

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 15 № 4 2020

ISSN 1992-1098
e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.15 no. 4 2020

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, заведующий отделом экспериментального моделирования и патогенеза инфекционных заболеваний, руководитель Евразийского центра зоонозных инфекций Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины Сибирского отделения Российской академии наук, 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, кафедра экологии, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

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

Рабазанов Нухади 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, кафедра биологии и биоразнообразия, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Гусейнова Надира Орджоникидзева, кафедра биологии и биоразнообразия, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Даудова Мадина Гасан-Гусейновна, кафедра биологии и биоразнообразия, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Иванушенко Юлия Юрьевна, кафедра биологии и биоразнообразия, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Теймуров Абдулгамид Абулкасумович, кафедра биологии и биоразнообразия, 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, Department of Experimental Modeling and Pathogenesis of Infectious Diseases & Head, Eurasian Center for Zoonotic Infections, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine Siberian branch, Russian Academy of Sciences, 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, Department of Ecology, 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, Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Editorial Executive Secretaries

Aziza G. Gasangadzhieva, Department of Biology and Biodiversity, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Nadira O. Guseynova, Department of Biology and Biodiversity, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Madina G. Daudova, Department of Biology and Biodiversity, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Yuliya Yu. Ivanushenko, Department of Biology and Biodiversity, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Abdulgamid A. Teymurov, Department of Biology and Biodiversity, 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**Председатель**

Грачёв В.А., Российская экологическая академия, Экологический Фонд имени В.И. Вернадского (Москва, Россия)

Сопредседатели

Гутенев В.В., Российская академия государственной службы при Президенте РФ (Москва, Россия)

Залиханов М.Ч., Высокогорный геофизический институт (Нальчик, Россия)

Магомедов М.Д., лаборатория животных, Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Махачкала, Россия)

Матишов Г.Г., Южный научный центр Российской академии наук (Ростов-на-Дону, Россия)

Члены редакционного совета

Алекперов И.Х., Институт Зоологии Национальная академия наук Республики Азербайджан (Баку, Азербайджан)

Алексеев А.Ю., лаборатория разработки и испытаний фармакологических средств, Федеральный исследовательский центр Фундаментальной и трансляционной медицины (Новосибирск, Россия)

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

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

Замотайлов А.С., кафедра фитопатологии, энтомологии и защиты растений, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)

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

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

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

Крооненберг С.Б., Дельфтский технологический университет (Дельфт, Нидерланды)

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

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

Рабданов М.Х., Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Салманов М.А., Институт Микробиологии Национальная академия наук Республики Азербайджан (Баку, Азербайджан)

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

Фолк Хатманн, Университет Аляски в Фербенксе (Аляска, США)

Шахапсоев С.Х., кафедра ботаники, Кабардино-Балкарский государственный университет (Нальчик, Россия)

Яковенко Н.В., кафедра социально-экономической географии и регионоведения, Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия)

EDITORIAL COUNCIL**Chairman**

Vladimir A. Grachev, Russian Ecological Academy, V.I. Vernadsky Ecological Foundation (Moscow, Russia)

Co-Chairs

Vladimir V. Gutenev, Russian Academy of State Service under the President of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Mikhail Ch. Zalikhanov, High Mountain Geophysical Institute (Nalchik, Russia)

Magomedrasul D. Magomedov, Animals Laboratory, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)

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

Editorial Council Members

Ilham Kh. Alakbarov, Institute of Zoology, National Academy of Sciences, Republic of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan)

Alexander Yu. Alekseev, Laboratory for Development and Testing of Pharmacological Agents, Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine (Novosibirsk, Russia)

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

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

Aleksandr S. Zamotailov, Department of Phytopathology, Entomology and Plant Protection, Kuban State Agrarian University (Astrakhan, Russia)

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

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

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

Salomon B. Kroonenberg, Delft University of Technology (Delft, Netherlands)

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

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

Murtazali Kh. Rabadanov, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Mamed A. Salmanov, Institute of Microbiology, National Academy of Sciences, Republic of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan)

Tatyana A. Trifonova, Department of Ecology, Vladimir State University (Vladimir, Russia)

Falk Huettmann, Institute of Arctic Biology, University of Alaska Fairbanks (Alaska, USA)

Safarbi Kh. Shkhagapsoev, Department of Botany, Kabardino-Balkaria State University (Nalchik, Russia)

Nataliya V. Yakovenko, Department of Social and Economic Geography and Regional Studies, Voronezh State University (Voronezh, Russia)

ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

- Щелканов Е.М., Уколов С.С., Дунаева М.Н., Москвина Т.В., Попов И.А., Белов Ю.А.,
 Какарека Н.Н., Ганзевич А.В., Толкач В.Ф., Волков Ю.Г., Галкина И.В., Щелканов М.Ю.
 Экология рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779) как элемент их экологической пластичности.....6-20
 Востоков С.В., Гаджиев А.А., Востокова А.С., Рабазанов Н.И.
 Гребневик *Beroe* cf. *ovata* в Каспийском море. Начало нового этапа эволюции Каспийской экосистемы?.....21-35

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- Алиев Х.У., Солтанмуратова З.И., Ахмедова К.И.
 Структура и оценка состояния древесных пород буковых лесов Дагестана.....36-51

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

- Трифонов Т.А., Космачева А.Г., Чеснокова С.М.
 Влияние антибиотиков на целлюлозолитическую и нитрифицирующую активности серой лесной почвы.....52-62

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Багомаев А.А., Гусейнова Н.О.
 Выявление температурных аномалий на западном Каспии за 2017 г. по данным
 дистанционного зондирования.....63-74

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu., Shakhova N.V.
 Synopsis of the macrofungi (*Basidiomycota*) on wood of fruit trees in the Central Black Earth Region of Russia.....75-98
 Чернова О.В., Алябина И.О., Безуглова О.С., Литвинов Ю.А.
 Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей
 (на примере Ростовской области).....99-113
 Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Мишина О.Ю., Карпенко Е.В., Мосолова Н.И.
 Влияние разных агроэкологических условий юга России на качественные показатели молока-сырья.....114-125

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Раджабова Р.Т., Алексеенко Н.А., Курамагомедов Б.М., Тажудинова З.Ш., Султанов З.М.
 Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова
 Внутригорного Дагестана.....126-136

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Ахмедова Х.Г., Гаджидадаев М.З., Гаджиева У.А.
 Теоретические аспекты эффективности применения оценки экономического ущерба
 в сфере экологического аудита: проблемы и пути решения.....137-144

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Марджанян М.А., Аветисян А.А.
 Жуки-щелкуны рода *Melanotus* Eschscholtz, 1829 (Coleoptera, Elateridae) в коллекции
 Института зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии Армении.....145-151
 Кобзаренко Д.Н., Камилова А.М., Паштаев Б.Д.
 Исследование сезонных изменений частотных характеристик скорости и направления
 ветра в Приморском Дагестане.....152-160
 Обухова О.О., Трунов А.Н., Горбенко О.М., Шваюк А.П., Рябиченко Т.И.,
 Скосырева Г.А., Обухов А.В.
 Клинико-иммунологические сопоставления результатов тестирования на COVID-19
 сотрудников поликлиники крупного промышленного центра в период пандемии.....161-167
 Даудова М.Г., Багомедова Р.Б., Бекшоков К.К., Меджидова М.М.,
 Нахиташев С.М., Бекшокова П.А., Гасангаджиева А.Г.
 Влияние качества источников питьевого водоснабжения на формирование эколого-зависимой
 патологии населения Республики Дагестан.....168-176

ОЧЕРКИ УЧЕНОГО

- Костина Н.В., Лазарева Н.В., Розенберг Г.С.
 Геоинформационное картографирование в урбоэкологии (рецензия на монографии: Оценка и геоинформационное
 картографирование медико-экологической ситуации на территории города Воронежа: Сборник научных статей /
 Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 219 с.; Экологические
 риски территорий интенсивного техногенного освоения / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, Т.И. Прожорина и др. /
 Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 191 с.).....177-183

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....184

ECOLOGY OF ANIMALS

- Shchelkanov E.M., Ukolov S.S., Dunaeva M.N., Moskvina T.V., Popov I.A., Belov Yu.A., Kakareka N.N., Ganzevich A.V., Tolkach V.F., Volkov Yu.G., Galkina I.V., Shchelkanov M.Yu.*
 Echolocation of bats (Chiroptera Blumenbach, 1779) as an element of their ecological plasticity.....6-20
Vostokov S.V., Gadgiev A.A., Vostokova A.S., Rabazanov N.I.
 The ctenophore *Beroë* cf. *ovata* in the Caspian Sea. The beginning of a new stage in the evolution of the Caspian ecosystem?.....21-35

ECOLOGY OF PLANTS

- Aliev Kh.U., Soltanmuradova Z.I., Akhmedova K.I.*
 Structure and assessment of the condition of woody species in the beech forests of Dagestan, Russia.....36-51

ECOLOGY OF MICROORGANISMS

- Trifonova T.A., Kosmacheva A.G., Chesnokova S.M.*
 Effect of antibiotics on the cellulolytic and nitrification activity of gray forest soil.....52-62

GEOECOLOGY

- Bagomaev A.A., Guseynova N.O.*
 Identification of temperature anomalies in the western Caspian Sea in 2017 based on remote sensing data.....63-74

AGROECOLOGICAL ECOLOGY

- Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu., Shakhova N.V.*
 Synopsis of the macrofungi (*Basidiomycota*) on wood of fruit trees in the Central Black Earth Region of Russia.....75-98
Chernova O.V., Alyabina I.O., Bezuglova O.S., Litvinov Yu.A.
 The current state of the humus content of arable chernozems of the true steppes (the example of the Rostov region, Russia).....99-113
Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mishina O.Y., Karpenko E.B., Mosolova N.I.
 Influence of different agroecological conditions of southern Russia on quality indicators of raw milk.....114-125

METHODS OF ENVIRONMENTAL STUDIES

- Radzhabova R.T., Alekseenko N.A., Kuramagomedov B.M., Tazhudinova Z.Sh., Sultanov Z.M.*
 The use of index images for decoding the vegetation cover of inner mountain Dagestan, Russia.....126-136

GENERAL PROBLEMS

- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Akhmedova Kh.G., Gadzhidadaev M.Z., Gadzhieva U.A.*
 Theoretical aspects of the effectiveness of economic damage assessment in the field of environmental auditing: problems and solutions.....137-144

BRIEF REPORTS

- Marjanyan M.A., Avetisyan A.A.*
 Click beetles of the genus *Melanotus* Eschscholtz, 1829 (Coleoptera, Elateridae) in the collection of the Institute of Zoology of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of Armenia.....145-151
Kobzareno D.N., Kamilova A.M., Pashtaev B.D.
 Estimation of seasonal changes in the frequency characteristics of wind speed and direction in coastal Dagestan, Russia.....152-160
Obukhova O.O., Trunov A.N., Gorbenko O.M., Shvayuk A.P., Ryabichenko T.I., Skosyreva G.A., Obukhov A.V.
 Clinical and immunological comparisons of the results of testing for COVID-19 of employees of an outpatient medical organization of a large industrial centre during a pandemic.....161-167
Daudova M.G., Bagomedova R.B., Bekshokov K.K., Medzhidova M.M., Nakhibashev S.M., Bekshokova P.A., Gasangadzhieva A.G.
 Influence of the quality of drinking water supply sources on the formation of the ecologically-dependent pathology of the population of the Republic of Dagestan.....168-176

SCIENTIST'S ESSAY

- Kostina N.V., Lazareva N.V., Rosenberg G.S.*
 Geoinformation mapping in urban ecology. Review.....177-183

CONTACT INFORMATION

184

Обзорная статья / Review article
УДК 591.185.1:534.88:591.5
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-6-20

Эхолокация рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779) как элемент их экологической пластичности

Егор М. Щелканов¹, Станислав С. Уколов², Мария Н. Дунаева^{3,4}, Татьяна В. Москвина^{3,4}, Игорь А. Попов¹, Юрий А. Белов^{3,4}, Надежда Н. Какарека⁴, Анна В. Ганзевич⁵, Валентина Ф. Толкач⁴, Юрий Г. Волков⁴, Ирина В. Галкина³, Михаил Ю. Щелканов^{3,4,6,7}

¹Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

²Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

³Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

⁴Федеральный научный Центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

⁵Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Приморского края, Владивосток, Россия

⁶Национальный научный Центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия

⁷НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора, Владивосток, Россия

Контактное лицо

Михаил Юрьевич Щелканов, доктор биологических наук; заведующий лабораторией вирусологии ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук; 69022 Россия, г. Владивосток, пр-т Столетия Владивостоку, 159/1; заведующий лабораторией экологии микроорганизмов с Международным научно-образовательным Центром биологической безопасности Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета; 690091 Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, 8; ведущий научный сотрудник ННЦ морской биологии Дальневосточного отделения Российской академии наук; 690041 Россия, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17; директор НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора; 690087 Россия, г. Владивосток, ул. Сельская, 1.
Тел. +79245297109
Email adorob@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Формат цитирования

Щелканов Е.М., Уколов С.С., Дунаева М.Н., Москвина Т.В., Попов И.А., Белов Ю.А., Какарека Н.Н., Ганзевич А.В., Толкач В.Ф., Волков Ю.Г., Галкина И.В., Щелканов М.Ю. Эхолокация рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779) как элемент их экологической пластичности // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 6-20. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-6-20

Получена 20 июля 2020 г.
Прошла рецензирование 31 августа 2020 г.
Принята 12 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Цель настоящей работы заключается в кратком обобщении современных представлений о феномене эхолокации у представителей отряда рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779).

Обсуждение. В работе обсуждаются место рукокрылых среди других таксономических групп животных, имеющих способности к эхолокации, история открытия Л. Спалланцани в XVIII веке «ушного зрения» у летучих мышей, первые научно-обоснованные предположения об использовании ими ультразвука и открытие этого феномена в середине прошлого века, способы извлечения и приема ультразвука различными таксономическими группами рукокрылых, физические закономерности, лежащие в основе распространения ультразвуковых волн, характеристики возвращаемого эха и алгоритмы эхолокации у рукокрылых, эхолокационные взаимодействия между насекомоядными летучими мышами и ночными бабочками-совками, возможности ультразвукового мониторинга популяций рукокрылых.

Заключение. Включение ультразвукового мониторинга популяций рукокрылых в комплексные эколого-вирусологические исследования могло бы сформировать новую точку роста в системе обеспечения биологической безопасности, как на национальном, так и на глобальном уровнях.

Ключевые слова

Рукокрылые, Chiroptera, ультразвук, эхолокация, ультразвуковой мониторинг.

Echolocation of bats (Chiroptera Blumenbach, 1779) as an element of their ecological plasticity

Egor M. Shchelkanov¹, Stanislav S. Ukolov², Maria N. Dunaeva^{3,4}, Tatyana V. Moskvina^{3,4}, Igor A. Popov¹, Yury A. Belov^{3,4}, Nadezhda N. Kakareka⁴, Anna V. Ganzevich⁵, Valentina F. Tolkach⁴, Yury G. Volkov⁴, Irina V. Galkina³ and Mikhail Yu. Shchelkanov^{3,4,6,7*}

¹Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

³Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

⁴Federal Scientific Centre of Eastern Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

⁵Ministry of Forestry and Fauna Protection, Primorsky Territory, Vladivostok, Russia

⁶National Scientific Centre of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

⁷G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Russian Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (ROSTREBNADZOR), Vladivostok, Russia

Principal contact

Mikhail Yu. Shchelkanov, Doctor of Sciences in Biology; Chief, Laboratory of Virology, Federal Scientific Centre of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 159/1 Stoletiya Vladivostoku Pr., Vladivostok, Russia 690022; Chief, Laboratory of Microorganism Ecology, International Scientific and Educational Centre for Biological Security, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University; 8 Sukhanova St, Vladivostok, Russia 690091; Lead Researcher, Laboratory of Marine Mammals, National Scientific Centre of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 17 Palchevskogo St, Vladivostok, Russia 690041; Head, G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Russian Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (ROSTREBNADZOR); 1 Selskaya St, Vladivostok, Russia 690087.

Tel. +79245297109

Email adorob@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

How to cite this article

Shchelkanov E.M., Ukolov S.S., Dunaeva M.N., Moskvina T.V., Popov I.A., Belov Yu.A., Kakareka N.N., Ganzevich A.V., Tolkach V.F., Volkov Yu.G., Galkina I.V., Shchelkanov M.Yu. Echolocation of bats (Chiroptera Blumenbach, 1779) as an element of their ecological plasticity. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 6-20. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-6-20

Received 20 July 2020

Revised 31 August 2020

Accepted 12 September 2020

Abstract

Aim. The aim of this work was to briefly summarize the current understanding of the phenomenon of echolocation in the order of bats (Chiroptera Blumenbach, 1779).

Discussion. The paper discusses: the place of bats among other taxonomic groups of animals that have the ability of echolocation; the history of the discovery of "ear vision" in bats by L. Spallanzani in the 18th century; the first scientifically based assumptions regarding the use of ultrasound by bats and the discovery of this phenomenon in the middle of the last century; methods for emitting and receiving ultrasound by various taxonomic groups of bats; physical patterns underlying the propagation of ultrasonic waves; characteristics of the returned echo and algorithms for echolocation in bats; echolocation interactions between insectivorous bats and nocturnal moths and possibilities for ultrasonic monitoring of bat populations.

Conclusion. The inclusion of ultrasound monitoring of bat populations in integrated ecological and virological studies could form a new point of growth in systems to ensure biological security at both national and global levels.

Key Words

Bats, Chiroptera, ultrasound, echolocation, ultrasound monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Пандемия коронавирусного заболевания 2019 г. (COVID-19 – coronavirus disease 2019) ¹, этиологически связанная с коронавирусом тяжелого острого респираторного синдрома 2-го типа (SARS-CoV-2 – severe acute respiratory syndrome-related virus 2) (Nidovirales: Coronaviridae, *Betacoronavirus*, подрод *Sarbecovirus*) [1; 2], в очередной раз привлекла внимание к естественному резервуару этого природно-очагового вируса – представителям отряда рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779) [1; 3].

Смертельно опасные первичные вирусные пневмонии коронавирусной этиологии [4; 5], связанные с рукокрылыми, находятся в центре внимания эпидемиологов, начиная с 2002 г., когда в южных провинциях Китайской Народной Республики (КНР) был открыт коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома (SARS-CoV – severe acute respiratory syndrome-related virus) (Nidovirales: Coronaviridae, *Betacoronavirus*, подрод *Sarbecovirus*) [6; 7]. Коронавирус ближневосточного респираторного синдрома (MERS-CoV – Middle East respiratory syndrome-related virus) (Nidovirales: Coronaviridae, *Betacoronavirus*, подрод *Merbecovirus*), впервые изолированный в 2012 г. в западной части Аравийского полуострова и вызывающий многочисленные завозные случаи по всему миру [8; 9], позволил сделать заключение о том, что особо опасные коронавирусы не являются эндемиками Юго-Восточной Азии. Современная пандемия, связанная с SARS-CoV-2 [1; 2], заставила повсеместно включить рукокрылых в плановые эколого-вирусологические исследования (ранее такие предложения [10] не получали поддержки), в силу необходимости, во-первых, идентифицировать новые вирусы, потенциально способные преодолеть межвидовой барьер и проникнуть в человеческую популяцию; во-вторых, изучить возможность формирования вторичных природных очагов SARS-CoV-2 вне естественных природных очагов на территории Юго-Восточной Азии.

В этих условиях большое значение для планирования полевых исследований и корректной реконструкции схем циркуляции вирусов в популяциях рукокрылых имеют их экологические характеристики. Одной из основных экологических особенностей этого уникального отряда млекопитающих – помимо способности к активному полёту – является способность к эхолокации. Данные, накопившиеся при изучении этого феномена за последние пару десятилетий, и колоссальный прогресс в цифровых технологиях обработки сигналов позволяют вывести изучение динамики популяций рукокрылых на качественно новый уровень.

ОБСУЖДЕНИЕ

Животные, использующие эхолокацию, по крайней мере, часть жизни проводят в темноте или полумраке: например, обитают под землей или в воде, занывая на глубину или к мутному придонному

слою; активны в сумерках или ночью; используют в качестве убежищ норы или пещеры. Способность к эхолокации в настоящее время описана для рукокрылых [11-13], китообразных (Cetacea Brisson, 1762) [12; 14], настоящих (Phocidae Gray, 1821) и ушастых (Otariidae Gray, 1825) тюленей [13; 14], землеройковых (Soricidae Fischer G., 1817) [13; 15], тенреков (Tenrecidae Gray, 1821) [16], гуахаро (*Steatornis caripensis* Humboldt, 1817) и саланганов (*Collocalia* Gray J.E., 1840) [17], ночных бабочек-совок (Noctuidae Latreille, 1809) [18; 19]. Вероятнее всего, этот список будет расширяться, однако рукокрылые являются, во-первых, наиболее умелыми «эхолокаторами», а во-вторых именно на примере этих животных был впервые описан эффект эхолокации, который в настоящее время используется во многих технических устройствах.

Суть эхолокации заключается в установлении положения и движения объекта на основании анализа характеристик отраженных от него звуковых сигналов – их задержки и/или доплеровского смещения частоты (рис. 1). Разумеется, мозг животных получает необходимую информацию не на основании вычислений, а рефлекторно, однако является этот навык врожденным или приобретаемым до сих пор не вполне ясно.

Открытие роли слуха для ориентации рукокрылых в темноте было сделано в XVIII веке, однако потребовалось ещё почти два столетия, чтобы прояснить детали этого механизма. Но даже сегодня алгоритмы использования эхолокации этими животными изучены далеко не полностью.

Первым, кто установил, что ориентация рукокрылых в темноте связана со слухом, а не с повышенной фоточувствительностью глаз, был итальянский физик и натуралист Ладзаро Спалланцани (1729-1799): летучие мыши, лишённые возможности использовать зрение, через несколько суток имели столь же наполненный насекомыми желудок, как и их зрячие сородичи, а вот с плотно залепленными ушами летучие мыши становились в темноте полностью беспомощными [20]. Спалланцаниевское «ушное зрение» рукокрылых было воспринято современниками учёного скептически и вызвало многочисленные насмешки.

Физически обоснованная гипотеза о механизме эхолокации рукокрылых была впервые сформулирована Хайремом Стивенсом Максимом (1840-1916) – гениальным английским инженером, изобретателем бездымного пороха, скорострельного пулемёта, электрической лампочки (параллельно с А.Н. Лодыгиным и Т.А. Эдисоном), усовершенствованной мышеловки, щипцов для завивки волос и многого другого. После знаменитого крушения «Титаника» в 1912 г. Х.С. Максим решил разработать сигнальное устройство для предотвращения столкновений судов с айсбергами, выбрав в качестве модели для подражания летучих мышей, впечатлившись их способностью не наткнуться на препятствия даже в полной темноте. Идея эхолокации Х.С. Максима

¹ Пандемия COVID-19 официально объявлена Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) 11.03.2020 [1; 2].

была верной, хотя он ошибочно полагал, что летучие мыши используют звуковые волны с частотой

$f = 10 - 15 \Gamma\text{ц}$, источником которых являются движения крыльев во время полёта [21].

