five-Year Development Plan until Iran's Vision 2025.

Recently, some factors like the atmosphere of competitive marketing governing the region and lack of a distinguished plan and strategy for marketing and advertising targeted to attracting foreign patients from neighboring countries in Isfahan have influenced the growth rate of foreign patient inflow to Isfahan. As a result, this province is facing a complicated situation. To put it clearly, although it enjoys numerous positive factors of high quality, it has witnessed a drop in ranking in the attraction rate of foreign patients from 4 in 2015-2016 to 21 in 2020 [13]. Upon approval of the necessity of taking action for medical tourism development by the national authorities, the status of health tourism in Isfahan needs to be revised in terms of effective factors that might positively contribute to guiding this province towards finding a way for re-engagement in this promising competition arena. Accordingly, the main objective of this study was to examine and elaborate the factors affecting the current trend of Isfahan's medical tourism that act as obstacles to medical tourism development in this province. To do so, a set of indexes were compiled in order to identify and satisfy the requirements of medical tourism development in Isfahan taking an integrated approach in the form of obstacles to competitiveness. By elucidating the barriers to medical tourism, the findings of this study will add to the existing literature and can be generalized for comparison with those nations that are in a similar position. Furthermore, the conclusions of the study might be taken into account by the respective authorities in their move towards removing current shortcomings.

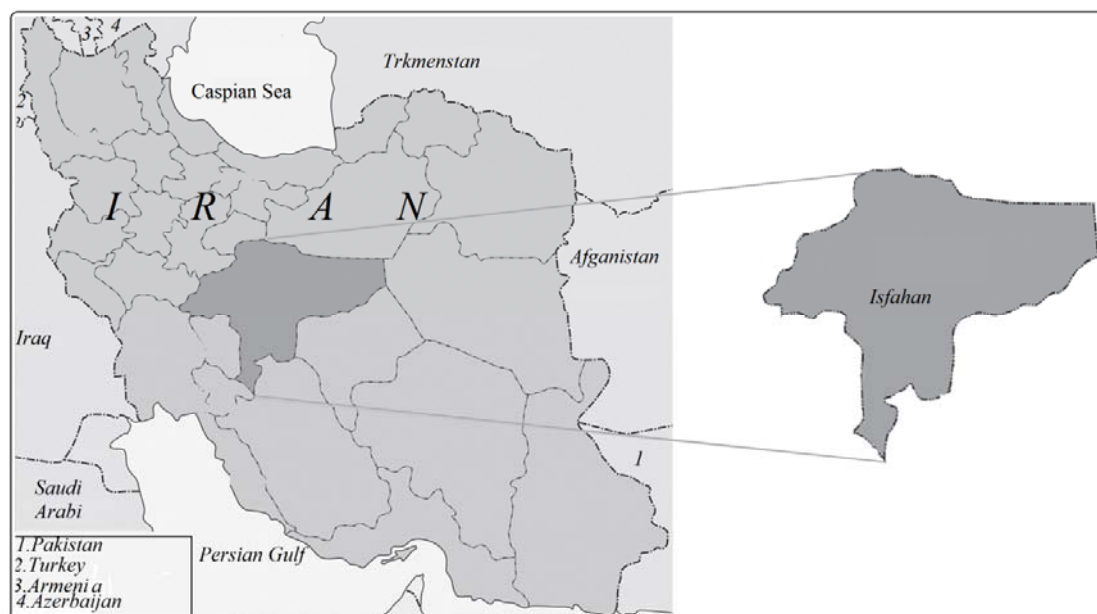


Figure 1. Geographical location of Isfahan Province in Iran

Рисунок 1. Географическое положение провинции Исфахан в Иране

MATERIALS AND METHODS

To collect the initial data required by the authors and to identify the factors and variables affecting medical tourism development, a qualitative research methodology through content analysis was used. Data analysis was done using MAXQDA-18 software [14]. In the next phase, an expert panel was applied to extract new indexes or eliminate weak indexes. In this way, a framework of indexes taking the medical tourism development approach was compiled so as to identify the obstacles and the perspectives of medical tourism development in Isfahan considered from various

dimensions and in different combinations. Through combining SWOT technique and multi-criteria decision making (MCDM) technique, the main obstacles and their relevant sub-indexes were evaluated and prioritized. In the last phase, the interrelationships between the main factors were identified by using the fuzzy DEMATEL technique. Comprising 8 categories in terms of various dimensions, the following conceptual model represents a comprehensive picture of requirements of and barriers to medical tourism development in Isfahan (fig. 2).



Figure 2. Conceptual model – barriers to medical tourism development in Isfahan in line with health village expansion

Рисунок 2. Концептуальная модель. Барьеры для развития медицинского туризма в Исфахане

в связи с расширением системы деревень здоровья

RESULTS & DISCUSSION

Data were collected through an extensive literature review to formulate a framework of indexes and by using interviews and questionnaires. Since the expert panel was aware of the framework and the current status of medical tourism in Isfahan, their comments were interpreted and considered as valid and demonstrating potential obstacles to development.

In the evaluation of Isfahan, the barriers affecting medical tourism were identified (fig. 3) and classified into 8 categories, 12 indexes and 46 sub-indexes. Some of the identified categories were consistent with reported in previous studies. However, in the present study, for the first time the challenges of passive defense, sub-indexes related

to access to medical and tourism information, economic barriers, barriers related to treatment procedures, factors of the environmental position and quality of tourism services and some classifications of these factors were explored.

- First category: Quality of medical & tourism services and facilities;
- Second category: Infrastructures and regulations;
- Third category: Communications & marketing;
- Fourth category: Access to information;
- Fifth category: Treatment procedures;
- Sixth category: Environmental factors;
- Seventh category: Passive defense;
- Eighth category: International factors.

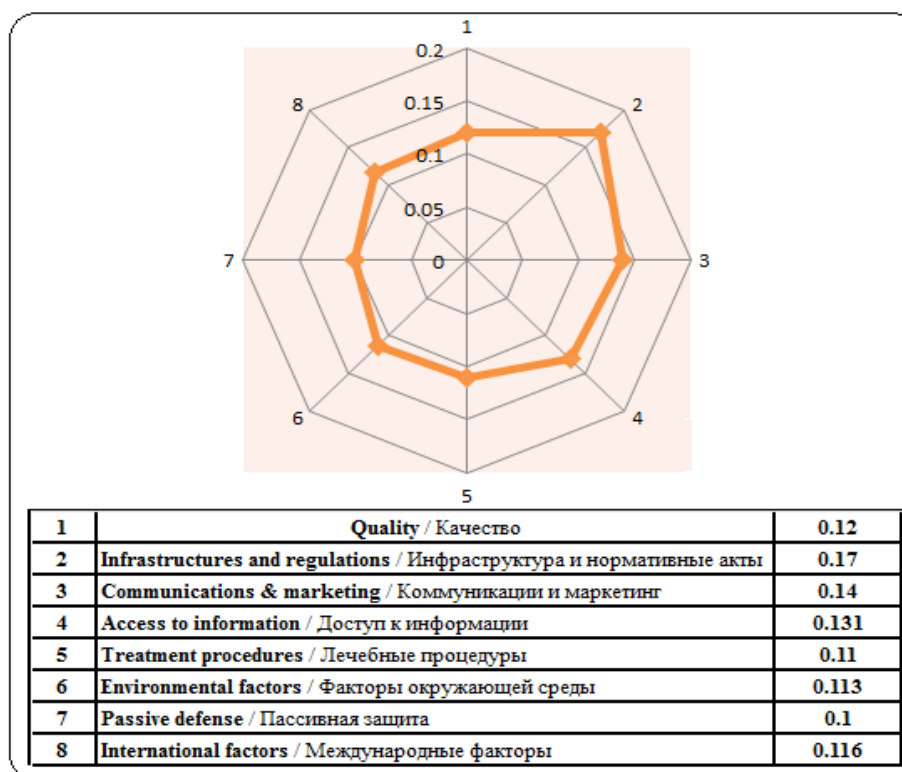


Figure 3. Categorization and prioritization of eight barriers to Isfahan's medical tourism

Рисунок 3. Классификация и расстановка приоритетов восьми барьеров на пути медицинского туризма в Исфахане

This framework has been developed based on documentary analysis methodology and questionnaires and has been completed by merging the themes and categories derived from interviews. Relationships among the 13 main indexes have been represented in accordance with the experts' judgment and fuzzy DEMATEL technique. Based on the status quo, all the main indexes directly impacting the development of medical tourism in Isfahan have been displayed by dark-colored arrows. However, dotted arrows show the intra- or cross-relationships among the factors.

Based on the data collected and evaluation conducted, a framework of the problems and obstacles which are assumed to play a part in the development of medical tourism in Isfahan has been developed. Comparatively, the barriers to Isfahan's tourism identified in this research show some similarity to studies conducted in Korea, Hong Kong and India, especially in terms of policies-related factors [5; 15; 16] and those conducted in some cities of Iran such as Yazd and Ardabil (in terms of regulations and policymaking-related factors) [17; 18]. The research on resource-based view and Porter's theory of competitive

advantage has introduced governmental rules and regulations as one of the strategies to be adopted by the medical centres for medical tourism development [9].

The main barrier to medical tourism development in Isfahan is related to the infrastructures and regulations field that include the sub-indexes of infrastructure facilities, especially facilitators of health tourism, as well as the sub-index of policy making and regulations related to management and advertising policies, new laws required, laws related to medical errors, regulations related to health insurance, regulations related to facilitation of the entry and exit of the patients and inefficient laws concerning price transparency of health and tourism services (tab. 1; fig. 4). Accordingly, a sufficient and qualified number of medical travel facilitators can increase the attractiveness of a destination through their initiatives [19]. One of the main challenges of Isfahan is the weak activity of health tourism facilitator companies in the target markets. As a result, foreign patients might experience some challenges due to the brokers and intermediaries unfortunately causing dissatisfaction or might be attracted by other regions in the

field. Further, the role of the government in terms of policymaking and reconfiguration of regulations is crystal-clear and can intensify the influence of other factors negatively or positively. In this regard, Turner (2011) and Bookman & Bookman (2007) have realised that both

government and efficient infrastructure are important for the success of the medical tourism industry and that there should be a reliable system for implementing price standardisation and provision of greater transparency [20].

Table 1. Barriers related to infrastructures and regulations

Таблица 1. Барьеры, связанные с инфраструктурой и нормативными актами

Index / Индекс	Sub-index / Подиндекс
Service, Infrastructure & Installations facilities Сервис, инфраструктура и строительные сооружения	I.1 Lack of electronic payment facilities for foreign patients <i>Отсутствие средств электронной оплаты для иностранных пациентов</i>
	I.2 Inactivity of tourism facilitators and agencies licensed by the Ministry of Health & Tourism in tourist origin countries for marketing in neighbouring countries and directing tourists <i>Бездействие туристических посредников и агентств, лицензированных Министерством здравоохранения и туризма в странах происхождения туристов для маркетинга в соседних странах и направления туристов</i>
	I.3 Lack of patient hotels and accommodation centres for medical tourists in Isfahan <i>Отсутствие гостиниц для пациентов и центров размещения медицинских туристов в Исфахане</i>
	I.4 Limited number of internal and international flights for transfer of medical tourists <i>Ограниченное количество внутренних и международных рейсов для перевозки медицинских туристов</i>
	I.5 Lack of permanent and specialized exhibitions in the field of health tourism <i>Отсутствие постоянной и специализированной выставки в области оздоровительного туризма</i>
Regulations Нормативные документы	R.1 Weakness of laws governing medical errors and lack of a system for responding to dissatisfied medical tourists as well as certain restrictions on patient rights <i>Слабость законов, регулирующих врачебные ошибки, и отсутствие системы реагирования на недовольных медицинских туристов, а также некоторые ограничения прав пациентов</i>
	R.2 Lack of required and new laws due to the novelty of health tourism <i>Отсутствие необходимых и новых законов из-за новизны оздоровительного туризма</i>
	R.3 Inefficient insurance laws such as non-coverage of insurance for post-treatment care and non-fulfillment of financial obligations of some insurance organisations and the existence of domestic inefficient insurances <i>Неэффективные законы о страховании, такие как отсутствие страховки на послеоперационный уход и невыполнение финансовых обязательств некоторыми страховыми организациями, а также существование неэффективных национальных страховых компаний</i>
	R.4 Misuse of underground networks and weakness of treatment laws in this domain <i>Злоупотребление подпольными сетями и слабость законов об обращении в этой области</i>
	R.5 Not having a treatment services standard tariff for foreign patients, as well as not monitoring proper implementation of existing medical tariffs and having inefficient rules on pricing transparency for health care and tourism services <i>Отсутствие стандартного тарифа на услуги лечения для иностранных пациентов, а также отсутствие контроля за надлежащим исполнением существующих медицинских тарифов и неэффективные правила прозрачности цен на медицинские и туристические услуги</i>
Policy making Разработка политики	P.1 Weakness of management policies and lack of macro-management, lack of comprehensive and systematic plan and system for health tourism development <i>Слабость управленческой политики и отсутствие макроуправления, отсутствие всеобъемлющего и систематического плана и системы развития оздоровительного туризма</i>
	P.2 Weakness of supervisory policies and processes <i>Слабость надзорной политики и процессов</i>
	P.3 Lack of implementation of resilient economic policies, weak understanding and weakness of studies on this type of management due to the lack of trust in local capabilities as a result of international sanctions <i>Недостаточная реализация устойчивой экономической политики, слабое понимание и слабость исследований по этому типу управления из-за отсутствия доверия к местным возможностям в результате международных санкций</i>
	P.4 Recent economic crisis and high risk of investment by the private sector related to foreign currency exchange rate fluctuations <i>Недавний экономический кризис и высокий риск инвестиций со стороны частного сектора, учитывая колебания обменного курса иностранной валюты</i>