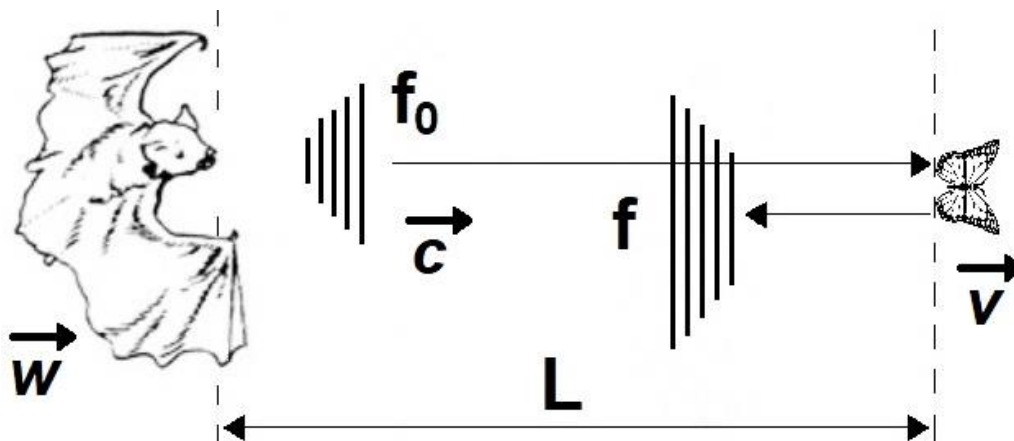


Рисунок 1. Принципы эхолокации: определение расстояния (L) до препятствия по задержке отражённого сигнала (см. (8)) и / или определение скорости объекта по доплеровскому смещению частоты отражённого сигнала (f) по сравнению с частотой испущенного сигнала (f_0) (см. (19)).

Figure 1. Principles of echolocation: determining the distance (L) to the obstacle by the delay of the reflected signal (see (8)) and / or determining the speed of the object by the Doppler shift of the frequency of the reflected signal (f) compared to the frequency of the emitted signal (f_0) (see (19)).

Гипотеза об использовании рукокрылыми ультразвука для ориентирования в пространстве была впервые сформулирована английским нейрофизиологом Гамильтоном Хартриджем (1886-1976) в 1920 г. [22]. В 1938 г. американские биофизики Джордж Пирс (1872-1956), Роберт Галамбос (1914-2010) и Дональд Гриффин (1915-2003), работавшие тогда в Гарвардском университете, с помощью специальной акустической аппаратуры доказали наличие у летучих мышей эхолокации на частотах $f = 30 - 120 \text{ кГц}$, превышающих диапазон слышимости человеческого уха ($f = 20 \text{ Гц} - 20 \text{ кГц}$) [11; 23; 24].

Способы извлечения ультразвука различаются у различных таксономических групп рукокрылых.

Развитие эхолокационных способностей наложило свой отпечаток и на строение гортани представителей подотряда летучих мышей (Microchiroptera Dobson, 1875), которая имеет непропорционально большие размеры, окостенение и частичное слияние структур гортани, мощное развитие мускулатуры, высокий уровень подвижности крикотириеонидной связки и надгортанного хряща [25]. Гладконосые летучие мыши (*Vespertilionidae* Gray, 1821) испускают ультразвуковые сигналы через ротовую полость, а подковоносые летучие мыши (*Rhinolophidae* Gray, 1825) – через нос, что находит своё отражение не только в форме носа и наличии характерных околоносовых кожных складок у подковоносых, но и в топологии полости носа, и в микроструктуре слизистых [26-28].

По имеющимся данным, представители подотряда крыланов (*Megachiroptera* Dobson, 1875) в большинстве своём вообще не используют ультразвуковую эхолокацию: исключение составляют лишь

летучие собаки (*Rousettus* Gray, 1821), макрогlossусы (*Macroglossus* Cuvier F., 1824) и циноптерусы (*Cynopterus* Cuvier F., 1824), которые производят пощёлкивания либо основанием языка, либо с помощью крыльев (вероятнее всего – костями запястья) [29; 30]. При этом используемые крыланами частоты составляют $f = 10 - 70 \text{ кГц}$, что намного превосходит значения, которые согласно гипотезе Х.С. Максима извлекают с помощью крыльев рукокрылые [21]. Самцы некоторых видов крыланов – например, молотоголовых крыланов (*Hypsignathus monstrosus* Allen H., 1861) – имеют гипертрофированные щитовидный и перстневидный хрящи (настолько мощные, что серьёзно поджимают другие внутренние органы), а по бокам глотки имеются выходы в носоглотку, которые соединены с усиливающими звук резонаторными камерами – однако они не используют глотку для извлечения ультразвуковых сигналов, а всего лишь издают громкие «трели» во время брачного «токования» [31].

Физические закономерности, лежащие в основе распространения ультразвуковых волн, позволяют выявить ряд преимуществ их использования для эхолокации.

Скорость звука c в идеальном газе не зависит от частоты звуковых волн и определяется исключительно термодинамическими свойствами газа [32]:

$$c = \sqrt{\frac{RT\gamma}{\mu}}, \quad (1)$$

где $R \approx 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; $\gamma = C_P/C_V \approx 1,4$ – адиабатическая постоянная

воздуха (C_p – изобарическая теплоёмкость, C_v – изохорическая теплоёмкость); $\mu \approx 28,8 \text{ г/моль}$ – молярная масса воздуха². Учитывая взаимосвязь между скоростью звука (c), длиной звуковой волны (λ) и частотой (f)

$$c = \lambda \cdot f, \quad (2)$$

с увеличением частоты уменьшается длина волны: при $f = 15 \text{ ГГц}$ (частота «Максимовской гипотезы», ниже предела слышимости человеческого уха) длина волны в воздухе составляет $\lambda \approx 22,9 \text{ м}$; при $f = 440 \text{ ГГц}$ (нота «Ля» первой октавы) $\lambda \approx 78 \text{ см}$; при $f = 20 \text{ кГц}$ (верхний предел слышимости человеческого уха) $\lambda \approx 1,7 \text{ см}$; при $f = 30 \text{ кГц}$ и $f = 120 \text{ кГц}$ (в пределах которых чаще всего работают «эхолокаторы» рукокрылых) $\lambda \approx 1,1 \text{ см}$ и $\lambda \approx 3 \text{ мм}$.

Акустическим волнам подобно всем другим волновым процессам присуще явление дифракции – огибания препятствий без отражения, размеры которых меньше длины волны. Поэтому чем меньше длина звуковой волны (выше частота), тем более детализированное представление об окружающих предметах можно получить с помощью эхолокации. Эксперименты показывают, что разрешающая способность эхолокатора летучих мышей составляет величину порядка 1 мм [33].

Второе преимущество при использовании ультразвука заключается в возможности посылать импульсы направленными пучками. Когда размер источника акустических волн (s) меньше длины волны (λ), т.е. $s < \lambda$, волны представляют собой вложенные поверхности. В идеале, когда $s \ll \lambda$, и источник можно считать материальной точкой, акустические волны представляют собой концентрические сферы (рис. 2.А). Например, человеческая речь укладывается в диапазон $f = 80\text{--}300 \text{ Гц}$, т.е. $\lambda = 1,1\text{--}4,3 \text{ м}$, что значительно превышает длину голосовых связок ($s = 10\text{--}30 \text{ мм}$). Вот почему слышать голос собеседника можно, даже находясь у него за спиной (такая особенность генерирования звуков важна для стадных животных, к каковым относится и *Homo sapiens sapiens* L., 1758). В случае $s \sim \lambda$ звуковые волны посылаются в форме уплощённого фронта (рис. 2.Б), который можно превратить в узконаправленные пучки.

Ультразвук, издаваемый летучими мышами в процессе эхолокации, укладывается в диапазон $f = 30\text{--}80 \text{ кГц}$, $\lambda = 4\text{--}11 \text{ мм}$, что сопоставимо с размерами источника звуковых волн ($s = 2\text{--}8 \text{ мм}$) (см. рис. 3). Здесь уместно напомнить (см. выше), что гортань у летучих мышей сильно увеличена [25] – это отмечали исследователи ещё задолго до открытия эхолокации. Формированию направленности ультразвуковых сигналов служит своеобразный «рупор», образованный губами или носовыми складками. Для

крыланов – тех из них, которые обладают способностью издавать ультразвуки пощёлкиванием либо основанием языка, либо костями запястья: $f = 10\text{--}70 \text{ кГц}$, $\lambda = 5\text{--}34 \text{ мм}$. В этом случае тоже $s \sim \lambda$. Направленные звуковые сигналы позволяют точнее позиционировать объекты, от которых происходит отражение³. Кроме того, направленные пучки позволяют эффективнее использовать для ориентации явление реверберации – последовательного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях.

Коэффициент затухания звуковой волны прямо пропорционален квадрату её частоты, поэтому ультразвук быстро затухает. В этом заключается его третье преимущество для эхолокации на небольшие расстояния (не более 40 м; насекомых летучие мыши засекают за 3–5 м) – отсутствуют лишние, создающие помехи, отражательные сигналы. Вместе с тем, рукокрылым приходится поддерживать очень высокую громкость⁴ ультразвука: 60–140 дБ.

Ультразвук эффективно поглощается шерстным покровом, в том числе – волосами человека. По этой причине летучие мыши часто врезаются в голову человека в погоне за выходящими вокруг него насекомыми, что может закончиться оцарапыванием, ослонением и заражением человека вирусами, содержащимися в слюне [34; 35].

Характеристики возвращаемого эха проще всего начать анализировать с времени его возвращения после испускания (обозначим его T), при условии, что скорость рукокрылого равна w , скорость бабочки v , расстояние между ними L , скорость звука c (рис. 1).

Рассмотрим задачу с точки зрения рукокрылого, привязав к нему систему координат (начало отсчёта совпадает с рукокрылым, координатная ось направлена в сторону преследуемой бабочки – см. рис. 1). Введём дополнительные обозначения: T_D – время, за которое звуковой сигнал достигает бабочки; T_R – время, за которое отражённый сигнал возвращается к источнику. Разумеется,

$$T_D + T_R = T. \quad (3)$$

В выбранной системе координат рукокрылое покоится, скорость бабочки равна $(v - w)$, скорость звука равна $(c - w)$, откуда T_D определяется из уравнения:

$$(c - w) \cdot T_D = L + (v - w) \cdot T_D. \quad (4)$$

² В частности, при $T = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$ с помощью формулы (1) получаем следующее значение скорости звука в воздухе:

$$c \approx \sqrt{\frac{1013,25 \cdot 10^3}{28,8}} \cdot \sqrt{\frac{1,4}{\text{моль} \cdot \text{К}}} \approx \sqrt{118,36} \cdot \sqrt{\frac{1000}{\text{сек}^2}} \approx 344 \text{ м/сек}$$

³ Очень часто в популярной литературе ультразвуковые волны, испускаемые летучими мышами, ошибочно изображают в форме фрагментов концентрически расходящихся окружностей. Направленные пучки испускаемых этими животными сигналов правильнее изображать в форме уплощённых фронтов (рис. 1, 2).

⁴ Для сравнения: болевой порог для человеческого уха в пределах его слышимости 120 дБ.

Для отражённого сигнала относительная скорость составляет $(c + w)$:

$$L + (v - w) \cdot \tau_D - (c + w) \cdot \tau_R = 0. \quad (5)$$

Система трёх уравнений (3), (4), (5) содержит три переменные (τ_D , τ_R , τ) и позволяет найти τ в явном виде:

$$\tau_D = \frac{L}{c - v}. \quad (6)$$

$$\tau_R = \frac{L(c - w)}{(c + w)(c - v)}. \quad (7)$$

$$\tau = \frac{2cL}{(c + w)(c - v)}. \quad (8)$$

С точки зрения бабочки – если связать с ней систему координат (поместить ее в начало координат, а ось направить от рукокрылого в сторону бабочки):

$$\begin{cases} -L + (c - v) \cdot \tau_D = 0 \\ -(c + v) \cdot \tau_R = -L + (w - v) \cdot \tau_D + (w - v) \cdot \tau_R \\ \tau_D + \tau_R = \tau \end{cases} \quad (9)$$

С точки зрения стороннего неподвижно стоящего на земле наблюдателя (если направить ось координат от рукокрылого в сторону бабочки, а начало координат выбрать посередине отрезка,

соединяющего рукокрылого и бабочку в начальный момент времени):

$$\begin{cases} -\frac{L}{2} + c\tau_D = \frac{L}{2} + v\tau_D \\ \frac{L}{2} + v\tau_D - c\tau_R = -\frac{L}{2} + \omega(\tau_D + \tau_R) \\ \tau_D + \tau_R = \tau \end{cases} \quad (10)$$

Легко видеть, что выражения (6), (7), (8) являются решением и системы (9), и системы (10).

Искомую формулу (8) можно упростить, учитывая, что

$$v < w \ll c \quad (11)$$

Левая часть неравенства (11) вполне очевидна, поскольку является необходимым условием поимки насекомых, которыми питается большинство видов летучих мышей и некоторые виды крыланов. Правая часть (11) подтверждается экспериментальными данными [33; 36; 37] (табл. 1). С учётом (11) выражение (8) принимает вид:

$$\tau \approx \frac{2L}{c}. \quad (12)$$

В том случае, когда хищник и жертва неподвижны, (12) становится точной и вполне тривиальной.

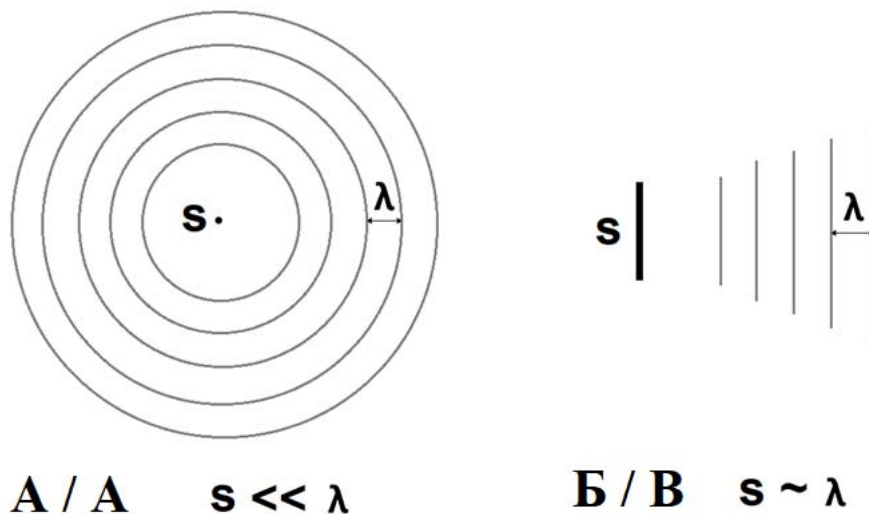


Рисунок 2. Форма звуковой волны при различных соотношениях характерного размера излучателя (s) и длины волны (λ): **А** – случай $s \ll \lambda$; **Б** – случай $s \sim \lambda$

Figure 2. Shape of sound wave at different ratios of the characteristic size of the emitter (s) and the wavelength (λ): **A** – the case of $s \ll \lambda$; **B** – the case of $s \sim \lambda$

Выведем теперь формулу для доплеровского изменения частот отражённого сигнала (f) по сравнению с испущенным сигналом (f_0) для нашего случая (рис. 1) с помощью формулы (8). Начнём отсчитывать время от начала испускания звука на частоте f_0 и выделим в серии звуковых волн i -ую и $(i + 1)$ -ую; пусть τ_i и τ_{i+1} – время возвращения эха этих

волн после отражения от бабочки. Если представить, что хищник и жертва покоятся ($w = v = 0$), то:

$$\tau_i = \frac{i - 1}{f_0} + \frac{2L}{c}; \quad (13)$$

$$\tau_{i+1} = \frac{i}{f_0} + \frac{2L}{c}; \quad (14)$$

$$\frac{1}{f} - \tau_{t+1} - \tau_t = \frac{i}{f_0} + \frac{2L}{c} - \frac{i-1}{f_0} - \frac{2L}{c} - \frac{1}{f_0}, \quad (15)$$

т.е. частоты испущенного сигнала и возвратившегося эха равны. Рассмотрим теперь случай, когда $w \neq 0$, $v \neq 0$, и необходимо использовать формулу (8), учтя, что за время $1/f_0$, прошедшее между испусканием двух соседних звуковых волн, расстояние между хищником и жертвой изменилось на $(v-w)/f_0$, т.е.

$$\tau_t = \frac{i-1}{f_0} + \frac{2cL}{(c+w)(c-v)}; \quad (16)$$

$$\tau_{t+1} = \frac{i}{f_0} + \frac{2c(L + \frac{v-w}{f_0})}{(c+w)(c-v)}; \quad (17)$$

$$\frac{1}{f} = \tau_{t+1} - \tau_t = \frac{1}{f_0} - \frac{2c(w-v)}{f_0(c+w)(c-v)} \quad (18)$$

откуда

$$f = f_0 \cdot \frac{(c+w)(c-v)}{(c-w)(c+v)} \quad (19)$$

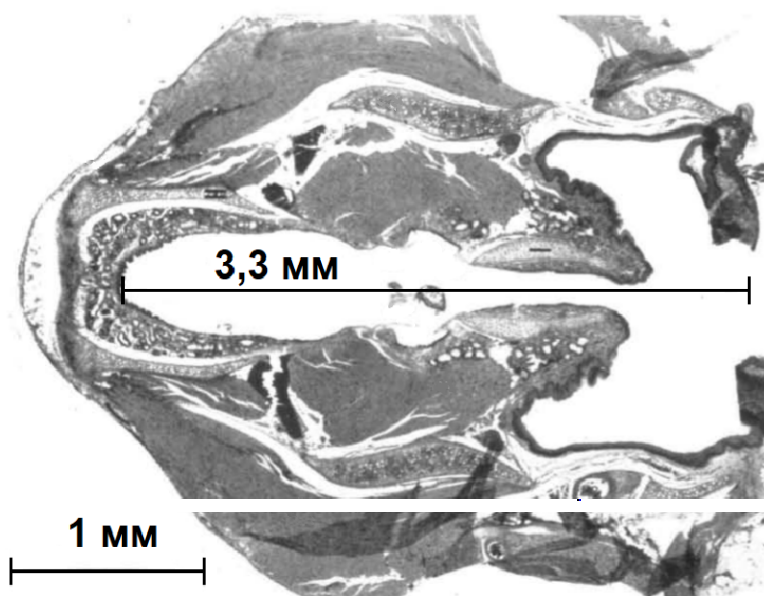


Рисунок 3. Разрез гортани большого бурого кожана (*Eptesicus fuscus* Beauvois, 1796) (по данным [25])

Figure 3. Section of larynx of the big brown bat (*Eptesicus fuscus* Beauvois, 1796) (according to [25])

Таблица 1. Характерные скорости полёта некоторых видов летучих мышей [33; 37-39]

Table 1. Characteristic flight speeds of some bat species [33; 37-39]

Вид рукокрылых Bat species	Семейство Family	Скорость / Speed	
		км/ч km/h	м/сек m/sec
Обыкновенный, или бурый, ушан (<i>Plecotus auritus</i> L., 1758)	<i>Vespertilionidae</i> Gray, 1821	15	4,2
Пальмовый, или соломенноцветный, крылан (<i>Eidolon helvum</i> Kerr, 1792)	<i>Pteropodidae</i> Gray, 1821	15	4,2
Большая, или серая, ночница (<i>Myotis myotis</i> Borkhausen, 1797)	<i>Vespertilionidae</i> Gray, 1821	20	5,6
Рыжая вечерница (<i>Nyctalus noctula</i> Schreber, 1774)	<i>Vespertilionidae</i> Gray, 1821	50	13,9
Большой бурый кожан (<i>Eptesicus fuscus</i> Beauvois, 1796)	<i>Vespertilionidae</i> Gray, 1821	60	16,7
Обыкновенный длиннокрыл (<i>Miniopterus schreibersii</i> Kuhl, 1817)	<i>Vespertilionidae</i> Gray, 1821	70	19,4
Бразильский складчатогуб ⁵ (<i>Tadarida brasiliensis</i> Geoffroy I., 1824)	<i>Molossidae</i> Gervais, 1856	100	27,8

⁵ Согласно данным [38], пиковые скорости этого вида летучих мышей могут достигать 44,5 м/сек, или 160,2 км/ч, что выводит его на первое место среди всех животных по горизонтальной скорости перемещения, обходя по этому показателю чёрного стрижа (*Apus apus* L., 1758) (120 км/ч).

При условии (11), выражение (19) можно упростить:

$$\frac{f}{f_0} = \frac{\left(1 + \frac{w}{c}\right)\left(1 - \frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{w}{c}\right)\left(1 + \frac{v}{c}\right)} = \left(1 + 2\frac{w}{c} + o\left(\frac{w}{c}\right)\right)\left(1 - 2\frac{v}{c} + o\left(\frac{v}{c}\right)\right) \approx 1 + 2\frac{w-v}{c} \quad (20)$$

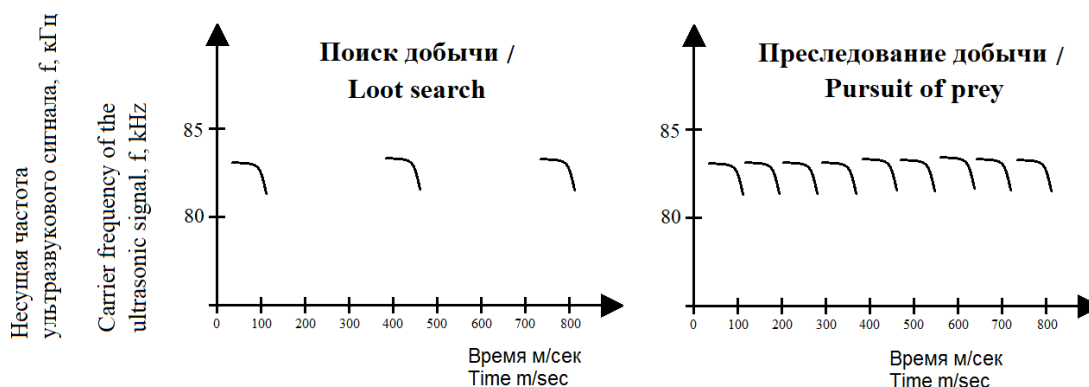
Таким образом, если хищник имеет шанс догнать жертву (левая часть (11) выполняется), то частота возвратившегося эха выше частоты испущенного сигнала, и наоборот.

Алгоритмы использования эхолокации рукокрылыми в настоящее время выяснены лишь на уровне общих принципов [11-13; 24; 33; 36] и нуждаются в дальнейшей верификации по отношению к конкретным таксономическим группам.

Ультразвуковые импульсы излучаются с частотой $F = 5 - 15 \text{ сек}^{-1}$ (примерно по одному на

каждый взмах)⁶. Длительность импульсов обычно не превышает 30 м/сек (в подавляющем большинстве случаев 5-10 м/сек; у подковоносов *Rhinolophus lacedpede*, 1799 может достигать 70 м/сек), а их частотное наполнение зависит от вида животного и может изменяться (чаще всего в конце импульса частота падает на 10-20 кГц). Приближаясь к добыче или препятствию, животное увеличивает частоту посылаемых импульсов (у некоторых видов – до 200 сек⁻¹), что часто сопровождается некоторым сокращением их продолжительности (рис. 4).

Rhinolophus ferrumequinum



Pipistrellus pipistrellus



Рисунок 4. Сонограмма (распределение посылаемых звуковых импульсов по времени и частоте) большого подковоноса (*Rhinolophus ferrumequinum* Schreber, 1774) [33] и нетопыря-карлика (*Pipistrellus pipistrellus* Schreber, 1774) [36]

Figure 4. Sonogram (time and frequency distribution of emitted sound pulses) of the greater horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum* Schreber, 1774) [33] and common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus* Schreber, 1774) [36]

⁶ Не следует путать частоту испускания импульсов F и несущую частоту ультразвука f внутри каждого импульса.

Ушные раковины рукокрылых как приёмники отражённых ультразвуковых сигналов обладают значительным разнообразием [37; 39]. Это объясняется большим количеством схем использования ультразвука для эхолокации у представителей различных видов, а также значительным влиянием ушных раковин на аэродинамические свойства животного.

Строение ушных раковин рукокрылых представлено на рис. 5. Понятно, что строение ушных раковин тех таксонов, которые используют эхолокацию, подчинено задаче обработке отражённых звуковых волн. Эта задача представляется даже более важной, нежели даже оптимизация аэродинамических свойств. Например, ушаны (*Plecotus* Geoffroy E., 1818) вынуждены не только учитывать заметную парусность ушных раковин во время полёта, но и специальным образом укладывать их за спину на отдыхе [39]. При этом ушаны с их выдающимися ушными раковинами имеют относительно невысокие скорости полёта; и наоборот – длиннокрылы (*Miniopterus* Bonaparte, 1837), демонстрирующие высокие скорости, обладают небольшими ушными раковинами (табл. 1).

Отчётливо выделяющийся у многих таксонов гребешок ушной раковины (рис. 5), по-видимому, играет роль настраиваемой акустической линзы Френеля, позволяющий сузить волновой пучок,

направляемый в ушной проход, а козелок и противокозелок выступают в качестве дополнительных отражающих элементов [40] (рис. 6).

Эхолокационные взаимодействия между насекомоядными летучими мышами и ночными бабочками-совками, которые тоже способны ориентироваться с помощью эхолокации (а, следовательно – воспринимать ультразвуковые сигналы) носят сложный характер и отчасти воспроизводят взаимодействия современных систем вооружения, снабженных радиолокационными установками. При этом насекомые находятся в более выигрышном положении, поскольку для реагирования им достаточно услышать испускаемый сигнал, который распространяется на 20-40 м, а летучим мышам необходимо уловить и настроиться на поимку насекомого (что обычно происходит с расстояния 3-5 м). Разные виды совков, услышав ультразвуковые сигналы летучих мышей, реагируют либо складыванием крыльев и падением на землю, либо сложными манёврами, а некоторые несъедобные виды даже подают ответные сигналы, свидетельствующие о том, что их не следует употреблять в пищу. Однако собственная система эхолокации может, в свою очередь, выдать местоположение бабочки и нацелить на себя хищника [41].

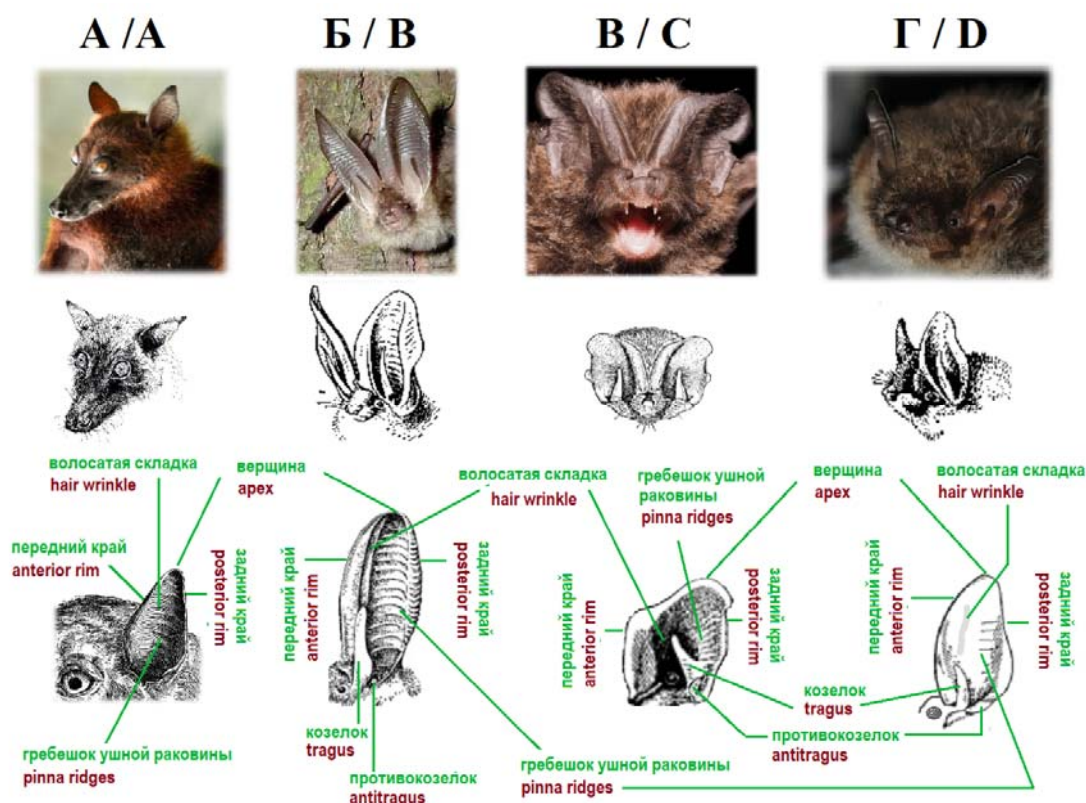


Рисунок 5. Элементы ушной раковины рукокрылых: А – гигантская летучая лисица, или калонг (*Pteropus vampyrus* L., 1758); Б – обыкновенный, или бурый, ушан (*Plecotus auritus* L., 1758); В – европейская широкоушка (*Barbastella barbastellus* Schreber, 1774); Г – прудовая ночница (*Myotis dasycneme* Boie, 1825)
Figure 5. Elements of the ear shell of bats: А – the greater flying fox or kalong (*Pteropus vampyrus* L., 1758); Б – common or brown long-eared bat (*Plecotus auritus* L., 1758); В – western barbastelle (*Barbastella barbastellus* Schreber, 1774); Д – pond bat (*Myotis dasycneme* Boie, 1825)

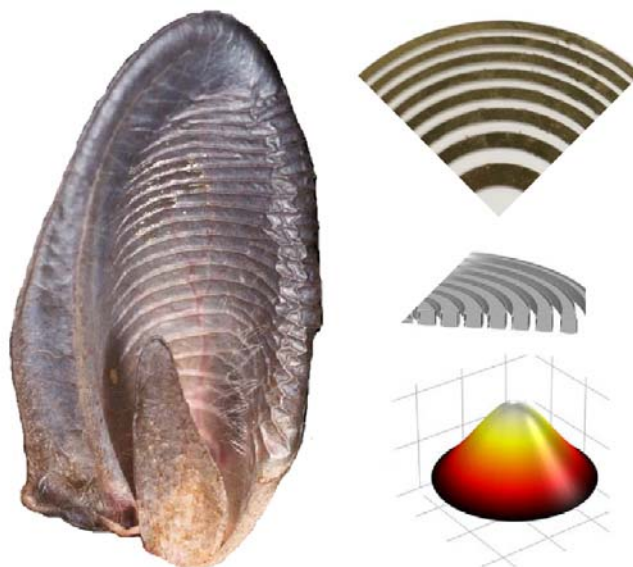


Рисунок 6. Подобие складок гребешка ушной раковины рукокрылых и валиков акустической линзы Френеля
Figure 6. Similarity of ridges of the pinna of a bat's ear and the rings of an acoustic Fresnel acoustic lens

Ультразвуковой мониторинг популяций рукокрылых основывается на анализе их эхолокационных сигналов, различиях в форме этих сигналов (рис. 4) и возможностях современной цифровой аппаратуры обработки акустических данных. Это направление исследований, активно развивающееся с конца прошлого века, позволяет надежно оценить видовое разнообразие и плотность популяций рукокрылых в период их активности на конкретной территории [36; 42; 43]. Более того, информация о популяционных характеристиках летучих мышей может быть использована как индикатор качества окружающей среды [44].

Практическое использование технологии ультразвукового мониторинга нуждается в стандартных библиотеках референтных сигналов. В настоящее время в рамках международной программы глобального мониторинга распространения рукокрылых iBats (Indicator Bats Program) на регулярной основе пополняется база данных ультразвуковых сигналов [45]. Уже сейчас становится понятно, что эти сигналы могут различаться не только в зависимости от вида рукокрылых, но и иметь географические и межпопуляционные особенности, что требует тонкой настройки технологий распознавания – например, на основе нейронных сетей [46]. В Российской Федерации подобного рода исследования проводятся в европейской части страны [43; 44], но их масштаб на территории Северной Азии сегодня совершенно недостаточен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Способность к эхолокации, которая обеспечивается серьёзными морфофункциональными перестройками гортани и слухового аппарата, представляет собой важный элемент повышения экологической пластичности рукокрылых. Испускаемые ультразвуковые сигналы обладают видовой и индивидуальной специфичностью, а также изменяются в зависи-

мости от типа активности животного. Этот феномен может быть использован для оценки популяционных характеристик рукокрылых. Включение ультразвукового мониторинга в комплексные эколого-вирусологические исследования могло бы сформировать новую точку роста в системе обеспечения биологической безопасности, как на национальном, так и на глобальном уровне.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-04-60212 «Комплексный эколого-вирусологический мониторинг коронавирусов в экосистемах Дальнего Востока» и государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-00337-20-02, проект № 0714-2020-0006).

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by RFBR grant 20-04-60212 "Integrated ecological and virological monitoring of coronaviruses in the ecosystems of the Far East" and State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement No. 075-00337-20-02, project No. 0714-2020-0006).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щелканов М.Ю., Попова А.Ю., Дедков В.Г., Акимкин В.Г., Малеев В.В. История изучения и современная классификация коронавирусов (Nidovirales: Coronaviridae) // Инфекция и иммунитет. 2020. Т. 10. N 2. С. 221-246. DOI: 10.15789/2220-7619-HOI-1412
2. Щелканов М.Ю., Колобухина Л.В., Бургасова О.А., Кружкова И.С., Малеев В.В. COVID-19: этиология, клиника, лечение // Инфекция и иммунитет. 2020. Т. 10. N 3. С. 421-445. DOI: 10.15789/2220-7619-CEC-1473

3. Шестопапов А.М., Кононова Ю.В., Гаджиев А.А., Гуляева М.А., Васфи М.М., Алексеев А.Ю., Джамалутдинов Д.М., Щелканов М.Ю. Биоразнообразие и эпидемический потенциал коронавируса (Nidovirales: Coronaviridae) рукокрылых // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 2. С. 17-34. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-17-34
4. Никифоров В.В., Колобухина Л.В., Сметанина С.В., Мазанкова Л.Н., Плавунцов Н.Ф., Щелканов М.Ю., Суранова Т.Г., Шахмарданов М.З., Бургасова О.А., Кардонова Е.В., Базарова М.В., Антипат Н.А., Серова М.А., Орлова Н.В., Забозлаев Ф.Г., Кружкова И.С., Кадышев В.А. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19): этиология, эпидемиология, клиника, диагностика, лечение и профилактика. Учебно-методическое пособие. Москва: Департамент здравоохранения города Москвы, 2020. 71 с.
5. Грибова В.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А., Щеглов Б.О., Щелканов М.Ю. Облачный сервис для дифференциальной клинической диагностики острых респираторных вирусных заболеваний (в том числе – связанных с особо опасными коронавирусами) методами искусственного интеллекта // Якутский медицинский журнал. 2020. N 2. С. 44-47. DOI: 10.25789/УМЖ.2020.70.13
6. Чучалин А.Г. Тяжёлый острый респираторный синдром // Терапевтический архив. 2004. N 3. С. 5-11.
7. Щелканов М.Ю., Колобухина Л.В., Львов Д.К. Коронавирусы человека (Nidovirales, Coronaviridae): возросший уровень эпидемической опасности // Лечащий врач. 2013. N 10. С. 49-54.
8. Щелканов М.Ю., Ананьев В.Ю., Кузнецов В.В., Шуматов В.Б. Ближневосточный респираторный синдром: когда вспыхнет тлеющий очаг? // Тихоокеанский медицинский журнал. 2015. N 2. С. 94-98.
9. Щелканов М.Ю., Ананьев В.Ю., Кузнецов В.В., Шуматов В.Б. Эпидемическая вспышка Ближневосточного респираторного синдрома в Республике Корея (май-июль 2015 г.): причины, динамика, выводы // Тихоокеанский медицинский журнал. 2015. N 3. С. 25-29.
10. Щелканов М.Ю., Львов Д.К. Новый субтип вируса гриппа А от летучих мышей и новые задачи эколого-вирусологического мониторинга // Вопросы вирусологии. 2012. Приложение 1. С. 159-168.
11. Griffin D.R. Echolocation by blind men, bats and radar // Science. 1944. V. 100. N 2609. P. 589-590. DOI: 10.1126/science.100.2609.589
12. Айрапетьянц Э.Ш., Константинов А.И. Эхолокация в природе. Ленинград: Наука, 1974. 513 с.
13. Константинов А.И., Мовчан В.Н. Звуки в жизни зверей. Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1985. 304 с.
14. Сергеев Б.Ф. Живые локаторы океана. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 152 с.
15. Gould E., Negus N.C., Novick A. Evidence for echolocation in shrews // Journal of Experimental Zoology. 1964. V. 156. P. 19-37. DOI: 10.1002/jez.1401560103
16. Gould E. Evidence for echolocation in the Tenrecidae of Madagascar // Proceedings of the American Philosophical Society. 1965. V. 109. P. 352-360.
17. Brinklov S., Fenton M.B., Ratcliffe J.M. Echolocation in oilbirds and swiftlets // Frontiers in physiology. 2013. N 4. P. 123. DOI: 10.3389/fphys.2013.00123
18. Лапшин Д.Н. Эхолокационная система ночных бабочек (Lepidoptera, Noctuidae) // Энтомологическое обозрение. 1999. Т. LXXVIII. N 1. С. 22-39.
19. Лапшин Д.Н. Эхолокационная система бабочек. М.: Наука, 2005. 206 с.
20. Spallanzani L. Lettere sopra il sospetto di un nuovo senso nei pipistrelli. Torino, Stamperia Reale, 1794.
21. Maxim H. The sixth sense of the bats. Sir Hiram's contention. The possible prevention of sea collisions // Scientific American. 1912. V. 7. Supplement. P. 148-150.
22. Hartridge H. The avoidance of objects by bats in their flight // Journal of Physiology. 1920. V. 54. P. 54-57.
23. Pierce G.W., Griffin D.R. Experimental determination of supersonic notes emitted by bats // Journal of Mammals. 1938. V. 19. P. 454-455.
24. Гриффин Д. Эхо в жизни людей и животных. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. 110 с.
25. Suthers R.A., Hartley D.J., Wenstrup J.J. The acoustic role of tracheal chambers and nasal cavities in the production of sonar pulses by the horseshoe bat, *Rhinolophus hildebrandti* // Journal of Comparative Physiology. A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology. 1988. V. 162. P. 799-813. DOI: 10.1007/BF00610969
26. Korad V.S., Joshi P.V. Studies on naso-laryngeal region in Schneider's leaf-nosed bat, *Hipposideros speoris* (Schneider, 1800). Part 1: Anatomy // Journal of Animal Morphology and Physiology. 1998. V. 45. N 1-2. P. 44-55.
27. Ковалёва И.М., Тараборкин Л.А. Адаптивная радиация и эволюция рукокрылых (Chiroptera) в свете эколого-этологической концепции (обзор) // Труды Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова. 2016. Т. 38. С. 298-349.
28. Curtis A.A., Simmons N.B. Unique Turbinal Morphology in Horseshoe Bats (Chiroptera: Rhinolophidae) // Anatomical Record (Hoboken). 2017. V. 300. N 2. P. 309-325. DOI: 10.1002/ar.23516
29. Boonman A., Bumrungsri S., Yovel Y. Nonecholocating fruit bats produce biosonar clicks with their wings // Current Biology. 2014. V. 24. P. 2962-2967. DOI: 10.1016/j.cub.2014.10.077
30. Holland R.A., Waters D.A., Rayner J.M.V. Echolocation signal structure in the Megachiropteran bat *Rousettus aegyptiacus* Geoffroy, 1810 // Journal of Experimental Biology. 2004. V. 207. P. 4361-4369. DOI: 10.1242/jeb.01288
31. Mammals of Africa. Volume IV: Hedgehogs, Shrews and Bats. Eds.: M. Happold, J. Kingdon, D. Happold, T. Butynski, M. Hoffmann, M. Happold, J. Kalina. London, Bloomsbury Publishing, 2013. 800 p.

32. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие в 5-ти тт. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Физматлит, 2005. 544 с.
33. Млекопитающие. Полная иллюстрированная энциклопедия в 2-х книгах. Книга 2: полукопытные, копытные, грызуны, зайцеобразные, слоновые, прыгунчики, насекомоядные, рукокрылые, неполнозубые, сумчатые, однопроходные. Ред.: Д. Макдональд. М.: Омега, 2007. 504 с.
34. Ботвинкин А.Д. Смертельные случаи заболевания людей бешенством в Евразии после контактов с рукокрылыми (обзор литературы) // *Plecotus et al.* 2011. Т. 14. С. 75-86.
35. Сельникова О.П., Антонова Л.А., Моисеева А.В., Ботвинкин А.Д. Случай бешенства у человека в Украине, связанный с укусом летучей мыши // *Эпидемиология и инфекционные болезни.* 2006. N 5. С. 55-56.
36. Walters C.L., Freeman R., Collen A., Dietz C., Fenton M.B., Jones G., Obrist M.K., Puechmaile S.J., Sattler T., Siemers B.M., Parsons S., Jones K.E. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats // *Journal of Applied Ecology.* 2012. V. 49. P. 1064-1074. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02182.x
37. Курсков А.Н. Рукокрылые охотники. М.: Лесная промышленность, 1978. 136 с.
38. McCracken G.F., Safi K., Kunz T.H., Dechmann D.K., Swartz S.M., Wikelski M. Airplane tracking documents the fastest flight speeds recorded for bats // *Royal Society Open Science.* 2016. V. 3. N 11. P. 160398. DOI: 10.1098/rsos.160398
39. Кузякин А.П. Летучие мыши (систематика, образ жизни и польза для сельского и лесного хозяйства). М.: Государственное издательство «Советская наука», 1950. 444 с.
40. Kuc R. Model predicts bat pinna ridges focus high frequencies to form narrow sensitivity beams // *Journal of Acoustical Society of America.* 2009. V. 125. N 5. P. 3454-3459. DOI: 10.1121/1.3097500
41. Лапшин Д.Н. Экологическая система бабочек. М.: Наука, 2005. 206 с.
42. Ahlen I., Baagoe H. Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys, and monitoring // *Acta Chiropterologica.* 1999. N 1. P. 137-150.
43. Емельянова А.А., Христенко Е.А. Метод мобильного акустического ультразвукового мониторинга фауны рукокрылых // *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2013. N 6. С. 149-154.
44. Jones G., Jacobs D., Kunz T., Willig M., Racey P. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators // *Endangered Species Research.* 2009. N 8. P. 93-114.
45. Jones K.E., Russ J.A., Bashta A.T., Bilhari Z., Catto C., Csoz I., Gorbachev A., Gyorfi P., Hughes A., Ivashkiv I., Koryagina N., Kurali A., Langton S., Maltby A., Margiean G., Pandourski I., Parsons S., Prokofev I., Paradi S.A., Paradi S.F., Tilova E., Walters C., Weatherill A., Zavarzin O. Indicator Bats Program: a system for the global acoustic monitoring of bats. Biodiversity monitoring and conservation: bridging the gaps between global commitment and local action. London, Blackwell Press, 2011. 356 p.
46. Mac Aodha O., Gibb R., Barlow K.E., et al. Bat detective-Deep learning tools for bat acoustic signal detection // *PLoS Comput Biol.* 2018. V. 14. N 3. P. e1005995. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1005995
47. Васеньков Д.А., Рожнов В.В. Использование ультразвукового детектора для учета рукокрылых (Chiroptera) в летнем местообитании в Московской области // *Материалы международного совещания (IX Съезд Териологического общества при РАН) «Териофауна России и сопредельных территорий».* М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 18 с.
48. Львов Д.К., Дерябин П.Г., Аристова В.А., Бутенко А.М., Галкина И.В., Громашевский В.Л., Давыдова А.А., Колобухина Л.В., Львов С.Д., Щелканов М.Ю. Атлас распространения возбудителей природноочаговых вирусных инфекций на территории Российской Федерации. М.: Изд-во НПЦ МЗ РФ, 2001. 192 с.
49. Терновой В.А., Щелканов М.Ю., Шестопалов А.М., Аристова В.А., Протопопова Е.В., Громашевский В.Л., Друзяка А.В., Славский А.А., Золотых С.И., Локтев В.Б., Львов Д.К. Выявление вируса Западного Нила в птицах на территории Барабинской и Кулундинской низменностей (западносибирский пролётный путь) в летне-осенний период 2002 г. // *Вопросы вирусологии.* 2004. Т. 49. N 3. С. 52-56.
50. Щелканов М.Ю., Ананьев В.Ю., Львов Д.Н., Киреев Д.Е., Гурьев Е.Л., Аканина Д.С., Галкина И.В., Аристова В.А., Москвина Т.М., Чумаков В.М., Баранов Н.И., Гореликов В.Н., Усачёв Е.В., Альховский С.В., Ляпина О.В., Поглазов А.Б., Шляпникова О.В., Бурухина Е.Г., Борисова О.Н., Федякина И.Т., Бурцева Е.И., Морозова Т.Н., Гренкова Е.П., Гребенникова Т.В., Прилипов А.Г., Самохвалов Е.И., Забережный А.Д., Коломеец С.А., Мирошников В.А., Оропай П.Л., Гапонов В.В., Семёнов В.И., Суслов И.О., Волков В.А., Ямникова С.С., Алипер Т.И., Дунаев В.Г., Громашевский В.Л., Маслов Д.В., Новиков Ф.Т., Власов Н.А., Дерябин П.Г., Непоклонов Е.А., Злобин В.И., Львов Д.К. Комплексный эколого-вирусологический мониторинг на территории Приморского края (2003-2006) // *Вопросы вирусологии.* 2007. Т. 52. N 5. С. 37-48.