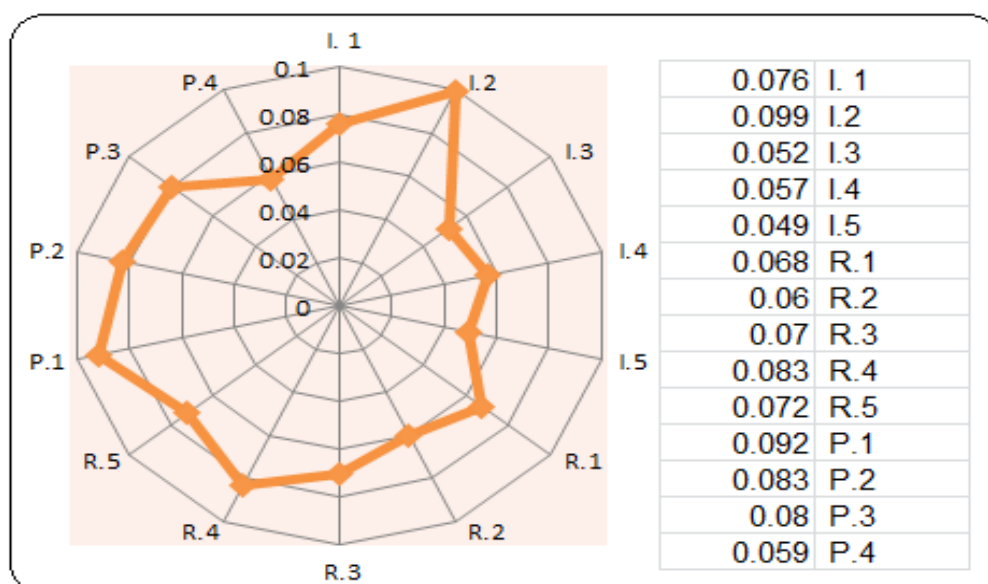


Figure 4. Prioritization of obstacles to Isfahan's medical tourism – infrastructures & regulations

Рисунок 4. Определение приоритетов препятствий для медицинского туризма в Исфахане. Инфраструктура и правила

In the present era, to gain a larger market share, acquire more customers and revenue and increase the efficiency and effectiveness of the medical tourism-related centers, it is necessary to engage in health tourism marketing [21]. As communication, marketing and advertising programmes/campaigns constituted the second factor identified in this research, it is essential for Isfahan to incorporate medical tourism into its tourism marketing strategies. Lack of a unique brand can be deemed as an initial obstacle facing Isfahan compared with its competitors (fig. 5). Although Isfahan has started medical tourism promotion by providing infertility treatment services, it does not appear satisfactory enough to attract foreign patients. One underlying reason is that foreign patients can find similar quality in certain other countries and even in other tourist cities in Iran. Hence, when debating advertising, special attention should be paid to advertising, brand positioning, pricing models and marketing channels [22]. The results of this study on barriers relating to marketing – as one of the important factors contributing to medical tourism – are in line with those obtained in case studies conducted, particularly in Iran [17; 23]. In the same vein, in the exploratory study by Alsharif et al (2010) on the motives of four countries (India, China, UAE, Jordan) and barriers to medical tourism, the identified factors relating to advertising and communications (language) index are similar to those reported in this research [24].

As far as the communications field is concerned, the most important obstacle experienced by Isfahan is the lack of coordination among institutions associated with medical tourism (tab. 2; fig. 5). In one research, service providers' ability to build healthy relationships with the suppliers of subsidiary industries (for example, medical facilitators and embassies) has been considered as vital the survival of medical tourism [25]. In addition, the abilities of the physicians themselves is the main factor in the transfer of positive communication skills and cultural competency to foreign patients [26] that seems to be influential in advertising policies. Therefore, in order to provide services in accordance with international standards, medical tourism destination countries need personnel who can speak foreign languages and effectively and sensitively interact with patients [27].

The expansion of the global internet network and the ease of informing prospective patients about the medical services of different countries [28] has led to the development of the medical tourism industry worldwide. The third obstacle to the development of medical tourism in Isfahan is access to medical and tourism information (tab. 3; fig. 6). Information systems have great power in the development of the medical tourism industry. Consequently, by using them, it is possible to realise this development as well as international and regional competition [29] and facilitate the process of developing customised service. Thus, information accessibility and retrieval for medical care provided abroad is one of the components of the decision-making process for medical tourism [30]. Some of the results of this research in this field are consistent with Saeedbakhsh et al.'s (2020) study [31].

Modern medical centres with international standards, advanced equipment and high quality medical services can significantly influence the attraction of medical tourists. Consequently, they act as a very important factor in the selection of medical tourism destinations. Today, the evaluation and improvement of service quality is known as one of the main tasks of management in the services sector [32]. The fourth barrier to Isfahan's medical tourism is related to the quality of medical services and facilities as one of the most important factors effective in medical tourism development. Some of these factors include ageing medical, clinical and hospital infrastructures in Isfahan and weak services especially in the hoteling of therapeutic centres, lack of development of non-governmental and private therapeutic centers of international quality level for attracting the medical tourists, lack of attention to human resource development and shortage of skilled manpower in the medical tourism industry and weakness of accreditation and use of international quality assurance standards to build customer trust (tab. 4; fig. 7). Lunt et al. have stressed that clients should be aware of the medical tourism potential for valid evidence of the quality of self-care and safety [33] and improve their medical tourism experience by using modern medical technology in order to increase their market share [34].

Table 2. Barriers related to communications and marketing**Таблица 2.** Барьеры, связанные с коммуникациями и маркетингом

Index / Индекс	Sub-index / Подиндекс
Language & Communications Язык и коммуникации	C.1 Lack of cooperation between embassies and medical centres in the execution of letters of understanding for cooperation on patient exchange from target tourism countries and weak connections between the medical tourism industry and overseas media for awareness-raising of the capabilities of medical tourism <i>Отсутствие сотрудничества между посольствами и медицинскими центрами с целью составления письма о взаимопонимании для сотрудничества по обмену пациентами из целевых туристических стран и слабая связь между индустрией медицинского туризма и зарубежными СМИ для демонстрации возможностей медицинского туризма</i>
	C.2 Lack of coordination among institutions and departments associated with medical tourism due to the lack of an inter-departmental agency to fulfill the functions of trustee, policymaker, organizer and supervisor in the field of medical tourism <i>Отсутствие координации между учреждениями и департаментами, связанными с медицинским туризмом, из-за отсутствия межведомственного агентства, которое выступало бы в качестве доверенного лица, разработчика политики, организатора и супервайзера в области медицинского туризма</i>
	C.3 Weak language-specific skills, specially weak communication (informing) and training of physicians required to strengthen the appropriate relationships between physicians and patients <i>Слабые языковые навыки, особенно слабая коммуникация (информирование) и подготовка врачей с целью укрепления соответствующих связей между врачом и пациентом</i>
Advertising & Marketing Реклама и маркетинг	M.1 Inattention to fertility services as a competitive treatment brand <i>Невнимание к услугам по лечению бесплодия как к конкурентному бренду лечения</i>
	M.2 Lack of health tourism package <i>Отсутствие пакета услуг по оздоровительному туризму</i>
	M.3 Lack of encouragement of local health tourists to use internet and modern technology facilities <i>Недостаточное поощрение местных оздоровительных туристов к использованию Интернета и современных технических средств</i>
	M.4 Lack of issuance of medical visas and inattention to this issue in Iran <i>Отсутствие выдачи медицинской визы и невнимание к этому вопросу в Иране</i>
	M.5 Lack of well-organised plans for information/communication, advertising and marketing, lack of overseas advertising system, insufficient and weak promotion of medical tourism through Internet and information technology and lack of appropriate structure for this kind of advertising for trust building and attracting foreign tourists in the region <i>Отсутствие хорошо организованных планов информирования/коммуникации, рекламы и маркетинга, отсутствие системы зарубежной рекламы, недостаточное и слабое продвижение медицинского туризма через Интернет и информационные технологии, отсутствие соответствующей структуры для такого рода рекламы для укрепления доверия и привлечения иностранных туристов в регион</i>

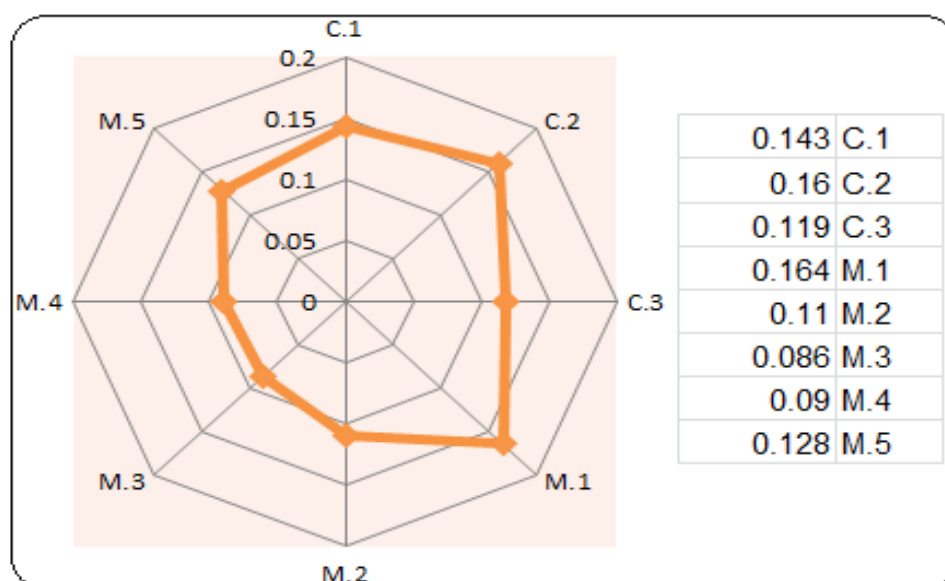
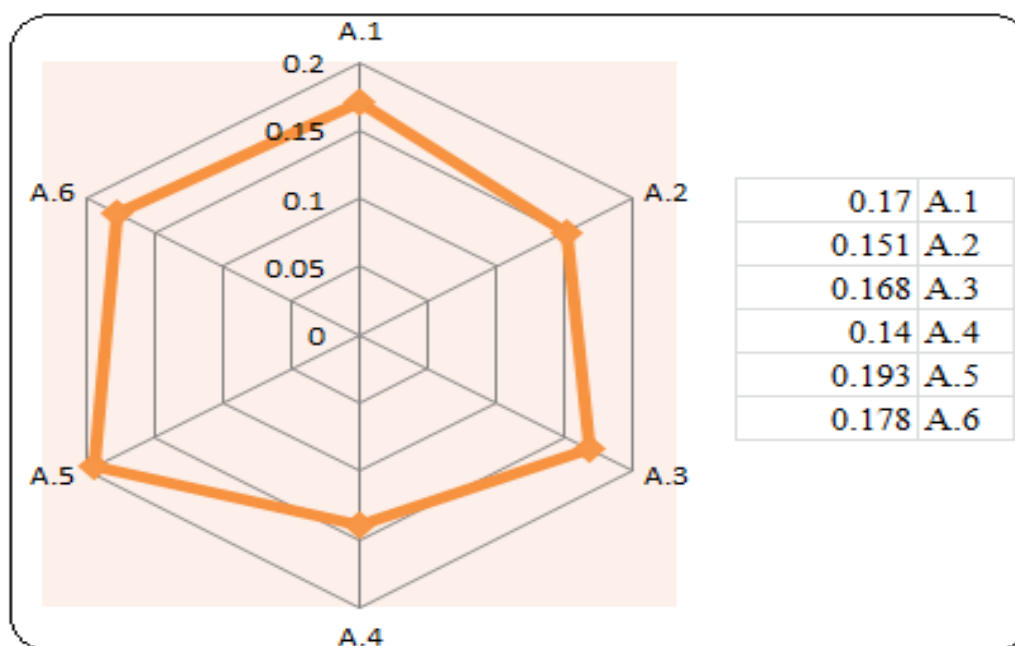
**Figure 5.** Prioritization of barriers to Isfahan's medical tourism – communications and marketing**Рисунок 5.** Определение приоритетов барьеров на пути медицинского туризма в Исфахане. Коммуникации и маркетинг

Table 3. Barriers related to access to information**Таблица 3.** Барьеры, связанные с доступом к информации