REFERENCES

1. Shchelkanov M.Yu., Popova A.Yu., Dedkov V.G., Akimkin V.G., Maleev V.V. History of investigation and current classification of coronaviruses (Nidovirales: Coronaviridae). *Russian Journal of Infection and Immunity*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 221-246. (In Russian) DOI: 10.15789/2220-7619-HOI-1412
2. Shchelkanov M.Yu., Kolobukhina L.V., Burgasova O.A., Kruzhkova I.S., Maleev V.V. COVID-19: etiology, clinic, treatment. *Russian Journal of Infection and Immunity*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 421-445. (In Russian) DOI: 10.15789/2220-7619-CEC-1473
3. Shestopalov A.M., Kononova Yu.V., Gadzhiev A.A., Gulyaeva M.A., Vasfi M.M., Alekseev A.Yu., Jamalutdi-

- nov J.M., Shchelkanov M.Yu. Biodiversity and epidemic potential of chiropteran coronaviruses (Nidovirales: Coronaviridae). *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 17-34. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-17-34
4. Nikiforov V.V., Kolobukhina L.V., Smetanina S.V., Mazankova L.N., Plavunov N.F., Shchelkanov M.Yu., Suranova T.G., Shakhmardanov M.Z., Burgasova O.A., Kardonova E.V., Bazarova M.V., Antipyat N.A., Serova M.A., Orlova N.V., Zabozaev F.G., Kruzhkova I.S., Kadyshch V.A. *Novaya koronavirusnaya infektsiya (COVID-19): etiologiya, epidemiologiya, klinika, diagnostika, lechenie i profilaktika* [Novel coronavirus infection (COVID-19): etiology, epidemiology, clinics, diagnostics, treatment, and prophylaxis]. Moscow, Department of Public Health of Moscow city, 2020, 71 p. (In Russian)
 5. Gribova V.V., Okun D.B., Shalfeeva E.A., Shcheglov B.O., Shchelkanov M.Yu. Cloud service for the differential clinical diagnostics of acute respiratory viral diseases (including those associated with highly contagious coronaviruses) with an application of methods of artificial intelligence. *Yakut Medical Journal*, 2020, no. 2, pp. 44-47. (In Russian) DOI: 10.25789/YMJ.2020.70.13
 6. Chuchalin A.G. Severe acute respiratory syndrome. *Terapevticheskiy arkhiv* [Therapeutic Archive]. 2004, no. 3, pp. 5-11. (In Russian)
 7. Shchelkanov M.Yu., Kolobukhina L.V., Lvov D.K. Human coronaviruses (Nidovirales, Coronaviridae): increased level of epidemic threat. *Lechashchii vrach* [The Practitioner]. 2013, no. 10, pp. 49-54. (In Russian)
 8. Shchelkanov M.Yu., Ananiev V.Yu., Kuznetsov V.V., Shumatov V.B. Middle East respiratory syndrome: when will smouldering focus outbreak? *Tikhookeanskii meditsinskii zhurnal* [Pacific Medical Journal]. 2015, no. 2, pp. 94-98. (In Russian)
 9. Shchelkanov M.Yu., Ananiev V.Yu., Kuznetsov V.V., Shumatov V.B. Epidemic outbreak of Middle East respiratory syndrome in the Republic of Korea (May-July, 20015): reasons, dynamics, conclusions. *Tikhookeanskii meditsinskii zhurnal* [Pacific Medical Journal]. 2015, no. 3, pp. 25-29. (In Russian)
 10. Shchelkanov M.Yu., Lvov D.K. New subtype of influenza A virus from bats and new tasks for ecovirological monitoring. *Voprosy virusologii* [Problems in Virology]. 2012, suppl. 1, pp. 159-168. (In Russian)
 11. Griffin D.R. Echolocation by blind men, bats and radar. *Science*, 1944, vol. 100, no. 2609, pp. 589-590. DOI: 10.1126/science.100.2609.589
 12. Airapet'yants E.Sh., Konstantinov A.I. *Ekholokatsiya v prirode* [Echolocation in Nature]. Leningrad, Nauka Publ., 1974, 513 p. (In Russian)
 13. Konstantinov A.I., Movchan V.N. *Zvuki v zhizni zverei* [Sounds in the Life of Animals]. Leningrad, Leningrad University Publ., 1985, 304 p. (In Russian)
 14. Sergeev B.F. *Zhivye lokatory okeana* [Live Ocean Locators]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1980, 152 p. (In Russian)
 15. Gould E., Negus N.C., Novick A. Evidence for echolocation in shrews. *Journal of Experimental Zoology*, 1964, vol. 156, pp. 19-37. DOI: 10.1002/jez.1401560103
 16. Gould E. Evidence for echolocation in the Tenrecidae of Madagascar. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 1965, vol. 109, pp. 352-360.
 17. Brinklov S., Fenton M.B., Ratcliffe J.M. Echolocation in oilbirds and swiftlets. *Frontiers in physiology*, 2013, no. 4, pp. 123. DOI: 10.3389/fphys.2013.00123
 18. Lapshin D.N. Echolocation system of moths (Lepidoptera, Noctuidae). *Entomologicheskoe obozrenie* [Entomological review]. 1999, vol. LXXVIII, no. 1, pp. 22-39. (In Russian)
 19. Lapshin D.N. *Ekholokatsionnaya sistema babochek* [Echolocation System of Moths]. Moscow, Nauka Publ., 2005, 206 p. (In Russian)
 20. Spallanzani L. Lettere sopra il sospetto di un nuovo senso nei pipistrelli. Torino, Stamperia Reale, 1794. (In Italian)
 21. Maxim H. The sixth sense of the bats. Sir Hiram's contention. The possible prevention of sea collisions. *Scientific American*. 1912, vol. 7, suppl., pp. 148-150.
 22. Hartridge H. The avoidance of objects by bats in their flight. *Journal of Physiology*. 1920, vol. 54, pp. 54-57.
 23. Pierce G.W., Griffin D.R. Experimental determination of supersonic notes emitted by bats. *Journal of Mammals*. 1938 vol. 19, pp. 454-455.
 24. Griffin D. *Ekho v zhizni lyudei i zhivotnykh* [Echo in the lives of people and animals]. Moscow, State Physical and Mathematical Literature Publ., 1961, 110 p. (In Russian)
 25. Suthers R.A., Hartley D.J., Wenstrup J.J. The acoustic role of tracheal chambers and nasal cavities in the production of sonar pulses by the horseshoe bat, *Rhinolophus hildebrandti*. *Journal of Comparative Physiology. A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 1988, vol. 162, pp. 799-813. DOI: 10.1007/BF00610969
 26. Korad V.S., Joshi P.V. Studies on naso-laryngeal region in Schneider's leaf-nosed bat, *Hipposideros speoris* (Schneider, 1800). Part 1: Anatomy. *Journal of Animal Morphology and Physiology*. 1998, vol. 45, no. 1-2, pp. 44-55.
 27. Kovalyova I.M., Taraborkin L.A. Adaptive radiation and evolution of bats (Chiroptera) under ecological and ethological concept (review). *Trudy Zoologicheskogo muzeya MGU imeni M.V. Lomonosova* [Proceedings of the Zoological Museum of the Lomonosov Moscow state University]. 2016, vol. 38, pp. 298-349. (In Russian)
 28. Curtis A.A., Simmons N.B. Unique Turbinal Morphology in Horseshoe Bats (Chiroptera: Rhinolophidae). *Anatomical Record (Hoboken)*. 2017, vol. 300, no. 2, pp. 309-325. DOI: 10.1002/ar.23516
 29. Boonman A., Bumrungsri S., Yovel Y. Nonecholocating fruit bats produce biosonar clicks with their wings. *Current Biology*, 2014, vol. 24, pp. 2962-2967. DOI: 10.1016/j.cub.2014.10.077
 30. Holland R.A., Waters D.A., Rayner J.M.V. Echolocation signal structure in the Megachiropteran bat *Rousettus aegyptiacus* Geoffroy, 1810. *Journal of Experimental Biology*, 2004, vol. 207, pp. 4361-4369. DOI: 10.1242/jeb.01288
 31. Happold M., Kingdon J., Happold D., Butynski T., Hoffmann M., Happold M., Kalina J., eds. *Mammals of*

- Africa. Volume IV: Hedgehogs, Shrews and Bats. London, Bloomsbury Publishing, 2013, 800 p.
32. Sivukhin D.V. *Obshchii kurs fiziki: uchebnoe posobie v 5-ti tt. T. 2. Termodinamika i molekulyarnaya fizika* [The course of General physics: textbook in 5 Vol. Vol. 2. Thermodynamics and molecular physics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2005, 544 p. (In Russian)
33. Macdonald D., ed. *Mlekopitayushchie. Polnaya illyustrirovannaya entsiklopediya v 2-kh knigakh. Kniga 2: polukopytnye, kopytnye, gryzuny, zaitseobraznye, slonovye, prygunchiki, nasekomoyadnye, rukokrylye, nepolnozuby, sumchatye, odnoprokhodnye* [Mammals. Complete illustrated encyclopedia in 2 books. Book 2: Subungulata, Ungulates, Rodentia, Lagomorpha, Elephantidae, Macroscelidea, Eulipotyphla, Chiroptera, Cingulata, Marsupialia, Monotremata]. Moscow, Omege Publ., 2007, 504 p. (In Russian)
34. Botvinkin A.D. Fatal human cases of rabies in Eurasia after contacts with bats. (Review of the literature). *Plecotus et al.* 2011, vol. 14, pp. 75-86. (In Russian)
35. Selnikova O.P., Antonova L.A., Moiseyeva A.V., Botvinkin A.D. A bat bite-associated case of human hydrophobia in Ukraine. *Epidemiologiya i infektsionnye bolezni* [Epidemiology and infectious diseases]. 2006, no. 5, pp. 55-56. (In Russian)
36. Walters C.L., Freeman R., Collen A., Dietz C., Fenton M.B., Jones G., Obrist M.K., Puechmaille S.J., Sattler T., Siemers B.M., Parsons S., Jones K.E. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, 2012, vol. 49, pp. 1064-1074. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02182.x
37. Kurskov A.N. *Rukokrylye okhotniki* [Hand-winged hunters]. Moscow, Lesnaya Industriya Publ., 1978, 136 p. (In Russian)
38. McCracken G.F., Safi K., Kunz T.H., Dechmann D.K., Swartz S.M., Wikelski M. Airplane tracking documents the fastest flight speeds recorded for bats. *Royal Society Open Science*, 2016, vol. 3, no. 11, pp. 160398. DOI: 10.1098/rsos.160398
39. Kuzyakin A.P. *Letuchie myshi (sistematika, obraz zhizni i pol'za dlya sel'skogo i lesnogo khozyaistva)* [Bats (taxonomy, lifestyle, and benefits for agriculture and forestry)]. Moscow, State «Soviet Science» Publ., 1950, 444 p. (In Russian)
40. Kuc R. Model predicts bat pinna ridges focus high frequencies to form narrow sensitivity beams. *Journal of Acoustical Society of America*, 2009, vol. 125, no. 5, pp. 3454-3459. DOI: 10.1121/1.3097500
41. Lapshin D.N. *Ekhlokatsionnaya sistema babochek* [Butterfly echolocation system]. Moscow, Nauka Publ., 2005, 206 p. (In Russian)
42. Ahlen I., Baagoe H. Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys, and monitoring. *Acta Chiropterologica*. 1999, no. 1, pp. 137-150.
43. Emelyanova A.A., Khristenko E.A. Mobile method of acoustic ultrasound monitoring of chiropteran's fauna. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State University]. 2013, no. 6, pp. 149-154. (In Russian)
44. Jones G., Jacobs D., Kunz T., Willig M., Racey P. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*. 2009, no. 8, pp. 93-114.
45. Jones K.E., Russ J.A., Bashta A.T., Bilhari Z., Catto C., Csoos I., Gorbachev A., Gyorfi P., Hughes A., Ivashkiv I., Koryagina N., Kurali A., Langton S., Maltby A., Margiean G., Pandourski I., Parsons S., Prokofev I., Paradi S.A., Paradi S.F., Tilova E., Walters C., Weatherill A., Zavarzin O. Indicator Bats Program: a system for the global acoustic monitoring of bats. *Biodiversity monitoring and conservation: bridging the gaps between global commitment and local action*. London, Blackwell Press, 2011, 356 p.
46. Mac Aodha O., Gibb R., Barlow K.E., et al. Bat detective-Deep learning tools for bat acoustic signal detection. *PLoS Comput Biol.*, 2018, vol. 14, no. 3, pp. e1005995. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1005995
47. Vasenkov D.A., Rozhnov V.V. Ispol'zovanie ul'trazvukovogo detektora dlya ucheta rukokrylykh (Chiroptera) v letnem mestoobitanii v Moskovskoi oblasti [Use of an ultrasonic detector for recording bats (Chiroptera) in summer habitat in the Moscow region]. *Materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya (IX S'ezd Teriologicheskogo obshchestva pri RAN) «Teriofauna Rossii i sopredel'nykh territorii»* [Proceedings of the international meeting (IX Congress of the Theriological society of the Russian Academy of Sciences) "Teriofauna of Russia and neighboring territories"]. Moscow, KMK Publ., 2011, p. 18. (In Russian)
48. Lvov D.K., Deryabin P.G., Aristova V.A., Butenko A.M., Galkina I.V., Gromashevsky V.L., Davydova A.A., Kolobukhina L.V., Lvov S.D., Shchelkanov M.Yu. *Atlas rasprostraneniya vozbuditelei prirodnookhagovykh virusnykh infektsii na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Atlas of distribution of natural foci virus infections on the territory of Russian Federation]. Moscow, SMC MPH RF Publ., 2001, 192 p. (In Russian)
49. Ternovoi V.A., Shchelkanov M.Yu., Shestopalov A.M., Aristova V.A., Protopopova E.V., Gromashevskii V.L., Druzyaka A.V., Slavsky A.A., Zolotykh S.I., Loktev V.B., Lvov D.K. Detection of West Nile virus in birds in the territories of Baraba and Kulunda lowlands (West Siberian migration way) during summer-autumn of 2002. *Voprosy virusologii* [Problems in Virology]. 2004, vol. 49, no. 3, pp. 52-56. (In Russian)
50. Shchelkanov M.Yu., Ananyev V.Yu., Lvov D.N., Kireev D.E., Guryev E.L., Akanina D.S., Galkina I.V., Aristova V.A., Moskvina T.M., Chumakov V.M., Baranov N.I., Gorelikov V.N., Usachev E.V., Alkhovsky S.V., Lyapina O.V., Poglazov A.B., Shlyapnikova O.V., Burukhina E.G., Borisova O.N., Fedyakina I.T., Burtseva E.I., Morozova T.N., Grenkova E.P., Grebennikova T.V., Prilipov A.G., Samokhvalov E.I., Zaberezhny A.D., Kolomeets S.A., Miroshnikov V.A., Oropai P.L., Gaponov V.V., Semenov V.I., Suslov I.O., Volkov V.A., Yamnikova S.S., Aliper T.I., Dunaev V.G., Gromashevsky V.L., Maslov D.V., Novikov F.T., Vlasov N.A., Deryabin P.G., Nepoklonov E.A., Zlobin V.I., Lvov D.K. Complex environmental and virological monitoring in the Primorye Territory in 2003-2006. *Voprosy virusologii* [Problems in Virology]. 2007, vol. 52, no. 5, pp. 37-48.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Егор М. Щелканов, физико-математическое сопровождение статьи, разработка концепции выстраивания математической части статьи, вывод формул, написание статьи. Станислав С. Уколов, вывод формул, анализ научной литературы по ультразвуковому мониторингу популяций летучих мышей, написание статьи. Мария Н. Дунаева, анализ научной литературы по эхолокации крыланов. Татьяна В. Табакаева, анализ научной литературы по строению и физиологическому значению элементов ушной раковины рукокрылых. Игорь А. Попов, анализ научной литературы по позиционированию с помощью эхолокации, написание статьи. Юрий А. Белов, анализ научной литературы по эхолокации у животных помимо рукокрылых. Надежда Н. Какарека и Анна В. Ганзевич, анализ научной литературы по эхолокации летучих мышей. Валентина Ф. Толкач, анализ научной литературы по первой (максимовской) научной гипотезе эхолокации у летучих мышей. Юрий Г. Волков, анализ научной литературы по формированию современных представлений об эхолокации у летучих мышей. Ирина В. Галкина, анализ научной литературы по истории изучения эхолокации у летучих мышей, открытию «ушного зрения» Л. Спалланцани. Михаил Ю. Щелканов, общая идея статьи, руководство процессом создания статьи, написание статьи. 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

Egor M. Shchelkano provided the physical and mathematical support for the article, developed the concept of building the mathematical part of the article, derived formulas and contributed to writing the article. Stanislav S. Ukolov derived formulas, analysed the scientific literature on ultrasonic monitoring of bat populations and contributed to writing the article.

Maria N. Dunaeva analysed the scientific literature on bat echolocation. Tatyana V. Tabakaeva analysed the scientific literature on the structure and physiological significance of elements of the bat auricle. Igor A. Popov analysed the scientific literature on positioning using echolocation and contributed to writing the article. Yury A. Belov analysed the scientific literature on echolocation in animals other than bats. Nadezhda N. Kakareka analysed the scientific literature on bat echolocation. Anna V. Ganzevich analysed the scientific literature on bat echolocation. Valentina F. Tolkach analysed the scientific literature on the first (Maxim's) scientific hypothesis of echolocation in bats. Yury G. Volkov analysed the scientific literature on the formation of modern ideas about echolocation in bats. Irina V. Galkina analysed the scientific literature on the history of the study of echolocation in bats and the discovery of "ear vision" by L. Spallanzani. Mikhail Yu. Shchelkanov conceived the general idea of the article, managed the process of creating and contributed to the writing of the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Егор М. Щелканов / Egor M. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>
Станислав С. Уколов / Stanislav S. Ukolov <https://orcid.org/0000-0002-9946-6446>
Мария Н. Дунаева / Maria N. Dunaeva <https://orcid.org/0000-0002-1728-1852>
Татьяна В. Табакаева / Tatyana V. Tabakaeva <https://orcid.org/0000-0002-9517-7495>
Игорь А. Попов / Igor A. Popov <https://orcid.org/0000-0002-5904-2470>
Юрий А. Белов / Yury A. Belov <https://orcid.org/0000-0001-8313-5610>
Надежда Н. Какарека / Nadezhda N. Kakareka <https://orcid.org/0000-0002-2567-0452>
Анна В. Ганзевич / Anna V. Ganzevich <https://orcid.org/0000-0001-8425-0303>
Валентина Ф. Толкач / Valentina F. Tolkach <https://orcid.org/0000-0002-1893-9580>
Юрий Г. Волков / Yury G. Volkov <https://orcid.org/0000-0002-4631-1678>
Ирина В. Галкина / Irina V. Galkina <https://orcid.org/0000-0001-7000-5833>
Михаил Ю. Щелканов / Mikhail Yu. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Оригинальная статья / Original article
УДК 551.465
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-21-35

Гребневик *Beroe* cf. *ovata* в Каспийском море. Начало нового этапа эволюции Каспийской экосистемы?

Сергей В. Востоков,¹ Алимурад А. Гаджиев², Анастасия С. Востокова¹,
Нухкади И. Рабазанов^{2,3}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

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

Формат цитирования

Востоков С.В., Гаджиев А.А., Востокова А.С., Рабазанов Н.И. Гребневик *Beroe* cf. *ovata* в Каспийском море. Начало нового этапа эволюции Каспийской экосистемы? // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 21-35. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-21-35

Получена 7 ноября 2020 г.

Прошла рецензирование 21 ноября 2020 г.

Принята 26 ноября 2020 г.

Резюме

Цель. Анализ первых данных о появлении гребневику *Beroe* cf. *ovata* в водах Каспийского моря и оценка возможных последствий вселения берое для каспийской экосистемы.

Материал и методы. Материал получен в глубоководной части западного шельфа Среднего Каспия в первой декаде октября 2020 года. Пробы зоопланктона отбирали сетью Джеди, с площадью захвата фильтрующего конуса 0,1 м². Для учета макропланктона и крупных гребневику использовали большую конусную сеть (КБ) с площадью входного отверстия 0,5 м². Пробы отобраны на пяти станциях в слое 0-40 м. Гребневику размером более 5 мм учитывались и измерялись на борту судна. Количество и размеры мелких гребневику, личинок и яиц определяли в пробах зоопланктона фиксированных формалином до конечной концентрации 4%.

Результаты. В начале октября 2020 г. в водах Дагестанского шельфа было зафиксировано присутствие в планктоне нового вселенца, по предварительному определению *Beroe ovata*. Средняя для пяти станций численность берое составила 22 экз/м², биомасса – 6,15 г/м². Преобладали личинки и мелкие особи размером от 5 до 20 мм. Гребневик *Mnemiopsis leidyi* в районе исследований отсутствовал. В структуре мезозоопланктона доминировала мелкая копепода *Acartia tonsa* составлявшая 92% численности и 78% биомассы сообщества.

Заключение. Размерная структура популяции берое с преобладанием личинок и мелких особей свидетельствует о недавно завершившемся цикле размножения и адаптации гребневику к условиям Каспийского моря. Отмечены признаки воздействия нового вселенца на популяцию *M. leidyi*. Это событие может стать началом нового этапа в эволюции экосистемы Каспийского моря и восстановления его биоресурсов, пострадавших от нашествия гребневику *Mnemiopsis leidyi*. Структура мезозоопланктона с тотальным доминированием по численности и биомассе мелкой копеподы *Acartia tonsa* не отличалась от таковой в предшествующий период, что говорит об отсутствии реакции зооценоза на кратковременное ослабление пресса *M. leidyi*. Проведен краткий анализ истории интродукций гребневику в Черное и Каспийское моря, их воздействия на экосистемы и биологические ресурсы. На основе анализа результатов инвазий и многолетних наблюдений за развитием гребневику в Черном море обсуждаются возможные последствия вселения *Beroe* cf. *ovata* в Каспийское море.

Ключевые слова

Каспийское море, экосистема, биологические инвазии, гребневику, *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe* cf. *ovata*.

© 2020 Авторы. Юг России: экология, развитие. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

The ctenophore *Beroe* cf. *ovata* in the Caspian Sea. The beginning of a new stage in the evolution of the Caspian ecosystem?

Sergey V. Vostokov¹, Alimurad A. Gadzhiev², Anastasia S. Vostokova¹ and Nuhkadi I. Rabazanov^{2,3}

¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (IO RAS), Moscow, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

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

Principal contact

Sergey V. Vostokov, Candidate of Biological Sciences, Senior Scientist, Department of Biology, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (IO RAS); 36 Nakhimovskiy Prospekt, Moscow, Russia 117997.

Tel. +79096236875

Email vostokov_s@mail.ru

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

How to cite this article

Vostokov S.V., Gadzhiev A.A., Vostokova A.S., Rabazanov N.I. The ctenophore *Beroe* cf. *ovata* in the Caspian Sea. The beginning of a new stage in the evolution of the Caspian ecosystem? *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 21-35. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-21-35

Received 7 November 2020

Revised 21 November 2020

Accepted 26 November 2020

Abstract

Aim. Analysis of the first data regarding the arrival of the predatory ctenophore *Beroe* cf. *ovata* in the Caspian Sea and assessment of possible effects of its introduction for the Caspian ecosystem.

Material and Methods. The material was obtained in the deep-water region of the western shelf of the middle Caspian Sea in the first ten days of October 2020. Zooplankton samples were collected using a Juday plankton net (0.1 m² opening, 180 µm mesh size). Large ctenophores were collected using a big cone plankton net (CB) with a 0.5 m² opening, 500 µm mesh size. Samples were taken at five stations in the 0-40 m layer. Combs larger than 5 mm were counted and measured on board the ship. The number and size of small ctenophores, larvae and eggs were determined in zooplankton samples fixed with formalin to a final concentration of 4%.

Results. The presence of a new alien *Beroe* cf. *ovata* was recorded in the Dagestan shelf waters of the Caspian Sea in the beginning of October 2020. The average number of *Beroe* cf. *ovata* for five stations was 22 ind/m² and the biomass was 6.15 g/m². Larvae and small individuals from 5 to 20 mm in size predominated. *Mnemiopsis leidyi* was absent in the area investigated. The structure of mesozooplankton was dominated by the small copepod *Acartia tonsa*, which accounted for 92% of the zooplankton community and 78% of its biomass.

Conclusion. The size structure of the *B. ovata* population with a predominance of larvae and small individuals indicates a recently completed breeding cycle and adaptation of the ctenophore to the conditions of the Caspian Sea. The first impacts of the new invasive ctenophore on the population of *M. leidyi* were demonstrated. This event may be the beginning of a new stage in the evolution of the Caspian Sea ecosystem and the restoration of its bioresources affected by the invasion of *Mnemiopsis leidyi*. The structure of mesozooplankton with total dominance, in abundance and biomass, of the small copepod *Acartia tonsa* did not differ from that in the previous period, indicating that the Caspian zoocenosis did not respond to the short-term reduction of the impact of *M. leidyi*. A brief analysis of the history of the introduction of ctenophores to the Black and Caspian Seas is presented and their impact on ecosystems and biological resources of these seas is studied. Based on long-term observations of the invasive ctenophores' interactions in the Black Sea, the possible outcomes of the penetration of *Beroe* cf. *ovata* in the Caspian Sea are discussed.

Key Words

Caspian Sea, ecosystem, ctenophores, *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe* cf. *ovata*.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе экосистема Каспийского моря испытывает значительную антропогенную нагрузку, связанную с различными формами загрязнения, разработкой и эксплуатацией углеводородных месторождений, широкомасштабным изъятием биоресурсов. Среди негативных факторов особое место занимает биологическое загрязнение моря чужеродными организмами, которое прослеживается на всех трофических уровнях Каспийской экосистемы. Наибольшее воздействие на экосистему Каспия оказала случайная интродукция гребневика *Mnemiopsis leidyi*, завезенного в Каспийское море с балластными водами нефтеналивных судов. Гребневик *M. leidyi*, обладая широким спектром питания, быстро адаптировался к условиям низкой солености и температурному режиму Каспийского моря. Не имея в Каспии естественных врагов, гребневик получил существенные экологические преимущества перед пищевыми конкурентами – рыбами планктофагами. Его массовое развитие уже в первые годы (1998–2002) достигло уровня экологической катастрофы. Существенно подрывав кормовую базу планктоноядных рыб, гребневик привел в упадок морское рыболовство.

С целью биологического контроля над инвазией *M. leidyi* была предложена интродукция в Каспийское море хищных гребневиков рода *Beroe*. В ряде прикаспийских стран проводились эксперименты по акклиматизации *Beroe ovata* в Каспийском море. Однако в дальнейшем никаких практических шагов в реализации этой программы предпринято не было.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в рамках экологического мониторинга глубоководной части западного шельфа Каспийского моря в начале октября 2020 года в экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова. Район исследований располагался на расстоянии около 100 км от дагестанского побережья напротив г. Махачкала над глубинами 40–45 м. Пробы зоопланктона отбирали сетью Джеди, с площадью захвата фильтрующего конуса $0,1 \text{ м}^2$ (размер ячеи 180 мкм). Для учета макропланктона, в том

числе, крупных гребневиков использовали большую конусную сеть (КБ) с площадью входного отверстия $0,5 \text{ м}^2$ (размер ячеи 500 мкм). Сетные ловы были выполнены на пяти станциях тотально в слое 0–40 м. Гребневиков размером более 5 мм учитывались и измерялись на борту судна. Количество и размеры мелких гребневиков, личинок и яиц определяли в пробах зоопланктона фиксированных формалином до конечной концентрации 4% с применением бинокулярных микроскопов МБС-10 и Olympus SZ51. Биомассу гребневиков определяли исходя из численности и размеров тела по формулам [1]. Кроме того, в период исследований были отобраны пробы фитопланктона, проведено зондирование гидрофизических параметров и флуоресценции, выполнены определения концентраций хлорофилла, первичной продукции, физиологического состояния планктонных водорослей, оптических и химических характеристик среды.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В первой декаде октября 2020 года во время экспедиционных исследований на акватории западного шельфа Каспийского моря был обнаружен новый вселенец гребневик рода *Beroe* (рис. 1), предварительно определен как *Beroe ovata*. Средняя для пяти станций численность берое составила 22 экз/м^2 , биомасса $6,15 \text{ г/м}^2$ (сырой вес). В большинстве случаев преобладали личинки и мелкие особи в размерном диапазоне от 5 до 20 мм. Было обнаружено всего несколько особей размером более 20 мм. В районе, где был найден берое, мнемииопсис в планктоне отсутствовал. При этом структура мезо-зоопланктона характеризовалась абсолютным доминированием по численности (92%) и биомассе (78%) мелкой копеподы *Acartia tonsa*.

Для понимания процессов, происходящих в экосистеме Каспийского моря, и прогноза ее развития в условиях последовательных инвазий гребневиков *M. leidyi* и *B. ovata* – мы рассмотрим краткую историю вселения и массового развития гребневиков в южных морях России, выделим основные результаты их воздействия на морские экосистемы и биоресурсы.



Photo by S.V. Vostokov

Рисунок 1. Гребневик *Beroe ovata* – новый вселенец в Каспийское море

Figure 1. The ctenophore *Beroe ovata* – a new invasive species in the Caspian Sea

*Краткая история интродукции гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* в южные моря России*

Черное море, экосистема которого прошла стадии деградации и восстановления в результате случайной интродукции гребневика *M. leidyi*, а затем *B. ovata* может служить модельным бассейном с точки зрения прогноза развития экосистем, находящихся под воздействием инвазивных видов. Последствия интродукции гребневика *M. leidyi* в Черное море и его воздействие на экосистему, не были достаточно учтены в первые годы после вселения мнемипсиса в Каспийское море, что привело к значительным экономическим потерям в сфере рыболовства.

*Вселение гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Черное море и его последствия*

Гребневик *M. leidyi* (рис. 2), обитатель шельфовых вод и лагун атлантического побережья северной Америки, попал в Черное море с балластными водами судов, совершавших трансатлантические перевозки. В Черном море *M. leidyi* появился в первой

половине 80-х годов. В 1987 г. он был обнаружен в ряде бухт западного и северного побережья моря. Весной 1988 г. его молодь встречалась вдоль западного, северного и северо-восточного побережий, а единичные крупные особи в центральных районах моря. Летом того же года *M. leidyi* распространился в прибрежных водах Крыма, северо-западной части моря и водах Болгарии [2]. Осенью в открытых районах моря его биомасса уже достигала $1,5-2 \text{ кг/м}^2$ на порядок превосходя биомассу остального зоопланктона, количество которого катастрофически снизилось [3-5]. Летом 1989 г. он достиг пика своего развития. В августе-сентябре его количество в Черном море приблизилось к 800 млн. тонн, а биомасса на отдельных станциях достигала 12 кг/м^2 . Столь же высокой биомасса мнемипсиса была и в начале лета 1990 г., но затем она стала снижаться [4; 6; 7-9]. В весенне-летние месяцы (апрель-июнь) мнемипсис проникал и в Азовское море, где быстро размножался и практически нацело выедал кормовой зоопланктон [10; 11].



Photo by S.V. Vostokov

Рисунок 2. Гребневик *Mnemiopsis leidyi*
Figure 2. The ctenophore *Mnemiopsis leidyi*

Сезонные наблюдения за популяцией *M. leidyi*, в северо-восточной части Черного моря в районе Геленджика показали, что его молодь встречалась в планктоне практически в течение всего года с минимальным количеством в марте-апреле, а резко выраженный пик численности приходился на июль-август [1]. В это время численность молоди превышала 9000 экз./м^2 . По мере подрастания молоди биомасса популяции увеличивалась и достигла максимума в октябре-ноябре. Численность популяции при этом снижалась за счет выноса животных в открытые районы моря или их гибели. В результате молодь гребневиков преобладала на мелководьях, средне-размерные и крупные особи концентрировались главным образом в районе континентального склона в зоне конвергенции Основного Черноморского течения [1]. В водах центральных круговоротов преобладали крупные особи размером более 4,5 см, иногда достигавшие длины 10-15 см [7; 8].

Специалистами причерноморских стран проводились многочисленные исследования биологии

популяции мнемипсиса. Детально исследовались его трофические характеристики и воздействие на кормовой планктон, репродуктивные возможности и поведение [1; 3; 5; 11-17], интенсивность обмена [18; 19]. Была проведена ревизия методов отбора проб мезозoopланктона, а также гребневиков и медуз [20].

Результаты исследований показали, что после вселения мнемипсиса биомасса кормового зоопланктона в Черном море снизилась по сравнению с предыдущим периодом в 20-30 раз, а некоторые группы, например, Chaetognatha практически полностью исчезли из планктона. При этом резко уменьшилось и количество медуз-аурелий, по отношению к которым гребневик выступал как пищевой конкурент [9; 21]. Наибольшее воздействие гребневик оказал на популяции планктоноядных рыб – хамсы, тюльки и ставриды, по отношению к которым он выступал не только как конкурент за пищу – рачковый зоопланктон, но и как хищник, выедающий их икру и молодь [14]. Одновременно

со вспышкой мнемииопсиса резко упали уловы рыб планктофагов в Черноморско-Азовском бассейне.

Катастрофическое падение уловов планктоноядных рыб черноморских стран [22; 23] привлекло внимание международных организаций. В 1994 и 1995 гг. этот вопрос рассматривался специальной группой GESAMP, деятельность которой поддерживалась МОК ФАО, ЮНЕСКО и другими международными организациями [24]. Были изучены различные аспекты этой проблемы. Наиболее эффективным методом борьбы с инвазией мнемииопсиса группой GESAMP была предложена интродукция в Черное море хищных гребневиков *Beroe* питающихся главным образом гребневиками из отряда Lobata, к которым относится *M. leidy*. Однако в дальнейшем никаких практических шагов в реализации этой рекомендации предпринято не было.

После вспышки развития в первые годы инвазии численность популяции мнемииопсиса в Черном море несколько снизилась. Тем не менее, гребневик продолжал оказывать существенное влияние на запасы кормового планктона и планктоноядных рыб. Значительный ущерб был нанесен донным сообществам, так как мнемииопсис практически полностью выедал личинок двусторчатых моллюсков и донных ракообразных, имеющих планктонную стадию развития. Снижение прозрачности воды за счет выделения мнемииопсисом больших объемов слизи повлияло на световые условия существования макрофитов, в результате чего граница развития донной растительности сместилась на меньшие глубины [25; 26].

Гребневик *Mnemiopsis leidy* в Каспийском море

Изучение гребневика *M. leidy* в Каспийское море началось практически с момента его обнаружения в 1999 г. Активные исследования гребневика в экосистеме Каспия проводились с 2000 года [27-33]. Была сделана попытка оценить годовой цикл развития популяции *M. leidy* в Каспийском море. Предложенная гипотеза о ежегодном распространении популяции мнемииопсиса по акватории моря из очага зимовки в Южном Каспии [28] была подтверждена результатами дальнейших исследований [33; 34]. Отмечено, что в Каспии, как и в Черном море, гребневик *M. leidy* является прямым пищевым конкурентом рыб планктофагов. При этом он также непосредственно воздействует на ихтиофауну, поедая икру и личинок морских рыб. В течение двадцатилетнего периода исследований изучалось влияние мнемииопсиса на структуру и обилие зоопланктона – кормовую базу ихтиофауны и млекопитающих. Был проведен анализ негативного воздействия гребневика на численность морских, проходных, полупроходных рыб и каспийского тюленя [33; 34]. Многолетние исследования показали, что массовое развитие мнемииопсиса повлияло практически на все трофические уровни экосистемы Каспийского моря – от фитопланктона до каспийского тюленя (*Pusa caspica*) [29; 34]. Негативное воздействие мнемииопсиса в первую очередь отразилось на рыбах планктофагах, особенно на анчоусовидной кильке (*Clupeonella engrauliformis*). На рисунке 3 приведены данные об исследовательских уловах кильки до и после вселения мнемииопсиса.

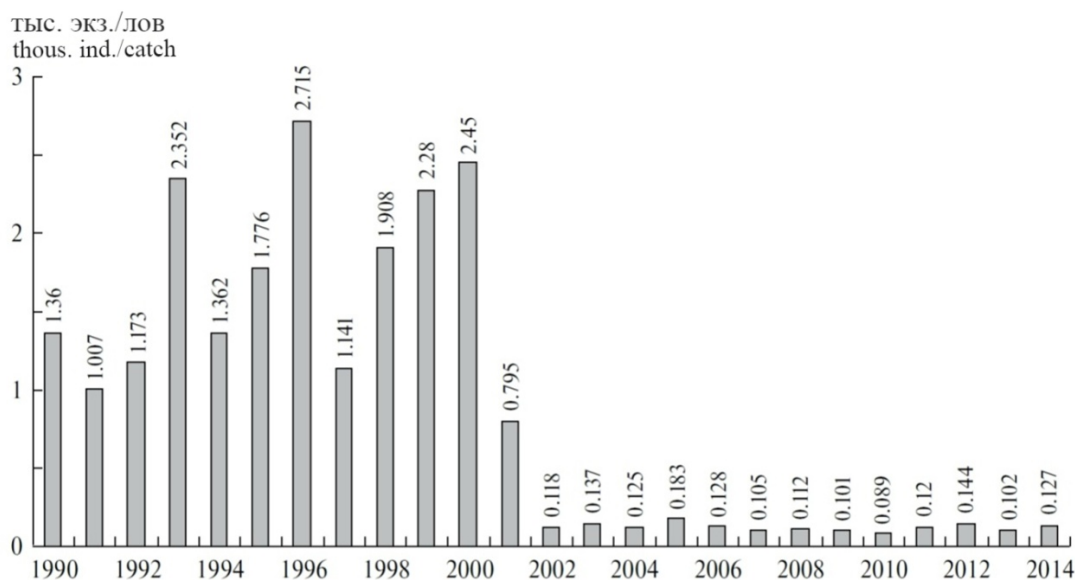


Рисунок 3. Многолетняя динамика исследовательских уловов годовиков анчоусовидной кильки (*Clupeonella engrauliformis*) [33]

Figure 3. Long-term dynamics of research catches of anchovy sprat yearlings (*Clupeonella engrauliformis*) [33]

Было показано, что катастрофическое снижение численности каспийской кильки привело к изменению спектра питания осетровых (русского осетра,

севрюги, белуги, уменьшению их численности и промысловых запасов [33; 34].

Наиболее ярко воздействие гребневика на экосистему Каспийского моря было выражено в первые годы после его вселения. Впоследствии уровень его негативного воздействия несколько снизился, что определялось суровыми зимними условиями в южной части Каспия, где популяция гребневика сохраняется в холодный период года. В настоящий период в связи с общей тенденцией потепления и благоприятными условиями зимовки, отмеченными в последние годы в южном Каспии, период сезонного развития мнемииопсиса может расширяться, а продолжительность и уровень его воздействия на экосистему могут возрастать.

Процессы, происходящие в Каспийском море после интродукции *Mnemiopsis leidyi* во многом схожи с изменениями, происходившими в Черном море с 1989 по 2000 год. Это имеет большое значение для оценки возможных сценариев дальнейшего развития Каспийской экосистемы.

Вселение *Beroe ovata* в Черное море

В результате вселения и массового развития гребневика *B. ovata* в 1999 году ситуация в черноморской экосистеме кардинально изменилась. Берое – специализированный хищник, поедающий гребневиков, главным образом из отряда Lobata, к которому относится *Mnemiopsis leidyi* [24; 35-37]. В Средиземном море обитает несколько видов гребневиков рода *Beroe*. При этом по причине низкой солености и суровых зимних условий берое если и проникал в Черное море, то не давал вспышки массового развития. Единичные особи берое были встречены

у берегов Болгарии осенью 1997 г. [38] и у северо-восточного побережья в районе Геленджика.

Массовое развитие *Beroe ovata* в северо-восточной части Черного моря зафиксировано в конце лета – начале осени (август-сентябрь) 1999 г. [39]. В районе Геленджика эти гребневики были отмечены во второй половине августа. В начале сентября 1999 г. он был обнаружен также в открытых водах северо-восточной акватории Черного моря. В ноябре количество *B. ovata* резко сократилось.

В первый же год интродукции берое, концентрация мнемииопсиса в мелководной зоне шельфа в районе Геленджика, уменьшилась по сравнению с тем же сезоном 1997 и 1998 годов почти в 10 раз [1]. В связи с этим пресс мнемииопсиса на зоопланктон снизился, что создавало предпосылки для его восстановления.

По сравнению с предыдущими годами в августе-сентябре 1999 г. также увеличилась численность мелкой ставриды и молоди других рыб. Исследования эколого-физиологических характеристик и репродукционной стратегии *B. ovata* [40; 41] показали, что гребневик берое – активный хищник, в поведении которого присутствуют элементы групповой охоты. Берое может поглотить мнемииопсиса равного себе размера (рис. 4). Мелкие берое способны разрывать крупных мнемииопсисов, поглощая их по частям [40]. Интенсивность размножения и выживание молоди берое определяется обилием пищи и во многом зависят от температуры воды [41; 42].

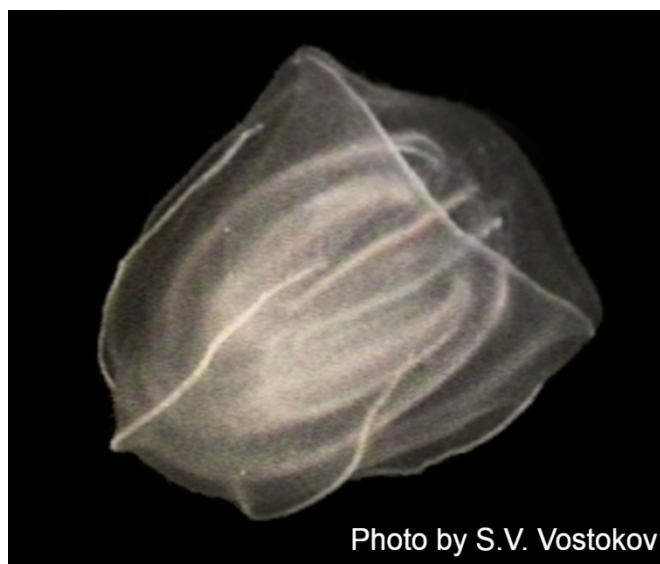


Photo by S.V. Vostokov

Рисунок 4. Гребневик *Beroe ovata*, поедающий *Mnemiopsis leidyi*

Figure 4. The ctenophore *Beroe ovata* feeding on *Mnemiopsis leidyi*

Расчеты, проведенные для прибрежных вод Черного моря, показали, что при характерной для октября численности гребневика берое могли ежедневно выедать популяцию *M. leidyi*. Отметим, что по данным, полученным в Севастопольской бухте в октябре 1999 г. потенциальное выедание мнемииопсиса гребневиком берое могло превышать 150% его биомассы [43].

Взаимодействие популяций *M. leidyi* и *B. ovata* в течение годового цикла развития гребневиков в прибрежных водах Черного моря отражено на рисунке 5. Результаты показывают, что после интродукции

дукции берое характерный пик размножения мнемипсиса в июле-августе сохраняется. При этом массовое развитие берое в последней декаде августа редуцирует популяцию мнемипсиса до мини-

мальных значений биомассы, после чего пиков размножения мнемипсиса практически не наблюдается.

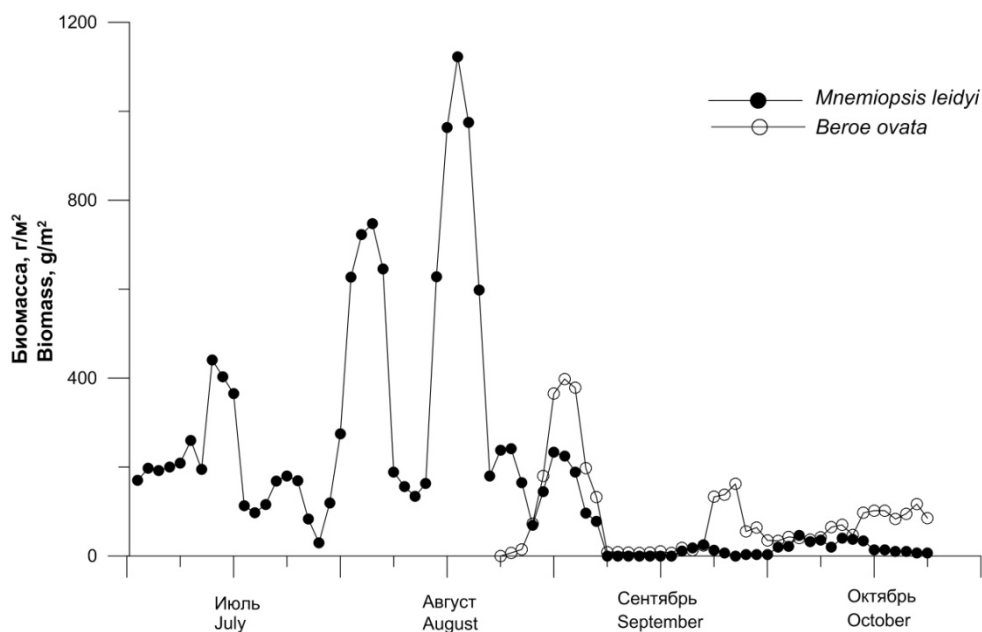


Рисунок 5. Изменение биомассы гребневиков *M. leidy* и *B. ovata* (г/м² сырой вес) в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря

Figure 5. Changes in ctenophore biomass (*Mnemiopsis leidyi* and *Beroë ovata* biomass (g/m^2 , wet weight) in coastal waters of the north-eastern Black Sea

Таким образом, результаты исследований в Черном море свидетельствуют, что вселение борео не привело к исчезновению мнемипсиса, а сократило пространственные и временные масштабы его воздействия на экосистему [44]. Аналогичные выводы были сделаны по результатам дальнейших исследований [45].

Есть основания полагать, что массовое развитие борео в Черном море в августе-сентябре 1999 г. было связано с аномально теплыми зимами 1997/98 и 1998/99 годов и жарким летом 1999 г. Зимой предшествующей массовому развитию борео температура на поверхности моря была около 9,3°C, а температура в холодном промежуточном слое составляла 7,8°C, вместо обычной – 6,5°C. В результате, летом 1999 г. в северо-восточной части моря, помимо борео, впервые появились средиземноморские копеподы: *Rhincalanus nasutus*, *Scolecithrix danae*, *Pleuromamma gracilis* и *Euchaeta marina*. Во-влеченные в циклоническую циркуляцию вод Основного Черноморского течения чужеродные организмы, попавшие в море через Босфор, распространились по акватории моря. При этом гребневик *B. ovata* благодаря своему интенсивному размножению и высокой скорости роста давал мощные вспышки в районах скоплений мнемииопсиса.

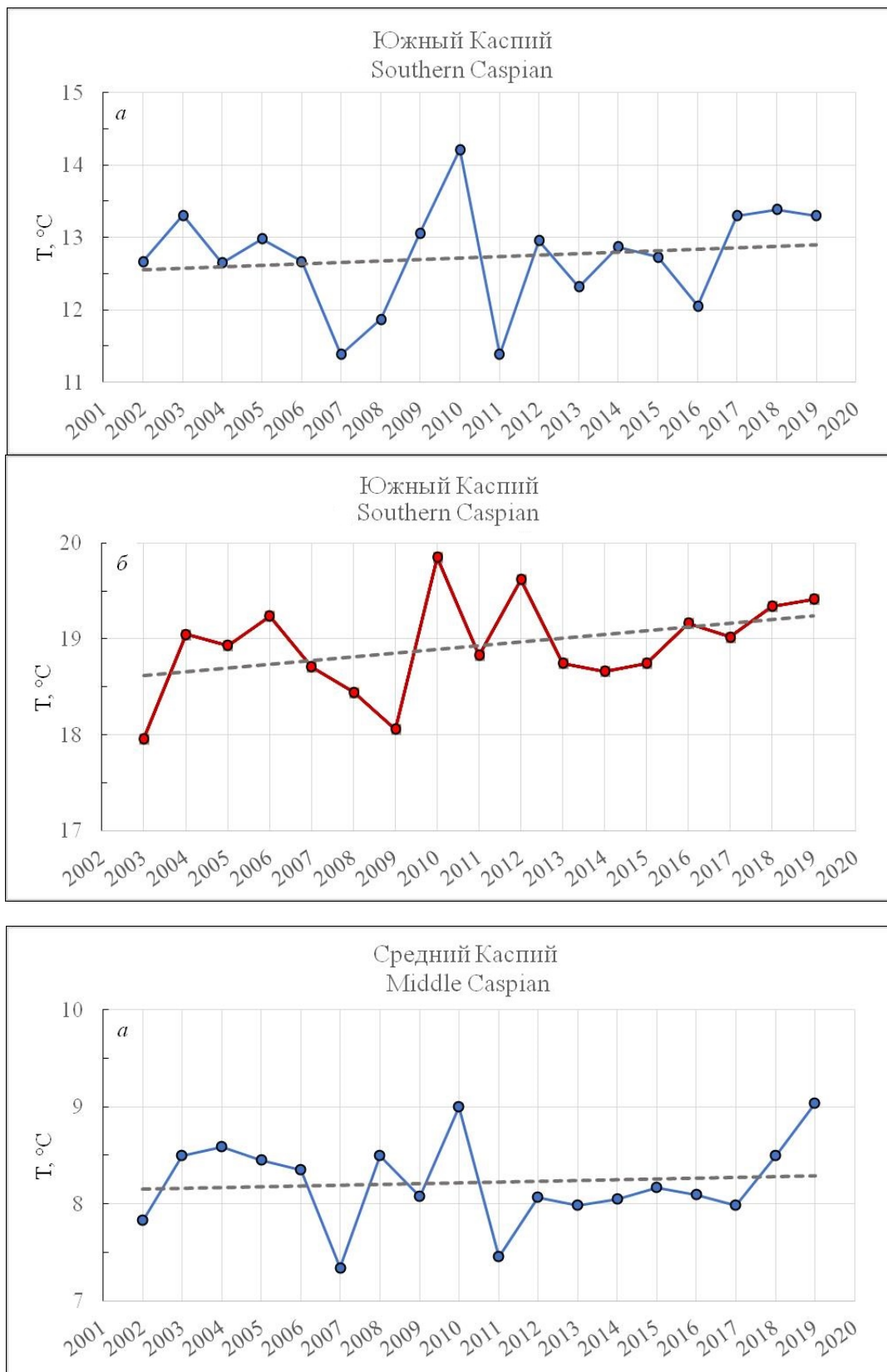
Гребневик Beroe cf. ovata в Каспийском море

Как было отмечено выше, в октябре 2020 в водах глубоководной части дагестанского шельфа был

обнаружен новый вселенец гребневик *Beroe* cf. *ovata*. В районе, где был найден берое, мнемипопис полностью отсутствовал. При этом структура зоопланктона в октябре 2020 года характеризовалась преобладанием *Acartia tonsa* и не отличалась от таковой в предыдущие годы в период доминирования *M. leidy*. Размерная структура популяции берое, преобладание мелких особей и наличие небольшого количества яиц, свидетельствует о недавнем завершении цикла размножения. Все эти факты свидетельствуют о непродолжительном воздействии берое на планктонное сообщество, а также отсутствии реакции зооценоза на кратковременное ослабление пресса *M. leidy*.