Index / Индекс	Sub-index / Подиндекс
Access to Medical & Tourism Information Доступ к медицинской и туристической информации	A.1 Lack of patient access to information on costs, medical equipment and standards related to hospitals and medical centres through the websites of hospitals and medical centres <i>Отсутствие доступа пациентов к информации о затратах, медицинском оборудовании и стандартах, связанных с больницами и медицинскими центрами, через веб-сайты некоторых больниц и медицинских центров</i>
	A.2 Lack of sufficient access to information on physicians, specialists and nursing staff of hospitals and medical centres <i>Отсутствие достаточного доступа к информации о врачах, специалистах и сестринском персонале больниц и медицинских центров</i>
	A.3 Lack of access to follow-up treatment and post-discharge care <i>Отсутствие доступа к последующему лечению и уходу после выписки</i>
	A.4 Lack of access to information on tourism infrastructures, services and attractions and Isfahan's comfortable climate on the websites of hospitals and medical centres active in the medical tourism domain <i>Отсутствие доступа к информации о туристической инфраструктуре, услугах и достопримечательностях, а также о комфортном туристическом климате Исфахана на веб-сайтах больниц и медицинских центров, работающих в сфере медицинского туризма</i>
	A.5 Lack of integrated tourism information system for the electronic tracking of patients from time of arrival in the country to treatment stages and exit <i>Отсутствие интегрированной туристической информационной системы для электронного отслеживания пациентов с момента прибытия в страну до этапов лечения и выезда</i>
	A.6 Impossibility of recording patients' experiences so as to respond to different sections involved in this domain and attract customers' attention and build trust <i>Невозможность записи впечатлений пациентов таким образом, чтобы реагировать на различные разделы, связанные с этой областью, привлекать внимание клиентов и укреплять доверие</i>

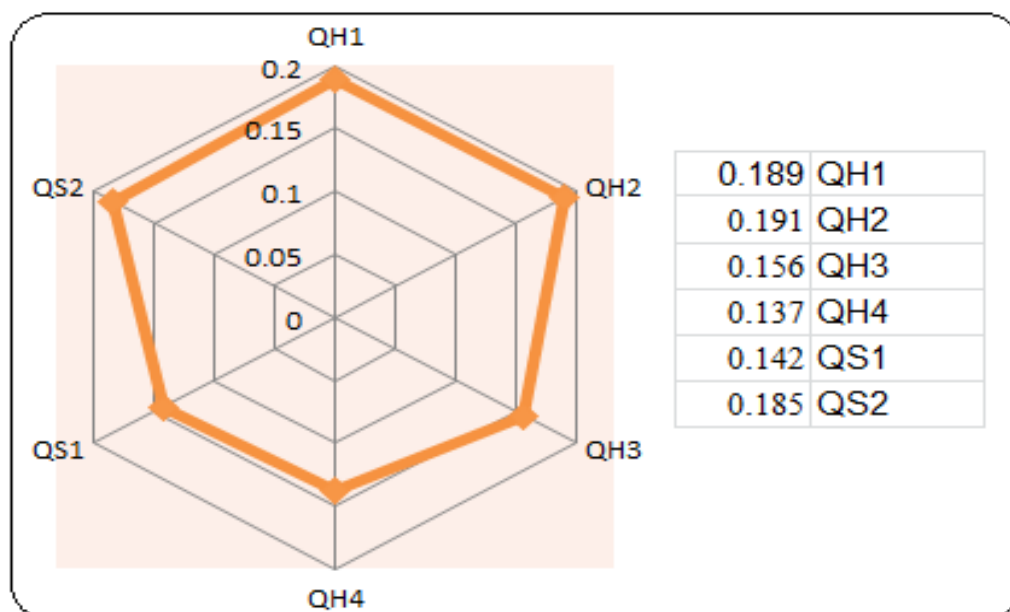
**Figure 6.** Prioritization of barriers to Isfahan's medical tourism - access to information**Рисунок 6.** Определение приоритетов барьеров на пути медицинского туризма в Исфахане. Доступ к информации

In this study, in addition to internal barriers, the impact of international factors especially emerging processes in the region and intense competition and investment in the field of medical tourism has been identified as the fifth barrier to Isfahan's medical tourism development (tab. 5; fig. 8). Many countries in the region, such as Jordan, Turkey and UAE, are making efforts to promote their medical tourism [35]. Beyond the region, factors such as a distorted image of Iran in the international community and lack of sufficient

resources to deal with negative publicity, as well as international sanctions, have been enumerated. Although it was expected that, upon the approval of the "Joint Comprehensive Plan of Action", sanctions on Iran would be lifted and global engagement and cooperation would be resumed, in actuality nothing special has happened. As far as international barriers are concerned, the results of this study were found to be consistent with studies by Hosseini & Taghvai (2020) and Momeni et al. (2018) [36; 37].

Table 4. Barriers related to quality of medical and tourism services and facilities**Таблица 4.** Барьеры, связанные с качеством медицинских и туристических услуг и объектов

Index / Индекс	Sub-index / Подиндекс	
Quality & Facilities of Hospitals and Medical Centers Качество и оснащение больниц и медицинских центров	QH1	Ageing medical, clinical and hospital infrastructures in Isfahan and weak services, especially in the field of the hoteling of medical centres <i>Старая медицинская, клиническая и больничная инфраструктура в Исфахане и слабое обслуживание, особенно в области размещения медицинских центров</i>
	QH2	Lack of development of private and non-governmental medical centres of international quality to attract health tourists <i>Недостаточное развитие частных и негосударственных медицинских центров международного качества для привлечения оздоровительных туристов</i>
	QH3	Lack of receipt of international formal permits such as JIC and quality standards (ISO, ESQA, NCQA) <i>Отсутствие получения международных официальных разрешений, таких как JIC и стандарты качества (ISO, ESQA, NCQA)</i>
	QH4	Lack of international insurance coverage for foreign patients due to barriers to transfer of insurance from source countries <i>Отсутствие международного страхового покрытия для иностранных пациентов из-за барьеров на пути передачи страховки из стран происхождения</i>
Service quality of physician and skilled human resource Качество обслуживания врача и квалифицированный персонал	QS1	Lack of international certification for some physicians, specialists and nursing staff <i>Отсутствие международного сертификата у некоторых врачей, специалистов и сестринского персонала</i>
	QS2	Inattention to human resources development and skilled human resources in the medical tourism industry <i>Невнимание к развитию человеческих ресурсов и слабость квалифицированных кадров в индустрии медицинского туризма</i>

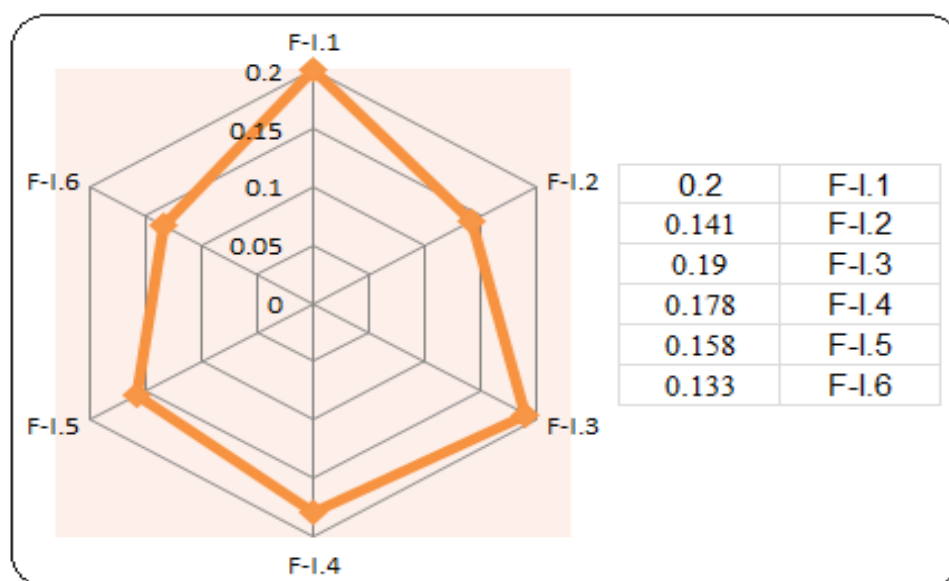
**Figure 7.** Prioritization of barriers to Isfahan's medical tourism – quality**Рисунок 7.** Расстановка приоритетов барьеров на пути медицинского туризма в Исфахане. Качество

It can be claimed that any debate of development without paying due attention to the concept of environmental sustainability is considered as incomplete. In this study, environmental factors related to medical tourism development included the index of Isfahan's environmental position - especially the problem of air pollution caused by economic and industrial activities and problems caused by pollution of water and soil and other environmental problems in the central area of the province and Isfahan metropolis (tab. 6). In this regard, an assessment of the environmental conditions of Isfahan city in terms of air pollution has revealed that, compared to other pollutants, the amount of sulphur dioxide and carbon monoxide has

had a greater impact on the environmental instability of Isfahan [38]. In addition, continuing drought conditions and reduced water resources and problems related to waste disposal are other obstacles mentioned in this area. Ulaş and Anadol (2016) identified and analysed the macro- and micro-level environmental factors involved in the medical tourism market [39]. The link between air pollution and the development of health tourism on the one hand and the emergence of an epidemic on the other, has necessitated a new concept of health, tourism and welfare in relation to the environment aimed at providing a healthy environment for medical tourists [40].

Table 5. International barriers related to medical tourism development**Таблица 5.** Международные барьеры, связанные с развитием медицинского туризма

Index / Индекс	Sub-index / Подиндекс
International Factors Международные факторы	F-I.1 Strengthening infrastructure and intense competition in the field of medical tourism and the emergence of relatively strong competitors between the countries in the region <i>Укрепление инфраструктуры и острая конкуренция в сфере медицинского туризма, а также появление относительно сильных конкурентов между странами региона</i>
	F-I.2 High variability of medical tourism services in Asian countries active in the medical tourism field <i>Широкий спектр услуг медицинского туризма в азиатских странах, активно работающих в сфере медицинского туризма</i>
	F-I.3 Investment by some competitor countries such as India in the region's medical tourism field <i>Инвестиции некоторых стран-конкурентов, таких как Индия, в сферу медицинского туризма в регионе</i>
	F-I.4 Negative propaganda of foreign media and presentation of a distorted image of Iran in the international community and lack of resources to counter this negative discourse <i>Негативная пропаганда иностранных СМИ и представление искаженного образа Ирана международному сообществу, а также нехватка ресурсов для противодействия этому негативному дискурсу</i>
	F-I.5 International sanctions <i>Международные санкции</i>
	F-I.6 Political instability in some neighboring countries and expansion of terrorism <i>Политическая нестабильность в некоторых соседних странах и распространение терроризма</i>

**Figure 8.** Prioritization of barriers to Isfahan's medical tourism – international factors**Рисунок 8.** Определение приоритетов барьеров на пути медицинского туризма в Исфахане. Международные факторы**Table 6.** Barriers related to environmental factors**Таблица 6.** Барьеры, связанные с факторами окружающей среды

Index / Индекс	Sub-index / Подиндекс	Weight Вес
Environmental Condition	E.1 Air pollution problems due to economic and industrial activities and problems resulting from water and soil pollution and other environmental problems in the central region of the province and Isfahan metropolis <i>Проблемы загрязнения воздуха в результате экономической и промышленной деятельности, а также проблемы, возникающие в результате загрязнения воды и почвы и других экологических проблем в центральном регионе провинции и мегаполисе Исфахан</i>	0.54
	E.2 Problems relating to waste disposal <i>Проблемы, связанные с утилизацией отходов</i>	0.2
	E.3 Continued drought condition and decreased water resources <i>Продолжающаяся засуха и сокращение водных ресурсов</i>	0.26

The barriers relating to treatment procedures in this study include two indexes of natural treatment and complementary medicine. The most important barrier of Isfahan in this field is the lack of a well-developed and detailed programme of traditional-Islamic medicine and natural treatments (tab. 7). In this respect, one of the factors determining the success of a country as a medical tourism destination is that of sites specifically designed and constructed as recreational medical spa complexes [41]. Besides highlighting and categorising various natural treatments (e.g. different types of water therapy, mud

therapy, sludge therapy, salt therapy, mountain climate, sunlight therapy) and traditional treatments (plant therapy, leech therapy, aromatherapy, massage therapy, acupuncture) involved in medical tourism development, a study has discussed theories supporting these treatments - theories such as taking a holistic approach to patient care (comprehensive philosophy), humorisme (blood, phlegm, soda and bile) in Iranian-Islamic medicine and indigenous theories and experiences of different cultures, the theory of adaptation in Chinese culture, *Ying-Yang's* balance theory [42].

Table 7. Barriers related to passive defense

Таблица 7. Барьеры, связанные с пассивной защитой

Index Индекс	Sub-index Подиндекс	Weight Вес
Passive Defense Пассивная защита	D.1 Inattention to provision of clinical and consulting services to patients and support of their companions <i>Невнимание к предоставлению клинических и консультационных услуг пациентам и поддержке их компаньонов</i>	0.37
	D.2 Medical needs of local people, shortage of physical space, crowdedness of medical centres due to the presence of medical tourists especially for local tourists <i>Медицинские потребности местного населения, нехватка физического пространства, переполненность медицинских центров из-за присутствия медицинских туристов, особенно местных туристов</i>	0.4
	D.3 Possibility of contagious diseases transmission, lack of well-equipped and modern paraclinical centers near the nation's borders for performing medical examinations on entry and guiding higher-order tourists to provincial centres <i>Возможность передачи инфекционных заболеваний, отсутствие хорошо оборудованных и современных параклинических центров вблизи границ для проведения первичных медицинских осмотров и направления туристов более высокого уровня в центры провинций</i>	0.23

Passive defense can become a part of national objectives and, consequently, regional objectives. Due to its effect on the degree of tourists' perceived risk, this index is of significant importance in the health tourism development [43]. As for passive defense, the possibility of contagious disease transmission and unanswered medical needs of indigenous people as a result of crowded medical centres due to the presence of medical tourists have been mentioned as the most important obstacles facing Isfahan's medical tourism. The results of this research in some cases such as the possibility of transmitting infectious diseases is consistent with those reported by Momeni et al. (2018) [36]. Based on studies, medical tourism contributes to the outbreak of such diseases.