Информация об обнаружении единичных экземпляров *Beroe* cf. *ovata* в восточной части Среднего Каспия в сентябре 2020 г. была опубликованы на официальном сайте Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ "ВНИРО" ("КаспНИРХ"). Плотность популяции берое у восточного побережья среднего Каспия по данным ученых КаспНИРХа не превышала 0,1 экз./м³. Этот факт также имеет большое значение для оценки пространственных масштабов инвазии берое в Каспийском море, произошедшей в 2020 году.

Анализ климатических данных показывает, что появление и развитие *Beroe* cf. *ovata* в Каспийском море, так же как и в Черном море, произошло на волне общего потепления, после ряда теплых зим (рис. 6).



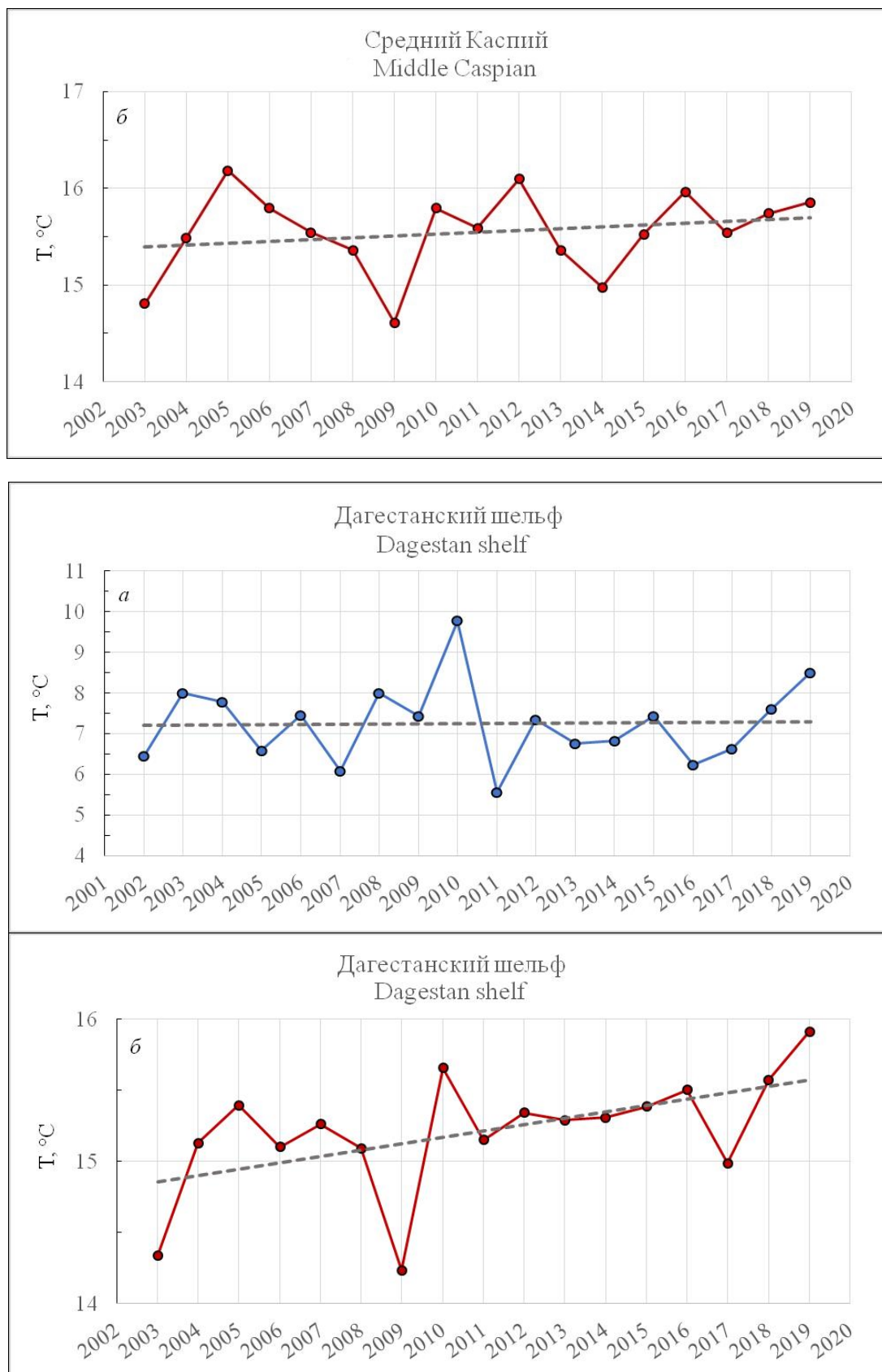


Рисунок 6. Многолетняя динамика зимних (а) и среднегодовых (б) температур поверхностного слоя в Среднем и Южном Каспии (данные сканера MODIS Aqua)

Figure 6. Long-term dynamics of winter (a) and average annual (б) surface layer temperatures in the middle and southern Caspian Sea (MODIS Aqua)

В Среднем Каспии зима, предшествующая появлению гребневика берое в Каспийском море, была самой теплой (рис. 6) за двадцатилетний период наблюдений. В наибольшей степени положительная аномалия среднегодовой температуры была выражена в водах западного шельфа Среднего Каспия, т.е. в акватории, где был обнаружен *Beroe* в октябре 2020 г. Кроме того, как показали результаты предшествующих исследований [31] в сентябре-октябре на акватории дагестанского шельфа происходит концентрация основной части популяции мнемипсиса Среднего Каспия, что также создает благоприятные условия для размножения берое в данном районе.

Не исключено, что берое мог быть неоднократно интродуцирован в Каспийское море и ранее. Не встретив благоприятных условий для размножения в новой среде обитания, особи погибали. Благоприятным периодом для массового развития *B. ovata*, является конец лета и начало осени, когда его основной пищевой объект мнемипсис достигает своего сезонного максимума численности и биомассы. Исследования популяции *M. leidy* в северном Каспии в августе 2019 года не выявили признаков присутствия берое, а напротив, зафиксировали активное и беспрепятственное размножение мнемипсиса (неопубликованные данные). На основании этого факта можно предположить, что интродукция берое в Каспийское море произошла в теплый период 2020 года, а его последующее развитие в октябре основывалось на летне-осеннем пике размножения мнемипсиса. Появление берое в Северном и Среднем Каспии в другие сезоны, вероятно, не привело бы к его размножению.

Анализ процессов, происходивших в результате интродукции гребневиков в Черном море, задают ориентиры для организации мониторинга популяций *M. leidy* и *B. ovata* и изучения параметров их взаимодействия в Каспийском море. Первые годы после вселения *B. ovata* в Черное море оставался открытым вопрос о его будущей роли в экосистеме. Были основания полагать, что если температурные условия Черного моря окажутся слишком суровыми, то берое будет существовать в виде рассеянной и малочисленной популяции, не играющей значительной роли в экосистеме. Аналогичные вопросы относятся к адаптации и дальнейшему развитию берое в Каспийском море, где помимо температурных условий действует фактор солености и необычного для морских водоемов соотношения основных ионов.

Взаимодействие популяций мнемипсиса и берое имеют много аспектов, связанных с различной способностью гребневиков адаптироваться к новым условиям среды, а также с взаимной адаптацией. Так наблюдения в Черном море показали, что мнемипсис имеет более широкий диапазон температурной адаптации, чем берое. Это позволяло мнемипсису избегать контакта с популяцией берое в водной толще, перемещаясь в термоклин и еще более холодные глубинные слои. При этом берое, обычно следовавший за популяцией мнемипсиса,

оставался в более теплых поверхностных слоях, что значительно сокращало зону контакта популяций и снижало воздействие берое на популяцию мнемипсиса. С другой стороны, результаты исследований в Черном море указывали на поступательную адаптацию берое к низким температурам, что привело к расширению периода его сезонного развития до декабря и соответственно, увеличению продолжительности его воздействия на популяцию мнемипсиса. Не меньшую роль во взаимодействии вселенцев будет играть и различие в адаптации гребневиков к условиям низкой солености и нехарактерного для морских вод солевого состава.

Освоение новых мест обитания вселенцами может продолжаться несколько лет и не всегда заканчивается массовым развитием на всей акватории. Если появление и развитие *B. ovata* в Каспийском море в октябре 2020 года является началом его широкой экспансии, как это было в случае с *M. leidy*, то в дальнейшем популяции этих инвазивных видов будут существовать в постоянном взаимодействии друг с другом, образуя сбалансированную пару хищник-жертва. Это в значительной степени ограничит бесконтрольное развитие мнемипсиса и снизит его пресс на зоопланктон, ихтиофауну и мезопланктон, как это произошло в Черном море. Подобные взаимодействия наблюдаются между гребневиками *M. leidy* и *B. mitrata* в водах атлантического побережья Америки и *Bolinopsis infundilulum* и *Beroe cucumis* в Баренцевом море. В Черном море после многих лет взаимной адаптации популяции гребневиков *M. leidy* и *B. ovata* находятся в динамическом равновесии, а состояние пелагической экосистемы характеризуется как стабильное [46].

Полученные нами данные о популяции *B. ovata* на западном шельфе среднего Каспия немногочисленны и имеют предварительный характер. Чрезвычайно важен сам факт обнаружения жизнеспособной популяции берое в Каспийском море. Это может стать началом нового этапа в эволюции экосистемы Каспийского моря и восстановления его биоресурсов, пострадавших от нашествия гребневика *Mnemioopsis leidy*. Принципиальное значение для дальнейшего развития популяции берое имеет способность к размножению в новой среде обитания, зафиксированная нами в процессе исследований, а также выраженные признаки воздействия на популяцию мнемипсиса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований в октябре 2020 года можно констатировать естественную адаптацию гребневика берое к условиям Каспийского моря. Именно на такой результат были нацелены работы по искусственной акклиматизации *Beroe* в Каспийском море, которые проводились научными организациями в России (КаспНИРХ, АзНИРХ) [47], с целью биологического контроля над развитием популяции *Mnemioopsis leidy*, а также эксперименты с международным участием в Иране [48]. Тем не менее, суровые зимние условия остаются непре-

одолимым препятствием для круглогодичного присутствия гребневиков в Северном и Среднем Каспии [31]. Поэтому существование популяции *Beroe ovata* в Каспийском море будет зависеть от климатических условий в ближайшие годы.

Таким образом, дальнейшая адаптация нового вселенца к условиям обитания в Каспийском море, формирование эффективной жизненной стратегии и взаимодействие с гребневиком *M. leidy* будут во многом определять эволюцию Каспийской экосистемы в ближайшие годы и восстановление ее биоресурсов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность д.б.н. Мокиевскому В. О. и с.н.с. Максимовой О. В. за критику и полезное обсуждение результатов.

ACKNOWLEDGMENT

The authors express their gratitude to Professor V. O. Mokievsky and Senior Scientist O. V. Maksimova for their critique and useful discussion of the results.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов М.Е., Востоков С.В., Арашкевич Е.Г., Дриц А.В., Мусаева Э.И., Анохина Л.Л., Шушкина Э.А. Особенности биологии гребневиков-вселенцев и их роль в экосистеме Черного моря // Виды-вселенцы в европейских морях России (ред. Матишов Г.Г.). Апатиты. Кольск. Научн. Центр. 2000. С. 91-112.
2. Консулов А. Още един пришълец // Морски Свят. 1989. N 2. 25 с.
3. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Мусаева Э.И., Сорокин П.Ю. Новый вселенец в Черное море – гребневик *Mnemiopsis leidy* (A.Agassiz) (Ctenophora: Lobata) // Океанология. 1989. Т. 29. N 2. С. 293-299.
4. Шушкина Э.А., Мусаева Э.И. Структура планктонного сообщества эпипелагиали Черного моря и ее изменения в связи с вселением нового вида гребневика // Океанология. 1990. Т. 30. N 2. С. 324-328.
5. Заика В.Е., Сергеева Н.Г. Морфология и развитие гребневика-вселенца *Mnemiopsis mccradyi* (Ctenophora: Lobata) в условиях Черного моря // Зоологический журнал. 1990. Т. 69. N 2. С. 5-10.
6. Шушкина Э.А., Николаева Г.Г., Лукашева Т.А. Изменение структуры планктонного сообщества Черного моря при массовом развитии гребневика *Mnemiopsis leidy* (A.Agassiz) // Журнал общей биологии. 1990. Т. 51. N 1. С. 54-60.
7. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е. Многолетняя изменчивость планктона в открытых районах Черного моря // Океанология. 1991. Т. 31. N 6. С. 973-980.
8. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Николаева Г.Г. Массовое развитие гребневика мнемипсиса, как проявление антропогенного воздействия на экосистему моря // Практическая экология морских регионов. Черное море. Ред. В.П. Кеонджян и др. Киев: Наукова думка. 1990. С. 94-102.
9. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина Э.А. Экосистема Черного моря. М.: Наука, 1992. 112 с.
10. Воловик С.П., Луц Г.Н., Мирзоян Э.А., Пряхин Ю.В., Рогов С.Ф., Студеникина Е.И., Ревин Н.И. Вселение гребневика мнемипсиса в Азовское море: предварительная оценка последствий // Рыбное хозяйство. 1991. N 1. С. 47-49.
11. Volovik S.P., Myrzoian Z.A., Volovik G.S. *Mnemiopsis leidy* in the Azov Sea: biology, population dynamics, impact to the ecosystem and fisheries // ICES Statutory Meeting. Sept., 1993, C.M. 1993 (L:69). ICES: Copenhagen. p. 30.
12. Цихон-Луканина Е.А., Резниченко О.Г. Особенности питания разноразмерных особей гребневика мнемипсиса в Черном море // Океанология. 1991. Т. 31. N 3. С. 442-446.
13. Цихон-Луканина Е.А., Резниченко О.Г., Лукашева Т.А. Количественные закономерности питания черноморского гребневика *Mnemiopsis leidy* // Океанология. 1991. Т. 31. N 2. С. 272-276.
14. Цихон-Луканина Е.А., Резниченко О.Г., Лукашева Т.А. Выедание личинок рыб гребневиком *Mnemiopsis leidy* в прибрежных водах Черного моря // Океанология. 1993. Т. 33. N 6. С. 895-899.
15. Цихон-Луканина Е.А., Резниченко О.Г., Лукашева Т.А. Экологическая изменчивость популяции гребневика *Mnemiopsis leidy* (Ctenophora) в Черном море // Журнал общей биологии. 1993. Т. 54. N 6. С. 713-721.
16. Цихон-Луканина Е.А., Резниченко О.Г., Лукашева Т.А. Разнообразие пищи у гребневика *Mnemiopsis leidy* (Ctenophora Lobata) в прибрежье Черного моря // Зоологический журнал. 1999. Т. 78. N 8. С. 916-921.
17. Сергеева Н.Г., Заика В.Е., Михайлова Т.В. Питание гребневика *Mnemiopsis mccradyi* в условиях Черного моря // Экология моря. 1990. Вып. 35. С. 18-22.
18. Павлова Е.В., Минкина Н.И. Дыхание черноморского гребневика-вселенца (Ctenophora, Lobata, *Mnemiopsis*) // Доклады Академии Наук. 1993. Т. 333. N 5. С. 682-683.
19. Финенко Г.А., Абалмасова Г.И., Романова З.А. Питание, потребление кислорода и рост гребневика *Mnemiopsis mccradyi* в зависимости от концентрации пищи // Биология моря. 1995. Т. 21. N 5. С. 315-320.
20. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Лукашева Т.А., Лебедева Л.П. Востоков С.В. Сравнительное использование различных орудий лова планктона при мониторинге многолетних изменений черноморских сообществ // Океанология. 2003. Т. 43. N 5. С. 744-750.
21. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Mikaelyan A.S., Nezlin N.P. Temporal (seasonal and interannual) changes of ecosystem of the open water of the Black Sea // Environmental degradation of the Black Sea: challenges and remedies. (ed. S. Besiktepe et al). Netherlands. Kluwer Academic Publishers. 1999. V. 56. P. 109-129. DOI: 10.1007/978-94-011-4568-8_8
22. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Булгакова Ю.В., Сербобаба И.И. Выедание зоопланктона гребневиком

- мнемиопсисом и пелагическими рыбами в Черном море // Океанология. 1995. Т. 35. N 4. С. 569-573.
23. Kideys A.E. Recent dramatic changes in the Black Sea ecosystem: the reason for the sharp decline in Turkish anchovy fisheries // Journal of Marine Systems. 1994. V 5. Iss. 2. P. 171-181. DOI: 10.1016/0924-7963(94)90030-2
24. Opportunistic settlers and the problem of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* invasion in the Black Sea // GESAMP Reports and Studies N 58. IMO. UNEP. London. 1997. 84 p.
25. Chikina M.V., Kucheruk N.V. Long-term changes in the structure of coastal benthic communities in the Northeastern part of the Black Sea: influence of alien species // Oceanology. 2005. V. 45. Suppl. 1. P. S176-S182.
26. Кучерук Н.В., Флинт М.В., Максимова О.В., Чикина М.В., Симаклова У.В. Современная динамика бентосных сообществ северо-восточного шельфа Черного моря // Изменение природной среды России в XX веке. Отв. ред. М.В. Котляков. Д.И. Люри. М.: Молнет. 2012. С. 247-288.
27. Ivanov V.P., Kamakin A.M., Ushvitz V.B., Shiganova T.A., Zhukova O., Aladin N., Susan I., Wilson S.I., Harbison G.R., Dumont H.J. Simultaneous invasion of the Caspian Sea by two jellies *Mnemiopsis* and *Aurelia* // Journal Biological Invasions. 2000. N 2. P. 255-258.
28. Востоков С.В., Ушивцев В.Б., Лисицын Б.Е., Соловьев Д.М. Летнее состояние популяции гребневика *Mnemiopsis leidyi* – вселенца в Каспийском море и его связь с условиями среды обитания // Океанология. 2004. Т. 44. N1. С. 90-98.
29. Камакин А.М., Егоров С.Н. Влияние популяции *Mnemiopsis leidyi* на различные трофические уровни экосистемы Каспийского моря // Труды I Международного форума (6-й Международной конференции) «Актуальные проблемы современной науки. Естественные науки». Самара: Изд-во СамГТУ, 2005. Ч. 13: Экология. С. 65-72.
30. Камакин А.М., Чиженкова О.А., Зайцев В.Ф. Влияние *Mnemiopsis leidyi* на некоторые трофические звенья Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2010. Т. 5. N 2. С. 67-74.
31. Камакин А.М., Зайцев В.Ф. Закономерности многолетней и межсезонной динамики популяции гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Каспийском море // Юг России: экология, развитие. 2012. Т. 7. N 1. С. 96-102.
32. Зайцев В.Ф., Камакин А.М., Волкова И.В., Юрченко В.В., Матвеева Н.И., Бирюкова М.Г. Питание гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Каспийском море // Сб. статей: Экологические аспекты природопользования Северного Прикаспия. 2017. С. 299-348.
33. Камакин А.М., Ходоревская Р.П. Влияние популяции вселенца *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz. 1865 на рыбное население каспийского моря // Биология внутренних вод. 2018. N 2. С. 51-56. DOI: 10.7868/S0320965218020067
34. Камакин А.М., Ходоревская Р.П., Парицкий Ю.А. Влияние нового вселенца гребневика *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz, 1865) на основные звенья экосистемы Каспийского моря // Вестник АГТУ. Серия Рыбное хозяйство. 2018. N 1. С. 35-48. DOI: 10.24143/2073-5529-2018-1-35-48
35. Камшилов М.М. Питание гребневика *Beroe cucumis* Fab. // Доклады АН СССР. 1960. Т. 130. N 5. С. 1138-1140.
36. Swanberg N.R. The feeding behavior of *Beroe ovata* // Marine Biology. 1974. V. 24. P. 69-76. DOI: 10.1007/BF00402849
37. Tamm S.L., Tamm S. Reversible epithelial adhesion closes the mouth of *Beroe*, a carnivorous marine jelly // Biol Bull. 1991. V. 181. Iss. 3. P. 463-473. DOI: 10.2307/1542367
38. Konsulov A., Kamburska L., Moncheva S., Krastev A., Prodonov K. The invasion of *Beroe ovata* in the Black Sea. Why a warning for ecosystem concern // Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea. Athens. Abstracts. 1999. P. 79-80.
39. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Анохина Л.Л., Востоков С.В., Кучерук Н.В., Лукашева Т.А. Массовое развитие гребневика *Beroe ovata* Eschscholtz у северо-восточного побережья Черного моря // Океанология. 2000. Т. 40. N 1. С. 52-55.
40. Востоков С.В., Арашкевич Е.Г., Дриц А.В., Лукашев Ю.Ф. Эколого-физиологические характеристики гребневика *Beroe ovata* в прибрежной зоне Черного моря: численность, биомасса, размерная характеристика популяции, поведение, питание, метаболизм // Океанология. 2001. Т. 41. N 1. С. 109-115.
41. Арашкевич Е.Г., Анохина Л.Л., Востоков С.В., Луппова Н.Е. Репродукционная стратегия гребневика *Beroe ovata* (Ctenophora. Atentaculata. Beroidea) – нового вселенца в Черное море // Океанология. 2001. Т. 41. N 2. С. 116-120.
42. Луппова Н.Е. Черноморский гребневик-вселенец *Beroe ovata* (ctenophora. atentaculata. beroidea): репродукционный успех в зависимости от условий обитания // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. N 10. С. 31-46.
43. Финенко Г.А., Романова З.А., Абалмасова Г.И. Новый вселенец в Черное море гребневик *Beroe ovata* Brungiere // Экология моря. 2000. Вып. 50. С. 21-25.
44. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Vostokov S.V., Vereshchaka A.L., Lukasheva T.A. Interaction between the populations of the ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* off the Caucasian Coast of the Black Sea // Oceanology. 2002. V. 42. N 5. P. 693-701.
45. Shiganova T.A., Legendre L., Kazmin A.S., Nival P. Interactions between invasive ctenophores in the Black Sea: assessment of control mechanisms based on long-term observations // Marine ecology progress series. 2014. V. 507. P. 111-123. DOI: 10.3354/meps10806
46. Луппова Н.Е., Арашкевич Е.Г. Современное состояние черноморского макрозоопланктона в шельфовой зоне моря. В кн.: Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана. Сборник тезисов научно-практической школы-конференции. 2018. С. 90-91.
47. Воловик С.П., Корпакова И.Г. Материалы к биологическому обоснованию вселения в Каспий *Beroe ovata* как фактора биоконтроля над развитием популяции *Mnemiopsis leidyi* // Научный бюллетень

Каспийского плавучего университета. 2002. N 3. С. 112-122.

48. Comprehensive study on probability of controlling Caspian Sea invasive Ctenophora Activity 4: The laboratory study on probability of controlling *Mnemiopsis leidyi* by use of *Beroe ovata* (reproduction study of *B. ovata* in the Caspian Sea water) Iranian Fisheries Science Research Institute. Report. Tehran. Iran 2007.

REFERENCES

1. Vinogradov M.E., Vostokov S.V., Arashkevich E.G., Drits A.V., Musaeva E.I., Anokhina L.L., Shushkina E.A. [The Peculiarities of the Comb-Bearers Introducers Biology and their Role in the Black Sea Ecosystem]. In: *Vidyvselentsy v evropeiskikh moryakh Rossii* [Species Introducers in the European seas in Russia]. Apatity, 2000, pp. 91-113. (In Russian)
2. Consulov A. It's another single prisylat. Morski Svyat. 1989. N 2. 25 p.
3. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Musaeva E.I., Sorokin P.Yu. New invader in the Black Sea-the Ctenophora *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) (Ctenophora: Lobata). *Okeanologiya* [Oceanology]. 1989. vol. 29, no. 2, pp. 293-299. (In Russian)
4. Shushkina E. A., Musaeva E. I. Structure of the plankton community of the Black Sea epipelagial and its changes in connection with the introduction of a new species of ctenophore. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1990, vol. 30, no. 2, pp. 324-328. (In Russian)
5. Zaika V.E., Sergeeva N.G. Morphology and development of the universal Ctenophora *Mnemiopsis mccradyi* (Ctenophora: Lobata) in the Black Sea. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal]. 1990, vol. 69, no. 2, pp. 5-10. (In Russian)
6. Shushkina E.A., Nikolaeva G.G., Lukasheva T.A. Changes in the structure of the plankton community of the Black Sea during the mass development of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz). *Zhurnal obshchei biologii* [Journal of General biology]. 1990, vol. 51, no. 1, pp. 54-60. (In Russian)
7. Shushkina E.A., Vinogradov M.E. Long-Term variability of plankton in open areas of the Black Sea. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1991, vol. 31, no. 6, pp. 973-980. (In Russian)
8. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Nikolaeva G.G. [Mass development of *Mnemiopsis* comb as a manifestation of anthropogenic impact on the marine ecosystem. Black Sea]. In: *Prakticheskaya ekologiya morskikh regionov. Chernoe more* [Practical ecology of marine regions]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1990, pp. 94-102. (In Russian)
9. Vinogradov M.E., Sapozhnikov V.V., Shushkina E.A. *Ekosistema Chernogo morya* [Ecosystem of the Black Sea]. Moscow, Nauka Publ., 1992, 112 p. (In Russian)
10. Volovik S.P., Luts G.N., Mirzoyan E.A., Pryakhin Yu.V., Rogov S.F., Studenikina E.I., Revin N.I. Introduction of *Mnemiopsis* combs into the sea of Azov: preliminary assessment of consequences. *Rybnoe khozyaistvo* [Fisheries]. 1991, no. 1, pp. 47-49. (In Russian)
11. Volovik S.P., Myrzoyan Z.A., Volovik G.S. *Mnemiopsis leidyi* in the Azov Sea: biology, population dynamics, impact to the ecosystem and fisheries. ICES Statutory Meeting. Sept., 1993, C.M. 1993 (L:69). ICES: Copenhagen. p. 30.
12. Tsikhon-Lukanina E.A., Reznichenko O.G. Nutrition Features of different-sized individuals of the *Mnemiopsis* comb in the Black Sea. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1991, vol. 31, no. 3, pp. 442-446. (In Russian)
13. Tsikhon-Lukanina E. A., Reznichenko O. G., Lukasheva T. A. Quantitative patterns of nutrition of the Black Sea ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1991, vol. 31, no. 2, pp. 272-276. (In Russian)
14. Tsikhon-Lukanina E.A., Reznichenko O.G., Lukasheva T.A. Eating of fish larvae by the combworm *Mnemiopsis leidyi* in the coastal waters of the Black Sea. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1993, vol. 33, no. 6, pp. 895-899. (In Russian)
15. Tsikhon-Lukanina E.A., Reznichenko O.G., Lukasheva T.A. Ecological variability of the population of the Ctenophora *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora) in the Black Sea. *Zhurnal obshchei biologii* [Journal of General biology]. 1993, vol. 54, no. 6, pp. 713-721. (In Russian)
16. Tsikhon-Lukanina E.A., Reznichenko O.G., Lukasheva T.A. Food Diversity in the Ctenophora *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora Lobata) in the Black Sea coast. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal]. 1999, vol. 78, no. 8, pp. 916-921. (In Russian)
17. Sergeeva N.G., Stutterer V.E., Mikhailova T.V. Nutrition of *Mnemiopsis mccradyi* in the Black Sea. *Ekologiya morya* [Marine ecology]. 1990, iss. 35, pp. 18-22. (In Russian)
18. Pavlova E.V., Minkina N.I. Breath of the Black Sea Ctenophora (Ctenophora, Lobata, *Mnemiopsis*). *Doklady Akademii Nauk* [Reports of the Academy of Sciences]. 1993, vol. 333, no. 5, pp. 682-683. (In Russian)
19. Finenko G.A., Abalmasova G.I., Romanova Z.A. Nutrition, oxygen consumption, and growth of *Mnemiopsis mccradyi* depending on food concentration. *Biologiya morya* [Marine Biology]. 1995, vol. 21, no. 5, pp. 315-320. (In Russian)
20. Shushkina E.A., Vinogradov M.E., Lukasheva T.A., Lebedeva L.P., Vostokov S.V. Comparative use of various plankton fishing tools for monitoring long-term changes in the black sea communities. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2003, vol. 43, no. 5, pp. 744-750. (In Russian)
21. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Mikaelyan A.S., Nezlin N.P. Temporal (seasonal and interannual) changes of ecosystem of the open water of the Black Sea. In: *Environmental degradation of the Black Sea: challenges and remedies*. (ed. S. Besiktepe et al). Netherlands. Kluwer Academic Publishers, 1999, vol. 56, pp. 109-129. DOI: 10.1007/978-94-011-4568-8_8
22. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Bulgakova Yu.V., Serobaba I.I. Zooplankton Eating by comb *Mnemiopsis* and pelagic fish in the Black sea. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1995, vol. 35, no. 4, pp. 569-573. (In Russian)
23. Kideys A.E. Recent dramatic changes in the Black Sea ecosystem: the reason for the sharp decline in Turkish anchovy fisheries. *Journal of Marine Systems*, 1994, vol. 5, iss. 2, pp. 171-181. DOI: 10.1016/0924-7963(94)90030-2

24. Opportunistic settlers and the problem of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* invasion in the Black Sea. GESAMP Reports and Studies, no. 58. IMO, UNEP, London, 1997, 84 p.
25. Chikina M.V., Kucheruk N.V. Long-term changes in the structure of coastal benthic communities in the Northeastern part of the Black Sea: influence of alien species. *Oceanology*. 2005, vol. 45, suppl. 1, pp. S176-S182.
26. Kucheruk N.V., Flint M.V., Maksimova O.V., Chikina M.V., Simakova U.V. [Modern dynamics of benthic communities of the North-Eastern shelf of the Black sea]. In: *Izmenenie prirodnoi sredy Rossii v XX veke* [Changes in the natural environment of Russia in the twentieth century]. Moscow, Molnet Publ., 2012, pp. 247-288. (In Russian)
27. Ivanov V.P., Kamakin A.M., Ushvitzev V.B., Shiganova T.A., Zhukova O., Aladin N., Susan I., Wilson S.I., Harbison G.R., Dumont H.J. Simultaneous invasion of the Caspian Sea by two jellies *Mnemiopsis* and *Aurelia*. *Journal Biological Invasions*. 2000, no. 2, pp. 255-258.
28. Vostokov S.V., Ushvitzev V.B., Lisitsyn B.E., Solovyov D.M. Summer state of the population of *Mnemiopsis leidyi* – an invader in the Caspian Sea and its relation to habitat conditions. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2004, vol. 44, no. 1, pp. 90-98. (In Russian)
29. Kamakin A.M., Egorov S.N. Vliyaniye populyatsii *Mnemiopsis leidyi* na razlichnye troficheskie urovni ekosistemy Kaspiiskogo morya [Influence of *Mnemiopsis leidyi* population on various trophic levels of the Caspian Sea ecosystem]. *Trudy I Mezhdunarodnogo foruma (6-i Mezhdunarodnoi konferentsii) «Aktual'nye problemy sovremennoi nauki. Estestvennye nauki», Samara, 2005* [Proceedings of the I International Forum (6th International Conference) "Actual problems of modern science. Natural science", Samara, 2005]. Samara, 2005, part 13, Ecology, pp. 65-72. (In Russian)
30. Kamakin A.M., Chizenkova O.A., Zaizev V.F. *Mnemiopsis leidyi* impact on some trophical chains of the Caspian Sea. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2010, vol. 5, no. 2, pp. 67-74. (In Russian)
31. Kamakin A.M., Zaitsev V.F. Regularities of long-term and interseasonal dynamics of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* population in the Caspian Sea. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2012, vol. 7, no. 1, pp. 96-102. (In Russian)
32. Zaitsev V.F., Kamakin A.M., Volkova I.V., Yurchenko V.V., Matveeva N.I., Biryukova M.G. [Nutrition of the ctenophila *Mnemiopsis leidyi* in the Caspian sea]. In: *Ekologicheskie aspekty prirodnopol'zovaniya Severnogo Prikaspiya* [Ecological aspects of nature management in the Northern Caspian region]. 2017, pp. 299-348. (In Russian)
33. Kamakin A.M., Khodorevskaya R.P. Impact of the alien species *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 on fish of the Caspian Sea. *Inland Water Biology*, 2018, no. 2, pp. 51-56. (In Russian) DOI: 10.7868/S0320965218020067
34. Kamakin A.M., Khodorevskaya R.P., Paritckij Yu.A. Influence of invader ctenophoran *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz, 1865) on the general parts of the Caspian Sea ecosystem. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*, 2018, no. 1, pp. 1-14 (In Russian) DOI: 10.24143/2073-5529-2018-1-35-48
35. Kamshilov M.M. The feeding of ctenophore *Beroe cucumis* Fab. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences]. 1960, vol. 130, no. 5, pp. 1138-1140. (In Russian)
36. Swanberg N.R. The feeding behavior of *Beroe ovate*. *Marine Biology*, 1974, vol. 24, pp. 69-76. DOI: 10.1007/BF00402849
37. Tamm S.L., Tamm S. Reversible epithelial adhesion closes the mouth of *Beroe*, a carnivorous marine jelly. *Biol Bull.*, 1991, vol. 181, iss. 3, pp. 463-473. DOI: 10.2307/1542367
38. Konsulov A., Kamburska L., Moncheva S., Krastev A., Prodonov K. The invasion of *Beroe ovata* in the Black Sea. Why a warning for ecosystem concern? *Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea*. Athens. Abstracts. 1999, pp. 79-80.
39. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Anokhina L.L., Vostokov S.V., Kucheruk N.V., Lukasheva T.A. Mass development of the *Beroe ovata* eschocholtz comb-leaf near the North-Eastern coast of the Black Sea. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2000, vol. 40, no. 1, pp. 52-55. (In Russian)
40. Vostokov S.V., Arashkevich E.G., Drits A.V., Lukashev Yu.F. Ecological and physiological characteristics of the *Beroe ovata* comb in the coastal zone of the Black Sea: population, biomass, size characteristics of the population, behavior, nutrition, metabolism. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2001, vol. 41, no. 1, pp. 109-115. (In Russian)
41. Arashkevich E.G., Anokhina L.L., Vostokov S.V., Luppova N.E. Reproductive strategy of the ctenophore *Beroe ovata* (Ctenophora. Tentaculata. Beroid) – a new invader in the Black Sea. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2001, vol. 41, no. 2, pp. 116-120. (In Russian)
42. Luppova N.E. Black Sea invasive comb jelly *Beroe ovata* (ctenophore, atentaculata, beroida): reproductive success depending on habitat conditions. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice]. 2018, vol. 4, no. 10, pp. 31-46. (In Russian)
43. Finenko G.A., Romanova Z.A., Abolmasova G. I. New invader in the Black sea ctenophore *Beroe Ovata* Brunguieri. *Ekologiya morya* [Marine ecology]. 2000, iss. 50, pp. 21-25. (In Russian)
44. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Vostokov S.V., Vereshchaka A.L., Lukasheva T.A. Interaction between the populations of the ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* off the Caucasian Coast of the Black Sea. *Oceanology*. 2002, vol. 42, no. 5, pp. 693-701.
45. Shiganova T.A., Legendre L., Kazmin A.S., Nival P. Interactions between invasive ctenophores in the Black Sea: assessment of control mechanisms based on long-term observations. *Marine ecology progress series*, 2014, vol. 507, pp. 111-123. DOI: 10.3354/meps10806
46. Luppova N.E., Arashkevich E.G. [Current state of the Black Sea macrozooplankton in the shelf zone of the sea]. In: *Nazemnye i morskije ekosistemy Prichernomor'ya i ikh okhrana* [Terrestrial and marine ecosystems of the black sea region and their protection]. 2018, pp. 90-91. (In Russian)

47. Volovik S.P., Korpakova I.G. Materials for the biological justification of the introduction of *Beroe Ovata* into the Caspian Sea as a factor of biocontrol over the development of the *Mnemiopsis* population. Nauchnyi byulleten' Kaspiiskogo plavuchego universiteta [Scientific Bulletin of the Caspian Floating University]. 2002, no. 3, pp. 112-122. (In Russian)

48. Comprehensive study on probability of controlling Caspian Sea invasive Ctenophora Activity 4: The laboratory study on probability of controlling *Mnemiopsis leidyi* by use of *Beroe ovata* (reproduction study of *B. ovata* in the Caspian Sea water) Iranian Fisheries Science Research Institute. Report. Tehran. Iran 2007.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей В. Востоков, сбор и обработка полевых данных, анализ результатов, написание рукописи. Алимурад А. Гаджиев и Нухкади И. Рабазанов, анализ результатов и исторических данных, участие в написании рукописи. Анастасия С. Востокова, обработка полевых данных, сбор и анализ климатических данных, подготовка иллюстраций, участие в написании рукописи. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey V. Vostokov collected and processed field data, analysed results and wrote the manuscript. Alimurad A. Gadzhiev and Nuhkadi I. Rabazanov analysed results and historical data and participated in writing the manuscript. Anastasia S. Vostokova processed field data, collected and analysed climate data, prepared illustrations and participated in writing the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Сергей В. Востоков / Sergey V. Vostokov <https://orcid.org/0000-0002-0754-9325>
Алимурад А. Гаджиев / Alimurad A. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-7359-1951>
Анастасия С. Востокова / Anastasia S. Vostokova <https://orcid.org/0000-0002-8547-3776>
Нухкади И. Рабазанов / Nuhkadi I. Rabazanov <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>

Оригинальная статья / Original article
УДК 581.553
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-36-51

Структура и оценка состояния древесных пород буковых лесов Дагестана

Хабагин У. Алиев¹, Зарема И. Солтанмурадова², Камилла И. Ахмедова²

¹Горный ботанический сад ОП ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Хабагин У. Алиев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений Горного ботанического сада ДФИЦ РАН; 367030 Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45.
Тел. +79887991445
Email alievxu@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2985-5622>

Формат цитирования

Алиев У.А., Солтанмурадова З.И., Ахмедова К.И. Структура и оценка состояния древесных пород буковых лесов Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 36-51. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-36-51

Получена 22 мая 2020 г.
Прошла рецензирование 14 июля 2020 г.
Принята 25 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Выявить особенности структуры и оценить современное состояние древесных пород буковых лесов Дагестана.

Материал и методы. Материал получен на основании анализа данных 69 пробных площадей, заложенных в различных физико-географических районах Дагестана. На площадях проведен детальный учет особей всех возрастных групп каждой породы. Общая площадь составила 43125 м². Всего в статистический анализ вовлечено 11446 особей разных пород, из которых 1974 формируют древесный ярус, где каждая особь оценена по шкале категорий состояния.

Результаты. Исследование структуры буковых лесов показало долю участия *Fagus orientalis* Lipsky от 7,5 до 8,5 единиц. Средний возраст бука верхнего подъяруса в предгорьях составляет 110 лет, а высокогорьях – 160 лет. У большинства древесных видов возрастные спектры носят левосторонний, неполночленный характер. У бука полночленный возрастной спектр наблюдается в буковых лесах Юго-западного подрайона и в Высокогорном районе. Наблюдается общая тенденция ухудшения состояния особей при переходе от верхнего подъяруса к нижнему. Среднее состояние особей бука в древесном ярусе составляет 1,4 балла. Категории состояния остальных пород в целом ближе к ослабленным.

Выводы. Полученные результаты по структуре и состоянию древесных видов буковых лесов Дагестана подтверждают высокую эдификаторную роль бука. Наибольшее негативное влияние оказывает антропогенный фактор, что подтверждается неполночленностью возрастного спектра бука и низкой долей участия старовозрастной генеративной группы и постгенеративного периода.

Ключевые слова

Дагестан, буковый лес, древесные виды, структура, возрастная группа, категория состояния.

Structure and assessment of the condition of woody species in the beech forests of Dagestan, Russia

Khabagin U. Aliev¹, Zarema I. Soltanmuradova² and Kamilla I. Akhmedova²

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

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Khabagin U. Aliev, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Introduction and Genetic Resources of Woody Plants, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, 45 Gadghiev St, Makhachkala, Russia 367030.
Tel. +79887991445
Email alievxu@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2985-5622>

How to cite this article

Aliev Kh.U., Soltanmuradova Z.I., Akhmedova K.I. Structure and assessment of the condition of woody species in the beech forests of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 36-51. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-36-51

Received 22 May 2020

Revised 14 July 2020

Accepted 25 August 2020

Abstract

Aim. To identify the structural features and assess the current condition of woody species in the beech forests of Dagestan, Russia.

Material and Methods. Research was based on the analysis of data from 69 sampling areas located in various physical-geographical regions of Dagestan. A detailed accounting of individual specimens of all age groups of each species was undertaken in the sampling areas. The total area surveyed was 43,125 m². In total, 11,446 individuals of different species were involved in the statistical analysis, of which 1,974 form a tree tier, in which each individual is evaluated according to a scale of condition categories.

Results. A study of the structure of beech forests showed the participation rate of *Fagus orientalis* Lipsky to be from 7.5 to 8.5 points. The average age of the upper sub-level of beech in the foothills was 110 years and in the highlands 160 years. For most woody species the age spectrum was sinistral and incomplete. Beech with a full-membered age spectrum were observed in the beech forests of the southwestern sub-region and in the high mountain region. A general trend is observed of deterioration of the condition of individuals in the transition from the upper to the lower sub-level. The average condition of beech individuals within the tree tier is 1.4 points. The condition categories of other species are characterized as being generally closer to 'weakened'.

Conclusion. The results obtained regarding the structure and condition of woody species in the beech forests of Dagestan confirm the highly edifying role of beech. The greatest negative impact is exerted by the anthropogenic factor, which is confirmed by the incompleteness of the beech age spectrum and the low participation rate of the old-growth generative group and of the post-generative period.

Key Words

Dagestan, beech forest, tree species, structure, age group, status category.

ВВЕДЕНИЕ

Буковые леса Дагестана из *Fagus orientalis* Lipsky, роль которых на сегодняшний день не оценена в должной мере, сохранились до нас с третичного периода в обедненном и трансформированном виде. Отличительной чертой исследуемых лесных комплексов является уникальное биологическое разнообразие: насыщенность гирканскими и колхидскими реликтовыми и эндемичными элементами, редкими и охраняемыми видами. Леса выполняют водоохранную, воздухоочищающую, санитарно-защитную, противоэрозионную, климаторегулирующую и поддерживающую равновесие в экорегионе Восточного Кавказа функции. В настоящее время деградация фитоценозов в буковых лесах Дагестана диктует необходимость выявления структурно-функциональной организации, реальной оценки состояния и принятия неотложных мер по сохранению и рациональному использованию уникальных биоценозов. Необходимость проведения детальных исследований с применением комплекса современных фитоценологических, популяционных и эколого-биологических методов связано с тем, что последние фитоценологические исследования, отражающие характеристики буковых лесов Дагестана были проведены более 40 лет назад. Кроме того, во всех предыдущих исследованиях отсутствуют сведения о состоянии и детальной структуре древесных пород, что крайне необходимо для выявления адаптивных стратегий вида и популяций, а также понимания процессов, протекающих в лесных фитоценозах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись массивы буковых лесов из *Fagus orientalis* Lipsky, изолированно произрастающие в Предгорном и Высокогорном Дагестане. Основные площади буковых лесов расположены в предгорьях и, в зависимости от физико-географических условий, этот район подразделяется на три подрайона: Северо-Западный, Центральный и Юго-Восточный [1; 2].

Сбор материала проводился на протяжении 2016-2020 гг. В статье использованы данные количественных и качественных учетов особей древесных пород, произрастающих на 69 пробных площадях (ПП), размер каждой из которых составлял 625 м². Общая площадь исследований составила 43125 м², а в статистический анализ вовлечено 11446 особей древесных видов. Из них для 1974 особей, входящих в состав древесного яруса, приведены средние значения морфо-биометрических показателей и категории состояния. В Высокогорном районе исследования проведены на 30 ПП, заложенных в Цунтинском и Тляратинском административных районах. Общая площадь составила 18750 м². Всего учету подверглись 4656 особей, из которых в древесный ярус вошли 889.

В Северо-Западном подрайоне учет проведен в буковых лесах, произрастающих в Казбековском административном районе на 10 ПП, общей площадью 6250 м². Количество учтенных особей составило 1781, из которых в древесный ярус вошли 287. В Центральном подрайоне заложены 10 ПП на территории Буйнакского и Сергокалинского административных районов. Общая площадь составила 6250 м². Всего здесь учтено 1826 особей. Из них в состав древесного яруса включены 292 особи. В Юго-Восточном подрайоне исследования проводились на 19 ПП в Кайтагском административном районе. Общая площадь составила 11875 м², где учтено 3183 особей. Из них в составе древесного яруса произрастают 506 особей.

Закладка и детальный учет особей всех возрастных групп древесных видов на ПП проводились с применением общепринятых методов. Для особей, входящих в состав древесного яруса приводятся средние значения таких количественных и качественных параметров как: высота, диаметр на высоте 1,3 м, возраст и категория состояния. Календарный возраст высчитывался с применением возрастного индекса для каждой породы в конкретных условиях экотопа. Возрастной индекс представляет собой среднее значение прироста в диаметре, полученное путем прямого подсчета годовичных колец на керне. КERN извлекался из ствола при помощи возрастного бурава фирмы «Haglof» на высоте 1,3 м. К полученному с использованием возрастного индекса возрасту дерева прибавлялся средний возраст подроста породы высотой 1,3 м, который высчитывался путем прямого подсчета годовичных колец на срезанных у корневой шейки особей [3-6].