CONCLUSION

Taking the results and discussion sections of this study into account, it becomes clear that Isfahan can be regarded as a good potential focus for medical tourism and medical infrastructure, as well as possessing cultural competence which gives it a competitive advantage amongst medical tourism destinations in Iran. However, the ranking of Isfahan in attracting foreign patients has sharply dropped (from 14 in 2015-2016 to 21 in 2020). To realise the objectives of *Iran's Vision Plan 2025* and compete in attracting the tourists from neighboring provinces and target countries by observing sustainability principles, Isfahan is facing multiple obstacles and restrictions. Thus, through developing a framework of indexes, this study has

tried to identify the most important barriers (in various combinations) that can hinder the provision of comprehensive and high quality services which lead to positive customer orientation, visitor wellness, time-saving and ensuring received services in the form of health villages.

Thereafter, considering the indexes identified and objectives of the national *Vision Plan*, the best and most efficient strategies and policies have been proposed towards supporting medical tourism. As a result, planning, adopting proper policies and executing the empowered management can meet a range of superior services (medical tourism) required by the neighboring provinces (in the west and centre of the country) and in the countries of the region. Moreover, the results of this research can help us to propose a general pattern to identify and analyse international obstacles to the offering of superior services to health tourists.

Accordingly, to remove the above-mentioned barriers, the following strategies are presented:

- Commissioning an integrated system for the provision of health-based services (medicine, treatment and wellness) with facilities for making online appointments and pre- and post- treatment medical consultations;
- Electronic tracking of patients and the manner of services provision from the moment of health tourist arrival to treatment stages and departure from the country and the managing and monitoring of the quality of services provided;

- Establishing new banking technologies and electronic payment facilities for foreign patients;
- Envisaging the possibility of recording patients' experience and accountability of different departments involved in this field for customer satisfaction, trust building and tourists attraction from target markets;
- Increasing communication and training of physicians and strengthening of appropriate relationships between physicians and patients;
- Integration of organisational systems and departments related to the health tourism domain and the creation or upgrading of the application of web-based systems in organisations and departments involved in this field for cooperation and coordination of relevant institutions;
- Creation of integrated medical and tourism databanks in Isfahan for informing and extensive and modern advertising via social media and internet networks;
- Developing a specific well-organized marketing programme and model for health tourism-related companies and facilitators and increasing competitive advantages through innovative services;
- Paying realistic and practical attention to branding, marketing promotion and modern marketing techniques;
- Developing tools for electronic services delivery and research and development activities in this field in the form of distant medical service provision through the use of global marketing strategies, using information and communication technology applications and destinations competitiveness;
- The necessity of developing a comprehensive plan for health tourism development and having an integrated scientific programme regarding resilient economic policies and the province's capabilities in this area in order to focus on and integrate international high quality activities and services for the treatment, recovery and convalescence periods in the form of establishment of health villages in areas with a pleasant climate near Isfahan based on environmental considerations (distant from centres of urban pollutions and making it a necessity to conduct environmental impact assessment studies and planning and controlling the potential pollutant sources of these programmes and waste comprehensive management), sustainability and passive defense through policy making and reconfiguration of the objectives and the modification of the attitude governing this field based on services integration approach;
- Developing and upgrading infrastructures required for the tourism domain (residential centres, transportation, reception, spaces and roads) and strengthening the medical infrastructure at the international standard level;
- Developing a wide range of medical services for foreign citizens in medical institutions by encouraging and strengthening private sector investors in the medical tourism market;
- Removing the legal restrictions of medical tourism development by passing required and new laws due to the novelty of health tourism, such as building special hospitals with special services for clients as a result of having experienced and well-known experts at the international level and service provision experiences in this field;
- Codifying the development's regulations and strategies of complementary insurance and providing enough information in this area, particularly for post-treatment care and removing barriers to international insurance transfer;

– Last and not least - developing new management and supportive regulatory policies for advertising activities in the medical tourism, such as reducing taxes on the import of medical equipment, providing necessary facilities and ensuring adequate government protection to enter and invest in the private sector and attract local and foreign investors and institutions active in the business of medical tourism.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out with the assistance of the Foundation for Support of Researchers and Technologists of the Islamic Republic of Iran in the framework of Research Project No. 97001934, Land Use Planning and Strategies for Expansion of Health Villages Taking the Approach of Medical Tourism Development in Iran. All rights to material and intellectual use of this work belong to the Foundation for Support of Researchers and Technologists of the Islamic Republic of Iran and the University of Isfahan. The authors also express their gratitude to the Iranian National Science Foundation.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование было проведено при содействии Фонда поддержки исследователей и технологов Исламской Республики Иран в рамках исследовательского проекта № 97001934 «Планирование землепользования и стратегии расширения деревень здоровья с учетом подхода к развитию медицинского туризма в Иране». Все права на материальное и интеллектуальное использование этой работы принадлежат Фонду поддержки исследователей и технологов Исламской Республики Иран и Исфаханскому университету. Авторы также выражают свою благодарность Иранскому национальному научному фонду.

REFERENCES

1. Daykhes A.N., Jakovljevic M., Reshetnikov V.A., Kozlov V.V. Promises and hurdles of medical tourism development in the Russian Federation. *Frontiers in Psychology*, 2020, vol. 11, p. 1380. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01380>
2. Kim K.L., Seo B.R. Developmental strategies of the promotion policies in medical tourism industry in South Korea: a 10-year study (2009–2018). *Iranian Journal of Public Health*, 2019, vol. 48, iss. 9, pp. 1607–1616.
3. Turner L.G. Quality in health care and globalization of health services: Accreditation and regulatory oversight of medical tourism companies. *International Journal for Quality in Health Care*, 2011, vol. 23, iss. 1, pp. 1–7. DOI:10.1093/intqhc/mzq078
4. Seo B.R., Park S.H. Policies to promote medical tourism in Korea: a narrative review. *Iranian Journal of Public Health*, 2018, vol. 47, iss. 8, pp. 1077–1083.
5. Rokni L., Avci T., Park S.H. Barriers of developing medical tourism in a Destination: a case of South Korea. *Iranian Journal of Public Health*, 2017, vol. 46, iss. 7, pp. 930–937.
6. Lagiewski R., Myers W. Medical tourism: perspectives and applications for destination development. *American Collage of Management and Technology*, 2008. Available at: <http://scholarworks.rit.edu/other/683> (accessed 22.01.2023)
7. Sobo E.J., Herlihy E., Bicker M. Selling medical travel to US patient-consumers: the cultural appeal of website marketing messages. *Anthropol Med*, 2011, vol. 18, pp. 119–136.
8. Ganguli S., Ebrahim A.H. A qualitative analysis of Singapore's medical tourism competitiveness. *Tourism Management Perspectives*, 2017, vol. 21, pp. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.12.002>
9. Thilagavathi K., Shankar Ch. Medical tourism research: a conceptual framework of emerging business strategies in

- healthcare industry. *Proceedings of International Conference on Tourism Development*, 2013, pp. 364–376.
10. Cesario S.K. Implications of medical tourism. *Nurs Womens Health*, 2018, vol. 22, iss. 3, pp. 269–273. DOI: 10.1016/j.nwh.2018.03.008.
11. IMTJ. Medical travel and tourism. Global market report. *First Edition International Medical Travel Journal*, 2018.
12. Spatial planning of Isfahan province, 2019 (Strategic Plan). [In Persian].
13. Health tourism department of Iran's health, treatment and medical education ministry, 2020.
14. Hosseini S., Taghvaei M. Compilation and evaluation of indexes for the development of health villages by taking a medical tourism development approach towards service integration in Iran (a qualitative & quantitative study). *Human Geography Research*, 2021, vol. 53, iss. 3, pp. 1015–1034. [In Persian]. DOI: 10.22059/jhgr.2020.300901.1008107
15. Heung V.C.S., Kucukusta D., Song H. Medical tourism development in Hong Kong: an assessment of the barriers. *Tourism Manag.*, 2011, vol. 32, 995–1005. DOI: 10.1016/j.tourman.2010.08.012
16. Singh L. An evaluation of medical tourism in India. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*, 2014, vol. 3, iss. 1, pp. 1–11. Available at: www.ajhtl.com/uploads/7/1/6/3/7163688/article_1_vol.3_1-2014.pdf (accessed 22.01.2023)
17. Hosseini S.S., Taghvayi M., Ataev Z.V., Bratkov V.V. Problems and prospects of creating health tourism villages as a potential for developing medical tourism in the Islamic Republic of Iran (case study: Yazd province). *South of Russia: Ecology, Development*, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 97–116. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-97-116.
18. Nemati V., Ebrahimipour H., Babaei Y., Abbasgholizadeh N. Assessing barriers to the development of medical tourism. Case study: Ardabil. *Journal of Health*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 118–133. [In Persian].
19. Çavmak D., Çavmak Ş. Using AHP to prioritize barriers in developing medical tourism: case of Turkey. *International Journal of Travel Medicine and Global Health*, 2020, vol. 8, iss. 2, pp. 73–79. DOI: 10.34172/ijtmgh.2020.12
20. Enderwick P. and Nagar S. The competitive challenge of emerging markets: the case of medical tourism. *International Journal of Emerging Markets*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 329–350. <https://doi.org/10.1108/17468801111170347>
21. Najafi B. Designing a model of health tourism marketing in Iran. A thesis for the degree of PhD dissertation, Iran University of Medical Sciences, 2018.
22. Yang Y.-S. Key success factors in medical tourism marketing. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 2013, vol. 3, iss. 3, p. 152.
23. Maleki S., Tavangar M. Analyzing health tourism challenges in Mashhad from the perspective of foreign patients. *Journal of Geography and Urban Space Development*, 2016, vol. 2, iss. 2, pp. 153–165 [in Persian].
24. Alsharif M.J., Labonté R., Lu Z. Patients beyond borders: a study of medical tourists in four countries. *Global Social Policy*, 2010, vol. 10, iss. 3, pp. 315–335. DOI: 10.1177/1468018110380003
25. Håkansson K., Rovio S., Helkala E.L., Vilks A.R., Winblad B., Soininen H., Nissinen A., Mohammed A.H., Kivipelto M. Association between mid-life marital status and cognitive function in later life: population based cohort study. *BMJ*, 2009, 2; pp. 339–2462. DOI: 10.1136/bmj.b2462.
26. Campinha-Bacote J. The process of cultural competence in the delivery of healthcare services: a model of care. *J. Transcult Nurs*, 2002, vol. 13, iss. 3, pp. 181–184.
27. Crooks V.A., Kingsbury P., Snyder J., Johnston R. What is known about the patient's experience of medical tourism? A scoping review. *BMC Health Serv. Res.*, 2010, 8;10, p. 266. DOI: 10.1186/1472-6963-10-266.
28. Jorge R., Singh D., DeMicco F. The impact of major tourist markets on health tourism spending in the United States. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2019, vol. 11, pp. 270–280.
29. Samadbeik M., Asadi H., Mohseni M., Takbiri A., Moosavi A., Garavand A. Designing a Medical Tourism Website: A Qualitative Study. *Iranian Journal of Public Health*, 2017, vol. 46, iss. 2, pp. 249–257.
30. Hwang S., Lee D., Kang C.Y. Medical tourism: focusing on patients' prior, current, and post experience. *Int. J. Qual. Innov.*, 2018, vol. 4, p. 4. <https://doi.org/10.1186/s40887-018-0024-2>
31. Saeedbakhsh S., Kazemi A., Nematbakhsh M., Ranjbarian B. Designing an electronic marketing model for medical tourism of the Islamic Republic of Iran with the proposal systems approach. *New Marketing Research Journal*, 2020, vol. 10, iss. 2, pp. 105–128.
32. Qolipour M., Torabipour A., Faraji Khiafi F., & Saki Malehi A. Assessing Medical Tourism Services Quality Using SERVQUAL Model: A Patient's Perspective. *Iranian Journal of Public Health*, 2018, vol. 47, no. 1, pp. 103–110.
33. Lunt N., Smith R., Exworthy M., Green S., Horsfall D., Mannion R. Medical tourism: treatments, market and health system implications: a scoping review. *OECD Directorate for Employment, Labour and Social Affairs*, 2011, p. 7.
34. Bartzis G., Kaitelidou D., Bistarakis A., Konstantakopoulou O. Factors affecting medical tourism destination selection in Greece. *Stud Health Technol Inform*, 2020, vol. 272, pp. 314–317. DOI: 10.3233/SHTI200558
35. Beladi H., Chao Ch.-Ch., Ee M. Sh., Hollas D. Medical tourism and health worker migration in developing countries. *Economic Modelling*, 2015, vol. 46(C), pp. 391–396.
36. Momeni Kh., Janatib A., Imanic A., Khodayari-Zarnaqb R. Barriers to the development of medical tourism in East Azerbaijan province, Iran: a qualitative study. *Tourism Management*, 2018, vol. 69, pp. 307–316.
37. Hosseini S.S., Taghvaei M. The codification and evaluation of policy indexes and medical tourism rules in Iran (a qualitative and quantitative study). *Akhlagh-E Zisti (i.e., Bioethics Journal)*, 2020, vol. 10, no. 35, pp. 1–14 [in Persian]. <https://doi.org/10.22037/bioeth.v10i35.29941>
38. Seydaei S., Hosseini S., Yazdanbaks B. Evaluation of the environmental sustainability of Isfahan with an emphasis on air pollution. *Geography and Environmental Planning*, 2018, vol. 29, no. 1, 113–126 (in Persian). DOI: 10.22108/gep.2018.97857.0
39. Ulaş D., Anadolu Y. A case study for medical tourism: Investigating a private hospital venture in Turkey. *Anatolia*, 2016, vol. 27, iss. 3, pp. 327–338. <https://doi.org/10.1080/13032917.2016.1191763>
40. Hosseini S.S., Taghvaei M., Seidaei E.S., Gholami Y., Ataev Z.V. Air pollution: a threat to health tourism development in the Islamic Republic of Iran (case study: Ilam city). *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 140–149. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-140-149.
41. Aksanova E.I., et al. [Recreational potential of medical tourism of Russia]. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 2020, vol. 28, pp. 1180–1185. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33219777/> (accessed 22.01.2023) (In Russian)
42. Hosseini S., Taghvaei M. Spatial planning and strategies of medical tourism development towards the expansion of health villages (a case study of health region No.2). *Quarterly Journals of Urban and Regional Development Planning*, 2019, vol. 3, no. 7, pp. 31–77. [in Persian]. DOI: 10.22054/urdp.2020.54017.1236
43. Lepp A., Gibson H. Tourist roles, perceived risk and international tourism. *Annals of Tourism Research*, 2003, vol. 30, pp. 606–624. [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(03\)00024-0](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(03)00024-0)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Daykhes A.N., Jakovljevic M., Reshetnikov V.A., Kozlov V.V. Promises and hurdles of medical tourism development in the Russian Federation // *Frontiers in Psychology*. 2020. T. 11. C. 1380. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01380>
2. Kim K.L., Seo B.R. Developmental strategies of the promotion policies in medical tourism industry in South Korea: a 10-year study (2009–2018) // *Iranian Journal of Public Health*. 2019. T. 48. Вып. 9. C. 1607–1616.
3. Turner L.G. Quality in health care and globalization of health services: Accreditation and regulatory oversight of medical tourism companies // *International Journal for Quality in Health Care*. 2011. T. 23. Вып. 1. C. 1–7. DOI:10.1093/intqhc/mzq078
4. Seo B.R., Park S.H. Policies to promote medical tourism in Korea: a narrative review // *Iranian Journal of Public Health*. 2018. T. 47. Вып. 8. C. 1077–1083.
5. Rokni L., Avci T., Park S.H. Barriers of developing medical tourism in a Destination: a case of South Korea // *Iranian Journal of Public Health*. 2017. T. 46. Вып. 7. C. 930–937.
6. Lagiewski R., Myers W. Medical tourism: perspectives and applications for destination development // *American Collage of Management and Technology*. 2008. URL: <http://scholarworks.rit.edu/other/683> (дата обращения: 22.01.2023)
7. Sobo E.J., Herlihy E., Bicker M. Selling medical travel to US patient-consumers: the cultural appeal of website marketing messages // *Anthropol Med*. 2011. T. 18. C. 119–136.
8. Ganguli S., Ebrahim A.H. A qualitative analysis of Singapore's medical tourism competitiveness // *Tourism Management Perspectives*. 2017. T. 21. C. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.12.002>
9. Thilagavathi K., Shankar Ch. Medical tourism research: a conceptual framework of emerging business strategies in healthcare industry // *Proceedings of International Conference on Tourism Development*. 2013. C. 364–376.
10. Cesario S.K. Implications of medical tourism // *Nurs Womens Health*. 2018. T. 22. Вып. 3. C. 269–273. DOI: 10.1016/j.nwh.2018.03.008.
11. IMTJ. Medical travel and tourism. Global market report // *First Edition International Medical Travel Journal*. 2018.
12. Spatial planning of Isfahan province, 2019 (Strategic Plan). [In Persian].
13. Health tourism department of Iran's health, treatment and medical education ministry. 2020.
14. Hosseini S., Taghvaei M. Compilation and evaluation of indexes for the development of health villages by taking a medical tourism development approach towards service integration in Iran (a qualitative & quantitative study) // *Human Geography Research*. 2021. T. 53. Вып. 3. C. 1015–1034. [In Persian]. DOI: 10.22059/jhgr.2020.300901.1008107
15. Heung V.C.S., Kucukusta D., Song H. Medical tourism development in Hong Kong: an assessment of the barriers // *Tourism Manag*. 2011. T. 32. C. 995–1005. DOI: 10.1016/j.tourman.2010.08.012
16. Singh L. An evaluation of medical tourism in India // *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*. 2014. T. 3. Вып. 1. C. 1–11. URL: www.ajhtl.com/uploads/7/1/6/3/7163688/article_1_vol.3_1-2014.pdf (дата обращения: 22.01.2023)
17. Хоссейни С.С., Тагвайи М., Атаев З.В., Братков В.В. Проблемы и перспективы создания туристических деревень здоровья как потенциал развития медицинского туризма в Исламской Республике Иран (на примере провинции Йезд) // *Юг России: экология, развитие*. 2020. T. 15. N 3. C. 97–116. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-97-116
18. Nemati V., Ebrahimpour H., Babaei Y., Abbasgholizadeh N. Assessing barriers to the development of medical tourism. Case study: Ardabil // *Journal of Health*. 2016. T. 7. N 2. C. 118–133. [In Persian].
19. Çavmak D., Çavmak Ş. Using AHP to prioritize barriers in developing medical tourism: case of Turkey // *International Journal of Travel Medicine and Global Health*. 2020. T. 8. N 2. C. 73–79. DOI: 10.34172/ijtmgh.2020.12
20. Enderwick P. and Nagar S. The competitive challenge of emerging markets: the case of medical tourism // *International Journal of Emerging Markets*. 2011. T. 6. N 4. C. 329–350. <https://doi.org/10.1108/17468801111170347>
21. Najafi B. Designing a model of health tourism marketing in Iran. A thesis for the degree of PhD dissertation, Iran University of Medical Sciences. 2018.
22. Yang Y.-S. Key success factors in medical tourism marketing // *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. 2013. T. 3. Вып. 3. C. 152.
23. Maleki S., Tavangar M. Analyzing health tourism challenges in Mashhad from the perspective of foreign patients // *Journal of Geography and Urban Space Development*. 2016. T. 2. Вып. 2. C. 153–165 [in Persian].
24. Alsharif M.J., Labonté R. & Lu Z. Patients beyond borders: a study of medical tourists in four countries // *Global Social Policy*. 2010. T. 10. Вып. 3. C. 315–335. DOI:10.1177/1468018110380003
25. Håkansson K., Rovio S., Helkala E.L., Vilks A.R., Winblad B., Soininen H., Nissinen A., Mohammed A.H., Kivipelto M. Association between mid-life marital status and cognitive function in later life: population based cohort study // *BMJ*. 2009. 2. C. 339–2462. DOI: 10.1136/bmj.b2462.
26. Campinha-Bacote J. The process of cultural competence in the delivery of healthcare services: a model of care // *J. Transcult Nurs*. 2002. T. 13. Вып. 3. C. 181–184.
27. Crooks V.A., Kingsbury P., Snyder J., Johnston R. What is known about the patient's experience of medical tourism? A scoping review // *BMC Health Serv. Res*. 2010. 8;10. P. 266. DOI: 10.1186/1472-6963-10-266.
28. Jorge R., Singh D. & DeMicco F. The impact of major tourist markets on health tourism spending in the United States // *Journal of Destination Marketing & Management*. 2019. T. 11. C. 270–280.
29. Samadbeik M., Asadi H., Mohseni M., Takbiri A., Moosavi A. & Garavand A. Designing a Medical Tourism Website: A Qualitative Study // *Iranian Journal of Public Health*. 2017. T. 46. Вып. 2. C. 249–257.
30. Hwang S., Lee D., Kang C.Y. Medical tourism: focusing on patients' prior, current, and post experience // *Int. J. Qual. Innov.* 2018. T.4. C. 4. <https://doi.org/10.1186/s40887-018-0024-2>
31. Saeedbakhsh S., Kazemi A., Nematbakhsh M., Ranjbarian B. Designing an electronic marketing model for medical tourism of the Islamic Republic of Iran with the proposal systems approach // *New Marketing Research Journal*. 2020. T. 10. Вып. 2. C. 105–128.
32. Qolipour M., Torabipour A., Faraji Khiavi F., & Saki Malehi A. Assessing Medical Tourism Services Quality Using SERVQUAL Model: A Patient's Perspective // *Iranian Journal of Public Health*. 2018. T. 47. N 1. C. 103–110.
33. Lunt N., Smith R., Exworthy M., Green S., Horsfall D., Mannion R. Medical tourism: treatments, market and health system implications: a scoping review // *OECD Directorate for Employment, Labour and Social Affairs*. 2011. C. 7.
34. Bartzis G., Kaitelidou D., Bistarakis A., Konstantakopoulou O. Factors affecting medical tourism destination selection in Greece // *Stud Health Technol Inform*. 2020. T. 272. C. 314–317. DOI: 10.3233/SHTI200558
35. Beladi H., Chao Ch.-Ch., Ee M. Sh., Hollas D. Medical tourism and health worker migration in developing countries // *Economic Modelling*. 2015. T. 46(C). C. 391–396.
36. Momeni Kh., Janatib A., Imanic A., Khodayari-Zarnaqb R. Barriers to the development of medical tourism in East Azerbaijan province, Iran: a qualitative study // *Tourism Management*. 2018. T. 69. C. 307–316.

37. Hosseini S.S., Taghvaei M. The codification and evaluation of policy indexes and medical tourism rules in Iran (a qualitative and quantitative study) // *Akhlagh-E Zisti* (i.e., *Bioethics Journal*). 2020. Т. 10. N 35. С. 1–14 [in Persian]. <https://doi.org/10.22037/bioeth.v10i35.29941>
38. Seydaei S., Hosseini S., Yazdanbaks B. Evaluation of the environmental sustainability of Isfahan with an emphasis on air pollution // *Geography and Environmental Planning*. 2018. Т. 29. N 1. С. 113–126 (in Persian). DOI: 10.22108/gep.2018.97857.0
39. Ulaş D., Anadol Y. A case study for medical tourism: Investigating a private hospital venture in Turkey // *Anatolia*. 2016. Т. 27. Вып. 3. С. 327–338. DOI: 10.1080/13032917.2016.1191763
40. Hosseini S.S., Taghvaei M., Seidaei E.S., Gholami Y., Ataev Z.V. Air pollution: a threat to health tourism development in the Islamic Republic of Iran (case study: Ilam city) // *South of Russia: ecology, development*. 2022. Т. 17. N 2. С. 140–149. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-2-140-149.

41. Аксенова Е.И. и др. Рекреационный потенциал медицинского туризма России // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2020. Т. 28. С. 1180–1185. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33219777/> (дата обращения: 22.01.2023)
42. Hosseini S., Taghvaei M. Spatial planning and strategies of medical tourism development towards the expansion of health villages (a case study of health region No.2) // *Quarterly Journals of Urban and Regional Development Planning*. 2019. Т. 3. N 7. С. 31–77. [in Persian]. DOI: 10.22054/urdp.2020.54017.1236
43. Lepp A., Gibson H. Tourist roles, perceived risk and international tourism // *Annals of Tourism Research*. 2003. Т. 30. С. 606–624. [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(03\)00024-0](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(03)00024-0)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Somayeh S. Hosseini defined the idea of the study, built the logic of the study, participated in field research, compiled cartographic material, structured the results of the study and participated in the production of the graphic material of the article. Massoud Taghvaei formulated the problem, defined research methods, participated in field research, and structured the text of the article in the logic of research, selected bibliographic sources. Zagir V. Ataev performed an analysis of the existing experience and formulated the conclusions of the study. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сомайех С. Хоссейни определил идею исследования, выстроил логику исследования, участвовал в полевых исследованиях, составил картографический материал, структурировал результаты исследования, участвовал в изготовлении графического материала статьи. Масуд Тагвайи сформулировал проблему, определил методы исследования, участвовал в полевых исследованиях, структурировал текст статьи в логике исследования, подбирал библиографические источники. Загир В. Атаев выполнил анализ имеющегося опыта, сформулировал выводы исследования. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Somayeh S. Hosseini / Сомайех С. Хоссейни <https://orcid.org/0000-0002-9043-697X>

Massoud Taghvaei / Масуд Тагвайи <https://orcid.org/0000-0001-5486-5972>

Zagir V. Ataev / Загир В. Атаев <https://orcid.org/0000-0001-7731-5594>

Оригинальная статья / Original article

УДК 616.33

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-226-233

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



Эффект теломераз. Онкологические аспекты рака культи желудка (методология и литературный обзор)

Сайгид А. Алиев^{1,2}, Жанна А. Гасангусейнова¹, Камиль Х. Омаров³¹Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, Россия²ГБУ РД НКО «Дагестанский центр грудной хирургии», Махачкала, Россия³ГБУ РД Республиканская клиническая больница им. А.В. Вишневого, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Сайгид А. Алиев, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой онкологии с УВ, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет»; 367000 Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, площадь им. Ленина, 1.

Тел. +79285955727

Email sa_aliev@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-7007-3737>

Формат цитирования

Алиев С.А., Гасангусейнова Ж.А., Омаров К.Х. Эффект теломераз. Онкологические аспекты рака культи желудка (Методология и литературный обзор) // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 226-233. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-226-233

Получена 13 апреля 2023 г.

Прошла рецензирование 18 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Оценка перспектив интегральной междисциплинарной характеристики современной стратегии онкохирургии рака культи желудка (РКЖ), позволяющая сформулировать концепцию более физиологической хирургии.

Материалы и Методы. Материалом для исследования послужили гастробиопсии, взятые прицельно при фиброгастроскопии в области анастомоза у больных, перенесших в прошлом резекцию желудка по поводу пилородуоденальных язв по первому и второму способам Бильрота. В зависимости от времени, прошедшего после резекции желудка, наблюдения были разбиты на 2 группы.

Результаты. У 45 больных с пострезекционным гастритом (на основании морфометрического, статистического исследования лимфоидной ткани слизистой оболочки культи желудка) установлено: достоверное ($p < 0,05$) увеличение числа межэпителиальных лимфоцитов (от 5,14 до 30,60) индекса плазматизации собственной пластинки слизистой оболочки в сравнении с контрольной группой (от 4,9 до 46,70), возрастающее по срокам после операции, что связано с прогрессированием атрофического гастрита. Наиболее отчетливо ($p < 0,005$) эта связь пролеживается в сроки свыше 15 лет после резекции желудка по Гофмейстеру–Финстереру.

Выводы. Выполнено исследование компонентов природной окружающей среды: источников питьевого водоснабжения: фенола, марганца, меди, формальдегида, в пробах пастбищной растительности: железа, хрома, никеля, кадмия; с установлением завышенных показателей (ПДК). Ранняя диагностика в доклинической стадии со скрининговым мониторингом в группе больных резецированного желудка по истечении 10 лет и более остается сверхактуальной. Подтверждена верность гипотезы, выдвинутой Ю.И. Фишзон–Рысс о том, что антральный гастрит после РЖ по поводу язвенной болезни проявляет тенденцию к антропокардиальной экспансии с прогрессированием атрофического гастрита, который является фоновым составляющим для развития рака культи желудка.

Ключевые слова

Постгастрорезекционный синдром (ПГРС), рак культи желудка, повторный реконструктивно-восстановительные операции на желудке, теория молекулярной диссиметрии Пастера, теломеразная активность, коэффициент поляризации плазмы крови, скрининговые исследования.

The telomerase effect. Oncological aspects of gastric stump cancer (methodology and literature review)

Saygid A. Aliev^{1,2}, Zhanna A. Gasanguseinova¹ and Kamil H. Omarov³

¹Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia

²Dagestan Center for Thoracic Surgery, Makhachkala, Russia

³A.V. Vishnevsky Republican Clinical Hospital, Makhachkala, Russia

Principal contact

Saygid A. Aliev, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head, Department of Oncology with Ultrasound, Dagestan State Medical University; 1 Lenin Square, Makhachkala, Republic of Dagestan, 367000 Russia. Tel. +79285955727

Email sa_aliev@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7007-3737>

How to cite this article

Aliev S.A., Gasanguseinova Zh.A., Omarov K.H. The telomerase effect. Oncological aspects of gastric stump cancer (methodology and literature review). *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 226-233. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-226-2

Received 13 April 2023

Revised 18 June 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To assessing the prospects for the integral interdisciplinary characteristics of the modern strategy of oncological surgery for gastric stump cancer (GSC), which allow us to formulate the concept of a more physiological surgery.

Materials and Methods. The study used gastrobiopsies taken specifically during fibrogastroscopy in the area of the anastomosis in patients who had undergone gastrectomy in the past for pyloroduodenal ulcers using the first and second Billroth methods. Depending on the time elapsed after gastrectomy, observations were divided into 2 groups.

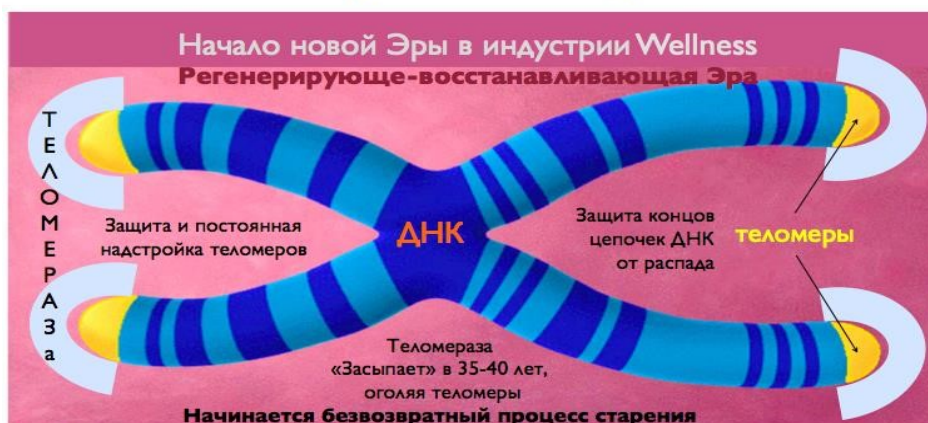
Results. In 45 patients with post-resection gastritis (based on a morphometric, statistical study of the lymphoid tissue of the mucous membrane of the gastric stump), there was established: a significant ($p < 0.05$) increase in the number of interepithelial lymphocytes (from 5.14 to 30.60) of the plasmatization index of the lamina propria of the mucous membrane in comparison with the control group (from 4.9 to 46.70), increasing in time after surgery, which is associated with the progression of atrophic gastritis. This relationship is most clearly observed ($p < 0.005$) over 15 years after gastrectomy, according to Hoffmeister–Finsterer.

Conclusions. A study of the components of the natural environment was carried out: sources of drinking water supply: phenol, manganese, copper, formaldehyde and in samples of pasture vegetation: iron, chromium, nickel, cadmium; with the establishment of inflated indicators (MPC). Early diagnosis in the preclinical stage with screening monitoring in the group of patients with resected stomach after 10 years or more remains extremely relevant. The hypothesis put forward by Yu.I. was confirmed to be correct by Fishson–Ryss that antral gastritis after gastric gastritis for peptic ulcer disease tends to antrocardial expansion with the progression of atrophic gastritis, which is a background component for the development of gastric stump cancer.

Key Words

Postgastroresection syndrome (PGRS), gastric stump cancer, repeated reconstructive stomach surgery, Pasteur's theory of molecular dissymmetry, telomerase activity, blood plasma polarization coefficient, screening studies.

2009 год Нобелевская премия за открытие теломеров и теломеразы



Источник: izhevsk.ru

Для врача первостепенное значение имеет знание общих причинных зависимостей

А. Эйнштейн

For a doctor, knowledge of general causal relationships is of paramount importance

A. Einstein

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономический статус в 90% случаев детерминирует возникновение злокачественных новообразований (ЗНО). Лучший врач – не блестящий хирург, а гигиенист. Абдурахмановым Г.М. с соавторами [3] на высоком методическом уровне по повышенным показателям предельно допустимых концентраций (ПДК) продемонстрировано ухудшение онкоэпидемиологической обстановки с пропорциональным ростом и запущенностью ЗНО по материалам онкодиспансера РД.

Ранняя диагностика в доклинической стадии со скрининговым мониторингом в группе больных резецированного желудка по истечении 10 лет и более остается сверхактуальной, т.е. возникла новая проблема, порожденная хирургией – проблема рака оперированного желудка. Обследованы 210 больных после резекции желудка (РЖ) по поводу осложненных пилородуоденальных язв в сроки от 1 года до 22 лет, 171 из которых выполнена фиброгастродуоденоскопия (ФГДС), в группе повышенного риска из которых (N=45) изучена иммунморфология СО резецированного желудка.

Трансляционная медицина как эффективная модель и путь персонализированной медицины на этапе становления. То, что ДНК помогла найти причину рака не означает, что можем управлять опухолевым процессом – это первый шаг. В проспективном плане на основе изучения теломеразной активности, коэффициента поляризации плазмы крови на примере рака резецированного желудка получены обнадеживающие результаты [1; 2; 4–9].

ОБСУЖДЕНИЕ

За последнее время онкология получила неоспоримые свидетельства того, что причиной рака являются генетические и эпигенетические нарушения, происходящие в геноме нормальных клеток. Носители аномальных BRCA 1,2 генов родившиеся до 2 мировой войны в 3 раза меньше болели, чем в эру фастфуда. Канцерогенез представляет собой многоэтапный процесс, в результате которого накапливаются изменения в клетках и поломки в генах, такие, как точечные мутации,

транслокации, приводящие к появлению химерных генов (делеции хромосомного материала, амплификация определенных локусов [1; 4; 6; 7; 11–13].

Удел долгожителей, не доводить организм до диагностики, особенно при онкопатологии. Онкология уникальная медицинская специальность, включающая в себя практически все разделы современной медицины, является локомотивом продвижения вперед всего здравоохранения. Диагностика в доклинической стадии со скрининговым мониторингом заболеваний позволяет решить проблемные задачи. Поиск биомаркеров, позволяющих диагностировать различные заболевания, прогнозировать осложнения, является важной задачей современной медицины [14; 15]. Через столетия предпринимаются попытки ответить на вопросы, оставленные еще великим Л. Пастером и П. Кюри. Значимость их открытий в теорию молекулярной симметрии оказалось выше их же замечательных работ. Открытие молекулярной диссимметрии указывает на прямой путь к постижению тайны жизни, тайны рака [15; 16].

Последовательное совершенствование научной методологии под влиянием идей Л. Пастера, Н.И. Пирогова, Э. Шрёдингера развивалась на синектическом, синергетическом уровнях. Глубинный их смысл адекватно оценили физики и математики. По мнению М.В. Кутушова [1] *рак* – переставленная симметрия в диссимметрии организма с нарушением самоорганизации белков, «зов нанокристаллов» с возвратом клеток в прокариотическое, кристаллическое состояние. Это «совершенная» правая форма жизни. Она недостижима для иммунной системы. Раковые клетки излучают отрицательные, инвертируемые поля. С этих позиций поистине грандиозна «Пастериана» сегодняшнего дня.

Один из основателей квантовой теории австрийский физик Эрвин Шрёдингер написал книгу «Что такое жизнь с точки зрения физики?»

Дальше пошел водопад открытий. Сказочная молекула ДНК открыта в 1953 году Д. Уотсоном и Ф. Криком.

Проект – геном человека стал важнейшей вехой в истории медицины.

Ударная программа секвенирования с изучением кода жизни (ДНК) позволит разгадать тайну бытия, тайну жизни рака.

Патогенез рака оказался настолько фантастичен, что перед ним меркнет любая фантастика. Стареющие организмы теряют левые аминокислоты и перескакивают на химерные белки, правые оптические изомеры [1]. Таким образом, потенцирующий эффект вышеуказанных открытий позволяет рассматривать рак как древнюю форму жизни из правых и химерных строительных белков, со снижением коэффициента диссиметрии и предназначены для ранней диагностики.

То, что ДНК помогла найти причину рака, не означает, что мы можем управлять опухолевым процессом, это только начало.

В проспективном плане на основе изучения длины теломер, теломеразной активности, частоты мутаций P53, сформулированы показания к исследованию скрининговой группы, что является чрезвычайно важной для ранней диагностики рака [16–18]. Эти пробы оказались универсальными маркерами биологического старения, как при сердечно-сосудистых, так и при опухолевых заболеваниях [4; 6]. Они являются надежными индикаторами в частности, продолжительности жизни. Короткие теломеры, предвестники старости, преждевременной смерти. Компенсируется укорочение теломер ферментом теломеразой. В 2009 году Кэрл Грейдер, Элизабет Блекбёрн получили Нобелевскую премию за открытие теломеров и теломеразы [19].

Теломеры и теломераза – это основные элементы механизма клеточного старения.

Установлено, что рак – это болезнь генома, структурно-функциональных изменений клеточных генов, детерминирующих возникновение и прогрессирование опухолевого роста.

В частности, активация теломеразы является одной из наиболее часто встречающихся в раковых клетках мутаций [19].

Можно стимулировать активность теломеразы мягкими способами, в безопасных пределах: очень важен образ жизни, дозированная физическая нагрузка и качественная диета. У лиц с более низким образованием более короткие теломеры. Длина теломеров увеличивается с каждой новой ступенью образования. Парадокс в том, что было задумано как рецепт нашего бессмертия (возможно, им и станет), в наше время превратили в смертельную болезнь. При принудительном их удлинении может вызвать непредсказуемые отдаленные последствия, как развитие онкологических заболеваний. Искусственно индуцированная экспрессия гена катализа теломеразы делает клетку бессмертной, т.е. активация теломеразы является первичным событием на пути клетки к злокачественному перерождению.

В настоящей работе мы предоставляем фрагмент посвященный раку культи желудка. Все оказалось гораздо сложнее: избыток теломеразы повышает риск развития рака. Потребность в обобщающих исследованиях сверх актуальна. Первые спорные работы в этом ключе предприняты М.В. Кутушовым.

В проспективном плане на основании изучения теломеразной активности и коэффициента поляризации плазмы крови сформулированы показания к исследо-

ванию скрининговой группы, что является чрезвычайно важным для ранней диагностики рака. Междисциплинарный подход с включением биохимиков, изучением метаболизма рака, представляется одним из перспективных. Определение комплекса дополнительных молекулярно-генетических маркеров в послеоперационных биоптатах слизистой культи желудка, полученных при эндоскопическом исследовании, расширяет информацию о риске развития рецидива и генерализации процесса. Представлены молекулярно-генетические маркеры, которые могут быть использованы в дополнение к морфологическому и биохимическому исследованиям для мониторинга больных после хирургического лечения.

Интенсивное развитие молекулярной медицины, вероятно, позволит не только в будущем лучше понять фундаментальные процессы канцерогенеза, но и уже сейчас помочь пациенту [14; 20–25].

ВЫВОДЫ

А. Патоморфологический анализ, дополненный на новом методологическом уровне с определением генетических маркеров с измерением длины теломер, активности теломеразы, частоты мутации p53, с определением коэффициента поляризации плазмы крови при онкозаболеваниях заняли свою нишу в комплексе универсальных, но не скрининговых методик.

Б. На нанотехнологическом уровне установлено, что существует обратный ход-код генетической информации от РНК к ДНК. Подтверждено нарушение главной догмы генетики, связанной с признанием одновекторности, однонаправленности информации.

В. В период коммерциализации медицины доминирующим стал переход от понятия пациент к понятию клиент, привилегии частного сектора реализуются в жизнь по законам спроса и предложения.

Г. Университеты не стали опорными, эффективно влияющими на весь комплекс реализуемых задач в здравоохранении.

Д. Сегодня формируется новое Российское государство с измененной идеологией.

ЧАСТЬ II. ПОСТРЕЗЕКЦИОННЫЙ ГАСТРИТ В ИММУНОЛОГИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

В последние годы увеличилось количество публикаций касающихся изучения последствий резекций желудка, профилактики болезней оперированного желудка (соавт. 1984, В.И. Оноприев и соавт. 2000, 2010, А.Ф. Черноусов и соавт. 2015, 2020). Это и вопросы гормональной дисфункции ЖКТ, во многом определяемые биогенными аминами (АПУД системой) мембранного пищеварения рака культи желудка.

Особый интерес для хирургов представляет развитие рака культи желудка в отдаленные сроки после РЖ по поводу язвенной болезни

Поэтому продолжают поиски факторов риска и изучение фоновых изменений в предопухолевом периоде в этой группе больных. В связи с этим оправданна обязательная диспансеризация всех больных перенесших резекцию желудка с эндоскопическим контролем и гастробиопсией в отдаленные сроки, превышающие 10 лет и более.

Лимфоплазмоцитарную инфильтрацию слизистой оболочки желудка рассматривают как одну из местных иммунных реакций организма клеточного типа,

благодаря которой обеспечивается в основном предопухольный иммунитет.

Расширение исследований в области иммунологии привело к представлениям о возможном участии местных и общих факторов иммунной системы в патогенезе пострезекционного гастрита. Однако в чем конкретно это выражается, до настоящего времени мало изучено.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили гастробиопсии, взятые прицельно при фиброгастроскопии в области анастомоза у больных, перенесших в прошлом резекцию желудка по поводу пилорoduodenальных язв по первому и второму способам Бильрота. В зависимости от времени, прошедшего после резекции желудка, наблюдения были разбиты на 2 группы:

- больные с пострезекционным гастритом, оперированные по способу Бильрот-I; (n=19);
- больные с пострезекционным гастритом, оперированные по способу Бильрот-II; (n=26).

Дополнительно обсуждали обследование 210 больных после резекции желудка по поводу осложненных пилорoduodenальных язв в сроки от 1 года до 22. У 54 больных (25,7 %) доминировала клиническая картина гастрита культи, 45 из которых дополнительно обследованы фиброгастроскопически с биопсией, изучением обследований иммуноморфологии, гистохимии слизистой оболочки желудка.

Морфологические реакции лимфоидного аппарата, показатели лимфоплазмочитарной инфильтрации находят все более широкое применение и в онкологической практике (24).

Особый интерес представляла морфологическая характеристика изменений слизистой оболочки резецированного желудка как субстрата развития опухоли. Поэтому наряду с общепринятыми методиками изучены результаты гастробиопсий слизистой оболочки культи желудка, с морфо-гистохимическим исследованием биоптатов, морфометрической оценкой, межэпителиальных лимфоцитов (МЭЛ), лимфатических и плазматических клеток в собственной пластинке слизистой оболочки с параллельным изучением иммунологического статуса.

Таблица 1. Результаты морфометрических наблюдений слизистой оболочки резецированного желудка в отдаленные сроки по данным биопсии

Table 1. Results of morphometric observations of the mucous membrane of resected stomach in the long term according to biopsy data

Группа обследованных Group examined	Статистические показатели Statistical indicators	Морфологическая характеристика слизистой оболочки желудка по срокам после операции Morphological characteristics of the gastric mucosa by time period after surgery			
		МЭЛ, в % Interepithelial lymphocytes, %		Индекс лимфоплазмочитарной инфильтрации собственной пластинки слизистой оболочки, в % Lymphoplasmacytic infiltration index of the lamina propria of the mucous membrane, in %	
		1-14 лет 1-14 years	15-22 лет 15-22 years	1-14 лет 1-4 years	15-22 лет 15-24 years
Больные пострезекционным гастритом, оперированные по Бильрот-1 Patients with post-resection gastritis operated on according to Billroth-1	M± n p	19,2±1,21 I9 < 0,05	— — —	27,5±2,3 I9 < 0,05	— — —
Больные пострезекционным гастритом, оперированные по Бильрот-2 Patients with post-resection gastritis operated on according to Billroth-2	M± n p P1 P2	23,4±1,71 I9 < 0,05 < 0,05	30,60±2,46 7 < 0,05 < 0,05	26,2±2,6 I9 < 0,05 >0,05	46,7±5,12 7 < 0,05 < 0,05
Здоровые лица Healthy individuals	P=6		5,14±0,44		4,9±0,51

Примечание: P – достоверность различий с показателями в контрольной группе;

P1 – достоверность различий между группами в зависимости от давности операции;

P2 – достоверность различий между группами с резекцией желудка по способам Бильрот-1, Бильрот-2.

Note: P – significance of differences with indicators in the control group;

P1 – significance of differences between groups depending on the duration of the operation;

P2 – significance of differences between groups with gastrectomy using the Billroth-1 and Billroth-2 methods.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У 45 больных с пострезекционным гастритом (на основании морфометрического, статистического исследования лимфоидной ткани слизистой оболочки культи желудка) установлено: достоверное (p<0,05) увеличение числа межэпителиальных лимфоцитов (от 5,14 до 30,60) индекса плазматизации собственной пластинки слизистой оболочки в сравнении с контрольной группой (от 4,9 до 46,70), возрастающее по срокам после операции, что связано с прогресси-

рованием атрофического гастрита (табл. 1). Наиболее отчетливо (p<0,005) эта связь пролеживается в сроки свыше 15 лет после резекции желудка по Гофмейстеру–Финстереру.

С увеличением срока после операции авторы отметили возрастание степени выраженности лимфоплазмочитарной инфильтрации слизистой оболочки культи желудка, а также увеличение в покровном эпителии количества межэпителиальных лимфоцитов. В периферической крови при пострезек-

ционном гастрите ими было выявлено снижение количества и функциональной активности Т-лимфоцитов, увеличение количества В-лимфоцитов наряду с «активацией сывороточных IgA» и снижением уровня IgM и IgG.

Действительно, если резекция желудка приводит к появлению изменений слизистой оболочки оставшейся его части, на фоне которых чаще развивается рак, то для реализации этих изменений необходим какой-то промежуток времени.

После 15 лет частота рака оперированного желудка резко повышается. Таким образом, мы подтвердили гипотезу Ю.И. Фишзон–Рысс о том, что антральный гастрит после РЖ по поводу язвенной болезни проявляет тенденцию к антропокардиальной экспансии с прогрессированием атрофического гастрита, который является фоновым состоянием для развития РЖ.

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ РАКА КУЛЬТЫ ЖЕЛУДКА

С учетом меняющихся критериев оценки отдаленного послеоперационного состояния после резекции желудка в структуре болезней оперированного желудка серьезное значение придается гастриту резецированного желудка, рефлюкс эзофагиту, как фоновые состояния РЖ [18]. Изыскания в этом сложном вопросе изучением иммуноморфологии, фоновых изменений слизистой оболочки резецированного желудка сформулированы известным профессором О.К. Хмельницким.

Считалось, что резекция желудка при язвенной болезни является не только способом излечения при этих заболеваниях, но мерой профилактики ракового рождения. В настоящее время эта точка зрения пересмотрена.

При анализе факторов, способствующих возникновению рака культи желудка, отмечено влияние новых анатомических и функциональных условий после операции: рефлюкс в культи желудка желчных кислот на фоне ахилии, соков поджелудочной железы и тонкой кишки, прогрессирование атрофического гастрита, с нарушением иммунологического гомеостаза, развитием полипоза и перерождением слизистой оболочки культи желудка (Ю.И. Патютко, 1990; В.И. Парахоняк, 2000; В.И. Оноприев, 2005, 2010). После резекции желудка при язвах через 10–15 лет с высокой частотой развивается рак оставшейся культи желудка. По мнению английских гастроэнтерологов Дж.Х. Барона, Ф.Г. Муди (переводное издание по гастроэнтерологии, 1988) к группе риска относятся пациенты с резецированным желудком.

Таким образом, отнесение к ПГРС карциномы культи желудка нельзя считать ошибочным, а тенденцию к сокращению операций резекции желудка по Гофмейстеру Финстереру надо приветствовать.

Представленные соображения дают основание рассмотреть постгастрорезекционный гастрит с дисплазией эпителия II–III как предрак с формированием группы повышенного онкориска.

Методологические основы повторных реконструктивно-восстановительных операций с экстирпацией культи желудка недостаточно разработаны по аспектам:

- а) концептуального плана касающегося патогенеза рака культи желудка;
- б) онкохирургических изысканий рака резецированного желудка у пациентов, оперированных

по поводу не только язвенной болезни, но и неязвенной этиологии.

Для решения этих актуальных задач необходим комплекс серьезных, продуманных, обоснованных исследований, которые обещают будущую перспективную разработку.

Сочетание высокой частоты с недостаточной изученностью ставит опухолевые поражения оперированного желудка в ряду актуальных проблем желудочной хирургии. «Рак оперированного желудка» это не только первичный рак, резецированного желудка, по поводу язвенной болезни, но и рецидивный рак. Изучение этого вопроса также явилось одной из задач нашего исследования.

Терминологически «рецидив» заболевания означает «возврат» его. Установлено, что причиной ранних рецидивов у больных перенесших радикальную операцию, является недостаточным радикализм. Ранний рецидивный рак в культе это, прежде всего, следствие ошибок, допущенных при первичной операции.

Распространенное представление о том, что при рецидиве рака желудка после перенесенной операции нельзя помочь, пересмотрено. Более того, сегодня ставится вопрос о стандартизации и типизации повторных хирургических вмешательств при раке резецированного желудка.

Основным способом хирургического лечения рака оперированного желудка является экстирпация его культи, как правило, с последующей эзофагоэнтомоией на петле по Ру (Клименков А.А., Неред С.Н., 2004; Джурев М.Д. др., 2009; Чайка А.В. и др., 2015). Главной целью операции авторы считают радикальность, оценивая ее по продолжительности безрецидивного периода и длительной выживаемости. При этом часто игнорируют физиологичность восстановительного этапа и функциональные результаты выполненных операций.

Мы располагаем 18 клиническими наблюдениями рака резецированного желудка, мужчин было 13, женщин 5 (от 22 до 81 года) (I группа – 13 больных), оперированные по поводу язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки в отдаленные сроки от 11 до 27 лет с пятилетним сроком выживаемости у 4-х больных (30 %).

Во второй группе (n=5) с рецидивом рака желудка с нулевой 3-х летней выживаемостью. У 12 больных раком культи желудка первичной операцией была резекция желудка, одного – надплевратникова гастрэктомия, у 5-рецидив рака желудка. Среди 5 случаев с рецидивом рака желудка гистологическая картина представлена у 4-х больных – аденокарциномой, у одного – полипоз желудка. 5 больным (T3-4N2M0) выполнены комбинированные расширенные гастрозофагеальные резекции (от 4 до 7 органов).

На 18 клинических случаях смертельных случаев не было. Наиболее радикальным и онкологически оправданным вмешательством является экстирпация культи желудка. Экстирпация культи желудка была завершена наложением эзофагоэнтоанастомоза по методу Ру как наиболее рационального и целесообразного в подобной ситуации.

Рак культи желудка не имеет патогномоничных клинических признаков – первое проявление заболевания часто маскируется сопутствующими воспалительными, рубцовыми и моторно-эвакуаторными нарушениями резецированного желудка, а в целом клиническая картина рака культи желудка зависит, в

основном, лишь от стадии развития опухолевого процесса и гистроструктуры.

Следует подчеркнуть, что повторная операция, а тем более онкологическая, как правило, отличается значительной травматичностью и выполняется у весьма ослабленных больных, что всегда обуславливает большой операционный риск.

Мобилизация культи желудка вместе с опухолью, органокомплексом с соблюдением принципов онкологического радикализма. Пациенты должны быть оперированы в специализированных онкологических центрах.

ВЫВОДЫ

1. Подтверждена верность гипотезы, выдвинутой Ю.И. Фишзон-Рысс о том, что антральный гастрит после РЖ по поводу язвенной болезни проявляет тенденцию к антрокардиальной экспансии с прогрессированием атрофического гастрита, который является фоновым составляющим для развития рака культи желудка.
2. Рак культи желудка является одним из грозных осложнений, развивающихся в отдаленные сроки после резекции желудка как при язвенной, так и не язвенной этиологии.
3. Из резекционных способов предпочтительным является пилоросохраняющие операции и (или) типа Ру.
4. Ранняя диагностика в доклинической стадии со скрининговым мониторингом в группе больных резецированного желудка по истечении 10 лет и более остается сверхактуальной, т.е. возникла новая проблема, порожденная хирургией – проблема рака оперированного желудка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутушов М.В. Рак исцелим?! Таинственные причины возникновения рака. М.: АСТ, 2008. 514 с.
2. Земляной А.Г., Алиев С.А., Левашова Н.В., Шабанова Л.Ф., Шульгин В.Л. Пострезекционный гастрит в иммунологическом аспекте // Вестник хирургии имени И. И. Грекова. 1985. N 9. С. 18–20.
3. Абдурахманов Г.М., Гасангаджиева А.Г., Габиева П.И. Эколого-географическая обусловленность и прогноз заболеваемости злокачественных новообразований населения РД. Махачкала. 2009. 499 с.
4. Немцова М.В., Быков И.И., Чекунова Н.В., Залетаев Д.В., Глухов А.И., Хоробых Т.В. Системы молекулярно-генетических маркеров при раке желудка // Клиническая лабораторная диагностика. 2013. N 11. 4 с.
5. Рубцова М.П., Василькова Д.П., Малякко А.Н., Нарайкина Ю.В., Зверева М.Э., Донцова О.А. Функции теломеразы: удлинение теломер и не только // Acta Naturae. 2012. T. 4. N 2(13). 18 с.
6. Скворцов Д.А., Рубцова М.П., Зверева М.Э., Киселев Ф.Л., Донцова О.А. Регуляция теломеразы в онкогенезе // Acta Naturae. 2009. N 1. 17 с.
7. Тронько Н.Д., Черская М.С., Кухарский В.М., Красненков Д.С., Гурьянов В.Г. Высокая активность теломеразы, парасимпатии и супероксиддисмутазы-причина укорочения теломер у пациентов с церебральным атеросклерозом и сахарным диабетом // The scientific heritage. 2020. N 50. 10 с.
8. Черноусов А.Ф., Хоробых Т.В., Немцова М.В., Быков И.И. Генетика в практике хирургического лечения рака желудка. М.: Практическая медицина, 2017. 128 с.
9. Черноусов А.Ф., Хоробых Т.В., Немцова М.В., Чекунова Н., Удилова А., Вычужанин Д., Нурутдинов Р., Рогаль М. Рецидивы рака желудка у больных, перенесших его резекцию // Врач. 2013. N 6. С. 14–18.

10. Немцова М.В., Быков И.И., Чекунова Н.В., Залетаев Д.В., Глухов А.И., Хоробых Т.В. Системы молекулярно-генетических маркеров при раке желудка // Клиническая лабораторная диагностика. 2013. N 11. 4 с.
11. Решетов И.В., Быков И.И., Микерова М.С., Немцова М.В. Оценка молекулярных изменений в слизистой оболочке, приближенной к краю резекции, после оперативного лечения по поводу рака желудка // Original Researches PMJ. 2020. N 4. 3 с.
12. Ридли М. Геном: автобиография вида в 23 главах. М., 2008. 426 с.
13. Toupance S., Labat C., Temmar M., et al. Short telomeres, but not telomere attrition rates, are associated with carotid atherosclerosis // Hypertension. 2017. V. 70. P. 420–425.
14. Svinareva L.V., Glukhov A.I., Zimnik O.V. et al. The study of telomerase activity in gastric cancer // Biochem. Moscow Suppl. Ser. B. 2011. N 5. P. 188–192.
15. Саидов М.З. Клеточные и молекулярные механизмы патогенеза иммуновоспалительных ревматических заболеваний. Махачкала: Лотос, 2023. 280 с.
16. Гутина В.Н., Кузьмин В.В. Теория молекулярной диссимметрии Л.Пастера. М.: Наука, 1990. 214 с.
17. Кузнецов Ю.Н., Голубовская И.К., Кулагин А.Д. Теломеропатии как мультидисциплинарная проблема // Вестник гематологии. 2021. T. XVII. N 4. 9 с.
18. Хаитов Р.М., Кадагидзе З.Г. Иммуитет и рак. М.: ГЭОТАР-Медия, 2018. 256 с.
19. Рубцова М.П., Василькова Д.П., Малякко А.Н., Нарайкина Ю.В., Зверева М.Э., Донцова О.А. Функции теломеразы: удлинение теломер и не только // Acta Naturae. 2012. T. 4. N 2(13). 18 с.
20. Блекбёрн Э., Эпель Э. Эффект теломераз. М.: Эксмо, 2017. 380 с.
21. Ареенко А.И. Новая диагностика рака. М.: Медицина, 2004. 407 с.
22. Балабанов В., Балабанов И. Нанотехнологии: Правда и вымысел, которые потрясли мир. М.: ЭКСМО, 2010. 380 с.
23. Vivier E., Artis D., Colonna M., Diefenbach, A., Di Santo J.P., Eberl G., Koyasu S., Locksley R.M., McKenzie A.N., Mebius R.E., Powrie F., Spits H. Innate Lymphoid Cells: 10 years On // Cell. 2018. V. 174. N 5. pp. 1054–1066. DOI: 10.1016/j.cell.2018.07.017
24. Sykes S.M., Mellert H.S., Holbert M.A. et al. Acetylation of the p53 DNA-binding domain regulates apoptosis induction // Mol. Cell. 2006. V. 24. P. 841–851.
25. Werner C.M., Hecksteden A., Morsch A., et al. Differential effects of endurance, interval, and resistance training on telomerase activity and telomere length in a randomized, controlled study // Eur. Heart J. 2018. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy585
26. Кузнецов Ю.Н., Голубовская И.К., Кулагин А.Д. Теломеропатии как мультидисциплинарная проблема // Вестник гематологии. 2021. T. XVII. N 4. 9 с.

REFERENCES

1. Kutushov M.V. *Rak istselim?! Tainstvennye prichiny vozniknoveniya raka* [Will we heal cancer?! Mysterious causes of cancer]. Moscow, AST Publ., 2008, 514 p. (In Russian)
2. Zemlyanoi A.G., Aliev S.A., Levashova N.V., Shabanova L.F., Shul'gin V.L. Post-resection gastritis in the immunological aspect. *Vestnik khirurgii imeni I. I. Grekova* [Bulletin of surgery named after I. I. Grekov]. 1985, no. 9, pp. 18–20. (In Russian)
3. Abdurakhmanov G.M., Gasangadzhieva A.G., Gabibova P.I. *Ekologo-geograficheskaya obuslovlennost' i prognoz zabolevaemosti zlokachestvennykh novoobrazovaniy naseleniya RD* [Ecological and geographical conditionality and forecast of the incidence of malignant neoplasms in the population of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, 2009, 499 p. (In Russian)
4. Nemtsova M.V., Bykov I.I., Chekunova N.V., Zaltaev D.V., Glukhov A.I., Khorobykh T.V. Systems of molecular genetic markers for gastric cancer. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clinical laboratory diagnostics]. 2013, no. 11, p. 4. (In Russian)

5. Rubtsova M.P., Vasil'kova D.P., Malyavko A.N., Naraikina Yu.V., Zvereva M.E., Dontsova O.A. Telomerase functions: telomere lengthening and more. *Acta Naturae*. 2012, vol. 4, no. 2(13), p. 18. (In Russian)
6. Skvortsov D.A., Rubtsova M.P., Zvereva M.E., Kiselev F.L., Dontsova O.A. Regulation of telomerase in tumorigenesis. *Acta Naturae*. 2009, no. 1, p. 17. (In Russian)
7. Tron'ko N.D., Cherskaya M.S., Kukharskii V.M., Krasnenkov D.S., Gur'yanov V.G. High activity of telomerase, parasympathetic and superoxide dismutase is the cause of telomere shortening in patients with cerebral atherosclerosis and diabetes mellitus. The scientific heritage. 2020, no. 50, p. 10. (In Russian)
8. Chernousov A.F., Khorobykh T.V., Nemtsova M.V., Bykov I.I. *Genetika v praktike khirurgicheskogo lecheniya raka zheludka* [Genetics in the practice of surgical treatment of gastric cancer]. Moscow, Practical medicine Publ., 2017, 128 p. (In Russian)
9. Chernousov A.F., Khorobykh T.V., Nemtsova M.V., Chekunova N., Udilova A., Vyshuzhanin D., Nurutdinov R., Rogal' M. Relapses of stomach cancer in patients who underwent resection. *VRACH [DOCTOR]*. 2013, no. 6, pp. 14–18. (In Russian)
10. Nemtsova M.V., Bykov I.I., Chekunova N.V., Zaletaev D.V., Glukhov A.I., Khorobykh T.V. Systems of molecular genetic markers for gastric cancer. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clinical laboratory diagnostics]. 2013, no. 11, p. 4. (In Russian)
11. Reshetov I.V., Bykov I.I., Mikerova M.S., Nemtsova M.V. Assessment of molecular changes in the mucous membrane close to the resection margin after surgical treatment for gastric cancer. *Original Researches PMJ*. 2020, no. 4, p. 3. (In Russian)
12. Ridli M. *Genom: avtobiografiya vida v 23 glavakh* [Genome: autobiography of a species in 23 chapters]. Moscow, 2008, 426 p. (In Russian)
13. Toupance S., Labat C., Temmar M., et al. Short telomeres, but not telomere attrition rates, are associated with carotid atherosclerosis. *Hypertension*. 2017, vol. 70, pp. 420–425.
14. Svinareva L.V., Glukhov A.I., Zimnik O.V. et al. The study of telomerase activity in gastric cancer. *Biochem. Moscow Suppl. Ser. B*. 2011, no. 5, pp. 188–192.
15. Saidov M.Z. *Kletochnye i molekulyarnye mekhanizmy patogeneza immunovospalitel'nykh revmaticheskikh zabolevanii* [Cellular and molecular mechanisms of the pathogenesis of immunoinflammatory rheumatic diseases]. Makhachkala, Lotus Publ., 2023, 280 p. (In Russian)
16. Gutina V.N., Kuz'min V.V. *Teoriya molekulyarnoi dissimmetrii L.Pastera* [The theory of molecular dissymmetry by L. Pasteur]. Moscow, Science Publ., 1990, 214 p. (In Russian)
17. Kuznetsov Yu.N., Golubovskaya I.K., Kulagin A.D. Telomeropathies as a multidisciplinary problem. *Vestnik gematologii* [Bulletin of Hematology]. 2021, vol. XVII, no. 4, p. 9. (In Russian)
18. Khaikov R.M., Kadagidze Z.G. *Immunitet i rak* [Immunity and cancer]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2018, 256 p. (In Russian)
19. Rubtsova M.P., Vasil'kova D.P., Malyavko A.N., Naraikina Yu.V., Zvereva M.E., Dontsova O.A. Telomerase functions: telomere lengthening and more. *Acta Naturae*. 2012, vol. 4, no. 2(13), p. 18. (In Russian)
20. Blekbern E., Epel' E. *Effekt telomeraz* [Telomerase effect]. Moscow, Eksmo Publ., 2017, 380 p. (In Russian)
21. Ageenko A.I. *Novaya diagnostika raka* [New diagnosis of cancer]. Moscow, Medicine Publ., 2004, 407 p. (In Russian)
22. Balabanov V., Balabanov I. *Nanotekhnologii: Pravda i vymysel, kotorye potryasli mir* [Nanotechnology: Truth and fiction that shocked the world]. Moscow, EKSMO Publ., 2010, 380 p. (In Russian)
23. Vivier E., Artis D., Colonna M., Diefenbach, A., Di Santo J.P., Eberl G., Koyasu S., Locksley R.M., McKenzie A.N., Mebius R.E., Powrie F., Spits H. Innate Lymphoid Cells: 10 years On. *Cell*, 2018, vol. 174, no. 5, pp. 1054–1066. DOI: 10.1016/j.cell.2018.07.017
24. Sykes S.M., Mellert H.S., Holbert M.A. et al. Acetylation of the p53 DNA-binding domain regulates apoptosis induction. *Mol. Cell*, 2006, vol. 24, pp. 841–851.
25. Werner C.M., Hecksteden A., Morsch A., et al. Differential effects of endurance, interval, and resistance training on telomerase activity and telomere length in a randomized, controlled study. *Eur. Heart J.*, 2018. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy585
26. Kuznetsov Yu.N., Golubovskaya I.K., Kulagin A.D. Telomeropathies as a multidisciplinary problem. *Vestnik gematologii* [Bulletin of Hematology]. 2021, vol. XVII, no. 4, p. 9. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сайгид А. Алиев, Жанна А. Гасангусейнова и Камил Х. Омаров проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Saygid A. Aliev, Zhanna A. Gasanguseinova and Kamil H. Omarov analysed the data and wrote the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Сайгид А. Алиев / Saygid A. Aliev <https://orcid.org/0000-0002-7007-3737>

Жанна А. Гасангусейнова / Zhanna A. Gasanguseinova <https://orcid.org/0009-0003-5555-3665>

Камил Х. Омаров / Kamil H. Omarov <https://orcid.org/0009-0007-9470-4741>

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»

можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:

Гусейнова Надира Орджоникидзева, к.б.н., доцент, Email dagecolog@mail.ru
моб. тел. +79285375323

Иванушенко Юлия Юрьевна, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

Адрес редакции: 367001, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, тел./факс: +7(8722) 56-21-40

Учредитель (соучредители) журнала:

ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate
Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Yuliya Yu. Ivanushenko, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
tel. / fax: +7 (8722) 56-21-40

Founders of journal:

The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Издание зарегистрировано Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.

Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.

Подписано в печать 31.10.2023.

Объем 29,25.

Формат 70х90%. Печать офсетная.

Бумага офсетная № 1.

Тиражировано в типографии издательства ДГУ
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е