Древесный ярус в каждой ПП был разбит нами на три подъяруса, что наглядно демонстрирует влияние эдификатора и облегчает процесс распределения возрастного состояния особей. Каждая исследуемая особь древесного вида отнесена нами к определенной возрастной группе [7-9]. Отдельно для каждого подъяруса и общие по районам исследования приведены формулы состава древостоя, с применением общепринятых принципов и методов [10; 11]. В качестве дополнения к методу выведения формул, где для обозначения доли участия используется целые значения коэффициентов (сумма всех значений должна равняться 10), нами для более точной оценки доли вклада каждой породы использовались десятичные значения. Оценка текущего состояния исследуемых видов древесного яруса проведена методом наземного лесопатологического обследования, которая характеризуется соотношением деревьев разных категорий состояния (табл. 1) [12].

Обработка и анализ данных проведена с применением описательной статистики в программах Excel и Statistica v. 5.5.

Таблица 1. Шкала категорий состояния деревьев**Table 1.** Scale of tree condition categories

Категории состояния Condition category	Признаки категорий состояния Condition category attributes	
	Хвойные Coniferous	Лиственные Hardwood
1 – без признаков ослабления (здоровые) 1 – no signs of weakening (healthy)	Крона густая, хвоя (листва) зелёная, прирост текущего года нормального размера для данной породы, возраста и условий местопроизрастания Crown thick, needles (foliage) green, growth of current year of normal size for species, age and growing conditions	
2 – ослабленные 2 – weakened	Крона разреженная, хвоя светло-зеленая, прирост уменьшен, но не более чем наполовину, отдельные ветви засохли / Crown sparse, needles light green, growth reduced (but not more than half), individual branches withered	Крона разреженная, листва светло-зеленая, прирост уменьшен, но не более чем наполовину, отдельные ветви засохли, единичные водяные побеги / Crown sparse, foliage light green, growth reduced (but not more than half), individual branches withered, individual water shoots
3 – сильно ослабленные 3 – severely weakened	Крона ажурная, хвоя светло-зеленая, матовая, прирост слабый, менее половины обычного, усыхание ветвей до 2/3 кроны / Openwork crown, light green needles, matte, weak growth (less than half the usual), drying of branches to 2/3 of the crown	Крона ажурная, листва мелкая, светло-зеленая, прирост слабый, менее половины обычного, усыхание ветвей до 2/3 кроны, обильные водяные побеги / Openwork crown, foliage small, light green, weak growth (less than half the usual), branches shrunk to 2/3 of crown, abundant water shoots
4 – усыхающие 4 – shrinking	Крона сильно ажурная, хвоя серая, желтоватая или желто-зеленая, прирост очень слабый или отсутствует, усыхание более 2/3 ветвей / Pronounced openwork crown, needles are gray, yellowish or yellow-green, growth very weak or absent with drying of more than 2/3 of branches	Крона сильно ажурная, листва мелкая, редкая, светло-зеленая или желтоватая, прирост очень слабый или отсутствует, усыхание более 2/3 ветвей / Pronounced openwork crown, the foliage is small, sparse, light green or yellowish, growth very weak or absent with drying of more than 2/3 of branches
5 – свежий сухостой 5 – fresh dry wood	Хвоя серая, желтая или красно-бурая, частичное опадение коры / Needles gray, yellow or red-brown, with partial bark loss	Листва увяла или отсутствует, частичное опадение коры / Foliage faded or missing, partial abscission of bark
6 – старый сухостой 6 – old dry wood	Живая хвоя (листва) отсутствует, кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью, стволовые вредители вылетели, на стволе грибница дереворазрушающих грибов / Live needles (foliage) missing, bark and small twig fallen partially or completely, stem pests have left and there is a mycelium of wood-destroying fungi on trunk	

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 приведены данные структуры, количественного состава и категорий состояния древесного яруса буковых лесов, характерных для *Северо-Западного подрайона*. Всего на площади 6250 м² в древесном ярусе произрастет 287 особей. Доля бука составляет 8 единиц – 8Бк 1Гр 0,5Лп 0,5Дб (Клс, Клпл, Чрш) + Рбг Вз Грш Ос.

В сложении первого подъяруса участвуют 139 стволов, с формулой древостоя – 9Бк 1Гр + Лп Клпл Ос. Здесь произрастают 125 особей *Fagus orientalis*, средний диаметр которых составляет 40,3 см, а высота – 31,2 м. Средний возраст бука 108 лет, а максимальный – около 250 лет. Состояние особей бука оценено в 1,1 балл. Содоминантом в этом подъярусе выступает *Carpinus betulus* – 9 особей, со средним возрастом 85 лет и состоянием 1,3 балла. Незначительное участие в сложении подъяруса принимают 3 дерева *Tilia begoniifolia*, состояние которых оценено в 1,3 балла.

Единично произрастают здоровые особи *Acer platanoides* и *Populus tremula*.

Во втором подъярусе всего отмечено 75 особей, и доля бука составляет 6 единиц – 6Бк 2Гр 0,5Дб 0,5Клс 0,5Лп 0,5Чрш (Клпл). Всего деревьев бука 46. Средний диаметр ствола составляет 20,9 см, высота – 22,1 м, возраст – 69 лет. Среднее состояние оценено в 2,2 балла. Наблюдается увеличение доли участия граба до двух единиц. Среднее состояние у 15 особей оценено в 3,1 балла. На долю *Quercus iberica*, *Tilia begoniifolia* и *Acer laetum* приходится по 0,5 единиц. Единично произрастают здоровые особи *Acer platanoides* и *Cerasus avium*, с состоянием в 1,8 балла.

Третий подъярус формируют 73 особи, из которых на долю *Fagus orientalis* приходится 8 единиц – 8Бк 0,5Лп 0,5Гр 1Рбг (Вз Грш). Всего особей бука здесь 58, со средним диаметром ствола – 14 см, высотой – 10,9 м и возрастом – 52 года. Среднее состояние оценено в 2,2 балла. По 0,5 единиц приходится на *Tilia begoniifolia* и

Carpinus betulus, со средними значениями состояний 2,1 и 3,1 балла, соответственно. На долю *Sorbus torminalis*,

Ulmus glabra, *Cerasus avium*, *Pyrus caucasica* в общем приходится 1 единица.

Таблица 2. Характеристика древесного яруса и категории состояний древесных видов буковых лесов Северо-Западного физико-географического подрайона (6250 м²)

Table 2. Characteristics of the tree layer and categories of tree species of beech forests in the North-West physical and geographical subdistrict (6250 m²)

Подъярус Substage	Вид Species	Количество, шт. Number of individuals	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см Trunk diameter at height of 1.3 m, cm		Высота, м Height, m		Возраст, лет Age, years		Категория состояния, балл Condition category, score
			ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.	
1	<i>Fagus orientalis</i>	125	40,3	105	31,2	37	108	248	1,1
	<i>Carpinus betulus</i>	9	32,4	40	26,2	28	85	102	1,3
	<i>Acer platanoides</i>	1	42		30		87		1
	<i>Tilia begoniifolia</i>	3	37,7	45	29	30	54	63	1,3
	<i>Populus tremula</i>	1	25		27		31		1
	Всего – формула / Total – forest stand		139 – 9Бк 1Гр + Лп Клпл Ос						
2	<i>Fagus orientalis</i>	46	20,9	46	22,1	27	69	120	2,2
	<i>Carpinus betulus</i>	15	21,3	27	19,6	24	60	73	3,1
	<i>Quercus iberica</i>	4	25,8	40	19,3	23	115	168	1,1
	<i>Tilia begoniifolia</i>	3	24,3	25	23	26	37	38	1
	<i>Acer platanoides</i>	1	30		25		65		1
	<i>Cerasus avium</i>	2	21	22	21	22	32	34	1,8
	<i>Acer laetum</i>	4	22,3	24	23	25	51	54	1
Всего – формула / Total – forest stand		75 – 6Бк 2Гр 0,5Дб 0,5Клс 0,5Лп 0,5Чрш (Клпл)							
3	<i>Fagus orientalis</i>	58	14	62	10,9	18	52	113	2,2
	<i>Carpinus betulus</i>	4	14,3	17	11,5	16	44	50	3,1
	<i>Tilia begoniifolia</i>	5	19	35	11,2	18	31	51	2,1
	<i>Sorbus torminalis</i>	2	11,5	15	8,5	11	40	49	1
	<i>Ulmus glabra</i>	1	11		7		23		1,5
	<i>Acer platanoides</i>	1	9		5,5		26		3
	<i>Cerasus avium</i>	1	15		12		28		1,5
	<i>Pyrus caucasica</i>	1	17		15		78		1,5
Всего – формула / Total – forest stand		73 – 8Бк 0,5Лп 0,5Гр 1Рбг (Вз Грш)							
Всего – формула / Total – forest stand		287 – 8Бк 1Гр 0,5Лп 0,5Дб (Клс, Клпл, Чрш) + Рбг Вз Грш Ос							

Среднее состояние *Fagus orientalis* / Average state of *Fagus orientalis*

1,4

Примечание / Note: Бк – *Fagus orientalis*, Гр – *Carpinus betulus*, Лп – *Tilia begoniifolia*, Дб – *Quercus iberica*, Клс – *Acer laetum*, Клпл – *Acer platanoides*, Чрш – *Cerasus avium*, Рбг – *Sorbus torminalis*, Вз – *Ulmus glabra*, Грш – *Pyrus caucasica*, Ос – *Populus tremula*

В целом, наблюдается тенденция общего ухудшения состояния особей при переходе от верхнего к подчиненному подъярусу. Общее состояние особей *Fagus orientalis* в древесном ярусе в Северо-Западном подрайоне Предгорного Дагестана оценено в 1,4 балла.

На рисунке 1 представлены спектры возрастных групп 12 древесных видов. Всего на площади 6250 м² произрастают 1781 особей. *Fagus orientalis* представлен 1252 особями. Для ценопопуляции бука характерен левосторонний, неполночленный возрастной спектр, отсутствуют субсенильные особи. Около 1/3 особей (32,3%) являются проростками. На долю ювенильных особей приходится 17,3%. Иматурных особей 275, что составляет 21,8%. Доля виргинильных особей – 16,4%. Доля особей генеративного периода в общем составля-

ет 11,5%, где преобладает средневозрастная группа – 6,7%. Старовозрастных особей – 16, что составляет 1,3%. Сенильная группа составляет 0,7%.

Всего особей *Carpinus betulus* 190, ценопопуляция характеризуется левосторонним, полночленным возрастным спектром. Более 80% особей прегенеративного периода, где больше всего отмечено проростков – 32,1%. Количество особей *Quercus iberica* 6. Возрастной спектр ценопопуляции левосторонний, неполночленный, отсутствуют особи виргинильной, молодой генеративной, субсенильной и сенильной групп. На проростки приходится 37,5%. *Tilia begoniifolia* представлена 44 особями. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный, отсутствуют старовозрастные и субсенильные особи. На долю проростков приходится 43,2%. Всего

генеративных особей 7, что составляет 15,9%. Особей *Acer laetum* на исследуемой площади – 66. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный, отсутствуют особи молодой и старовозрастной генеративной групп и постгенеративного периода. Доля проростков составляет 43,9%. Всего особей *Acer platanoides* 92, из которых на долю проростков приходится 50%. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный, не представлены особи молодой и старовозрастной генеративной, субсенильной и сенильной групп. Как и для большинства

видов наблюдается снижение доли при переходе к ювенильной группе – 24%. *Fraxinus excelsior* представлен 53 особями, где отмечен только прегенеративный период. Преобладает проростковая группа, доля которой составляет 77,3%. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. *Ulmus glabra* представлен 24 особями. Для ценопопуляции характерен левосторонний, неполночленный возрастной спектр. Отсутствуют проростки, средне- и старовозрастные генеративные, субсенильные и сенильные группы.

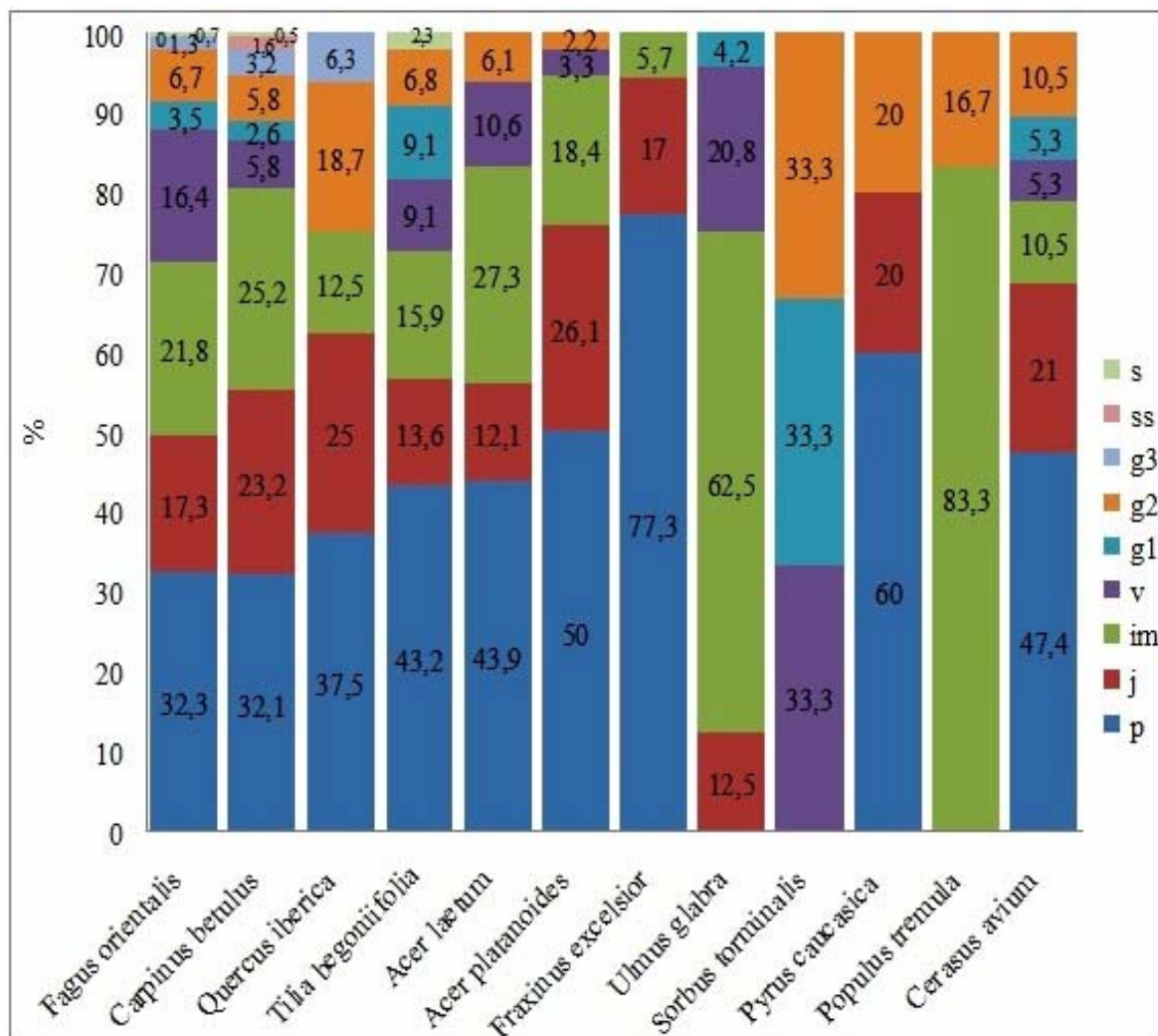


Рисунок 1. Спектры возрастных групп древесных видов буковых лесов Северо-Западного подрайона на площади 6250 м²

Figure 1. Spectra of age groups of woody species of beech forests of North-Western sub-region in an area of 6250 м²

Примечание (здесь и далее в рисунках принятые сокращения обозначений возрастных групп): p – проростковая, j – ювенильная, im – имматурная, v – виргинильная, g1 – молодая генеративная, g2 – средневозрастная генеративная, g3 – старовозрастная генеративная, ss – субсенильная, s – сенильная

Note that here and in the figures below the following abbreviations for age groups are used: s – seedlings, j – juvenile, im – immature, v – virginal, g1 – young generative, g2 – middle-aged generative, g3 – old-age generative, ss – subsenile, s – senile

Sorbus torminalis представлен 3 особями из трех групп: виргинильная, молодая и средневозрастная генеративная. Особей *Pyrus caucasica* – 5, из которых 3 проростки, одна ювенальная и одна молодая генеративная особи. *Populus tremula* представлен 6 особями, 5 из которых (83,3%) отнесены к имматурной группе порослевого происхождения и одна – к средневозрастной генеративной. Возрастной спектр *Cerasus avium*, которая пред-

ставлена 19 особями, носит левосторонний, неполночленный характер. Отсутствуют особи старовозрастной генеративной, субсенильной и сенильной групп. Доля участия проростков составляет 47,4%, а особи генеративного периода в целом составляют 15,8%.

В целом, для большинства древесных видов буковых лесов Северо-Западного подрайона характерны левосторонние неполночленные возрастные спектры,

кроме *Carpinus betulus*. Отсутствие субсенильной группы и незначительная доля старовозрастных генеративных и сенильных особей у *Fagus orientalis* связано с тем, что в исследованных лесных массивах проводятся рубки ухода и уборка неликвидной древесины.

Данные структуры, количественный состав и категории состояния особей древесного яруса буковых лесов Центрального подрайона приведены в таблице 3. Всего на площади 6250 м² в древесный ярус слагают 292 ствола.

Таблица 3. Характеристика древесного яруса и категории состояний древесных видов буковых лесов Центрального физико-географического подрайона (6250 м²)

Table 3. Characteristics of tree tiers and condition categories of woody species of beech forests in Central physical-geographical sub-region (6250 м²)

Подъярус Substage	Вид Species	Количество, шт. Number of individuals	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см Trunk diameter at height of 1.3 m, cm		Высота, м Height, m		Возраст, лет Age, years		Категория состояния, балл Condition category, score
			ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.	
1	<i>Fagus orientalis</i>	130	38,1	73	31,7	37	103	182	1,1
	<i>Carpinus betulus</i>	11	35,5	65	29,4	35	92	158	1,1
	<i>Acer platanoides</i>	3	33	35	28,7	31	70	74	1
	<i>Fraxinus excelsior</i>	1	32		28		94		1,5
	<i>Acer laetum</i>	1	25		26		55		1
	<i>Tilia begoniifolia</i>	1	40		25		67		1
	Всего – формула / Total – forest stand		147 – 9Бк 1Грб + Клпл Клс Лп Яс						
2	<i>Fagus orientalis</i>	38	19,8	31	20,8	25	63	87	1,7
	<i>Carpinus betulus</i>	14	21,3	30	21,3	25	59	80	1,3
	<i>Quercus iberica</i>	9	24,9	34	21,5	23	112	145	1,3
	<i>Tilia begoniifolia</i>	8	22,8	25	21	24	35	38	1,3
	<i>Acer platanoides</i>	1	23		22		52		1,5
	Всего – формула / Total – forest stand		70 – 5,5Бк 2Гр 1,5Дб 1Лп + Клпл						
3	<i>Fagus orientalis</i>	47	15,3	32	9,9	18	54	91	2,4
	<i>Carpinus betulus</i>	13	14,2	17	11,8	16	42	49	1,3
	<i>Quercus iberica</i>	3	10,7	16	8,3	13	70	89	1,7
	<i>Tilia begoniifolia</i>	2	10	12	8	10	20	22	2
	<i>Sorbus torminalis</i>	3	13,7	15	12,7	14	48	52	1
	<i>Ulmus glabra</i>	4	9,5	10	9,8	12	21	22	2,4
	<i>Acer laetum</i>	1		8		7		24	1
	<i>Acer platanoides</i>	1		8		8		24	1
	<i>Acer campestre</i>	1		10		9		35	1
	Всего – формула / Total – forest stand		75 – 6Бк 2Гр 2Вз(Дб Рбг) +Лп Клпл Клс Клпв						
Всего – формула / Total – forest stand		292 – 7,5Бк 1,5Гр 1Дб(Лп) + Клпл Яс ВЗ Клс Клпв Рбг							

Среднее состояние *Fagus orientalis* / Average state of *Fagus orientalis*

1,3

Примечание / Note: Бк – *Fagus orientalis*, Гр – *Carpinus betulus*, Лп – *Tilia begoniifolia*, Дб – *Quercus iberica*, Клс – *Acer laetum*, Клпл – *Acer platanoides*, Рбг – *Sorbus torminalis*, ВЗ – *Ulmus glabra*, Яс – *Fraxinus excelsior*, Клпв – *Acer campestre*

Доля бука составляет 7,5 единиц – 7,5Бк 1,5Гр 1Дб(Лп) + Клпл Яс ВЗ Клс Клпв Рбг. В первом подъярусе отмечено 147 особей – 9Бк 1Гр + Лп Клпл Ос. Всего стволов бука 130. Средний диаметр составляет 38,1 см, а высота – 31,7 м. Средний возраст бука составляет 103 года, а максимальный – 182. Состояние особей бука оценено в 1,1 балл. *Carpinus betulus* в этом подъярусе представлен 11 особями, со средним возрастом 92 года и состоянием 1,1 балла. Незначительное участие в сложении подъяруса принимает 3 дерева *Acer platanoides*, средний возраст которых 70 лет, а состояние – 1,1 балл. Единично представлены здоровые особи *Acer laetum* и

Tilia begoniifolia, а также, *Fraxinus excelsior*, с категорией состояния – 1,5 балла.

Во втором подъярусе, где произрастают 70 особей, доля участия бука снижается до 5,5 единиц – 5,5Бк 2Гр 1,5Дб 1Лп + Клпл. Всего деревьев бука 38. Средний диаметр ствола составляет 19,8 см, высота – 20,8 м, возраст – 63 года. Среднее состояние оценено в 1,7 балла. Доля *Carpinus betulus* составляет 2 единицы. Среднее состояние у 14 особей оценено в 1,3 балла. Средний диаметр ствола составляет 21,3 см, средняя высота – 21,3 м, а возраст – 59 лет. Наблюдается увеличение доли участия *Quercus iberica* – 1,5 единиц. Всего

особей дуба в древесном ярусе – 9, средний диаметр которых составляет 24,9 см, высота – 21,5 м, а возраст 112 лет. Среднее состояние оценено в 1,3 балла. Доля участия *Tilia begoniifolia* составляет 1 единицу и представлена 8 особями. Средний диаметр ствола составляет 22,8 см, высота – 21 м, а возраст – 35 лет. Состояние особей оценено в 1,3 балла. Единично произрастает *Acer platanoides*, с категорией состояния 1,3 балла.

В формировании третьего яруса участвуют 75 особей, из которых на долю бука приходится 6 единиц – 6Бк 2Гр 2Вз (Дб Рбг) +Лп Клпл Клс Клпв. Всего особей бука здесь 47, со средним диаметром ствола 15,5 см, высотой – 9,9 м и возрастом – 54 года. Среднее состояние оценено в 2,4 балла. Доля граба составляет 2 единицы. Средний диаметр ствола у 13 особей составляет

14,2 см, высота – 11,8, а возраст – 42 года. Среднее состояние составляет 1,3 балла. В общем две единицы третьего подъяруса образуют 9 угнетенных особей *Ulmus glabra*, *Quercus iberica*, *Tilia begoniifolia* и 3 здоровые особи *Sorbus torminalis*. Единично произрастают здоровые особи *Acer laetum*, *Acer platanoides* и *Acer campestre*. Здесь, также, наблюдается тенденция общего ухудшения состояния особей при переходе от верхнего к подчиненному подъярусу. Общее состояние особей бука в древесном ярусе Центрального подрайона оценено в 1,3 балла.

На рисунке 2 приведены возрастные спектры для 13 видов древесных видов, произрастающих в Центральном подрайоне Предгорного Дагестана на площади 6250 м².

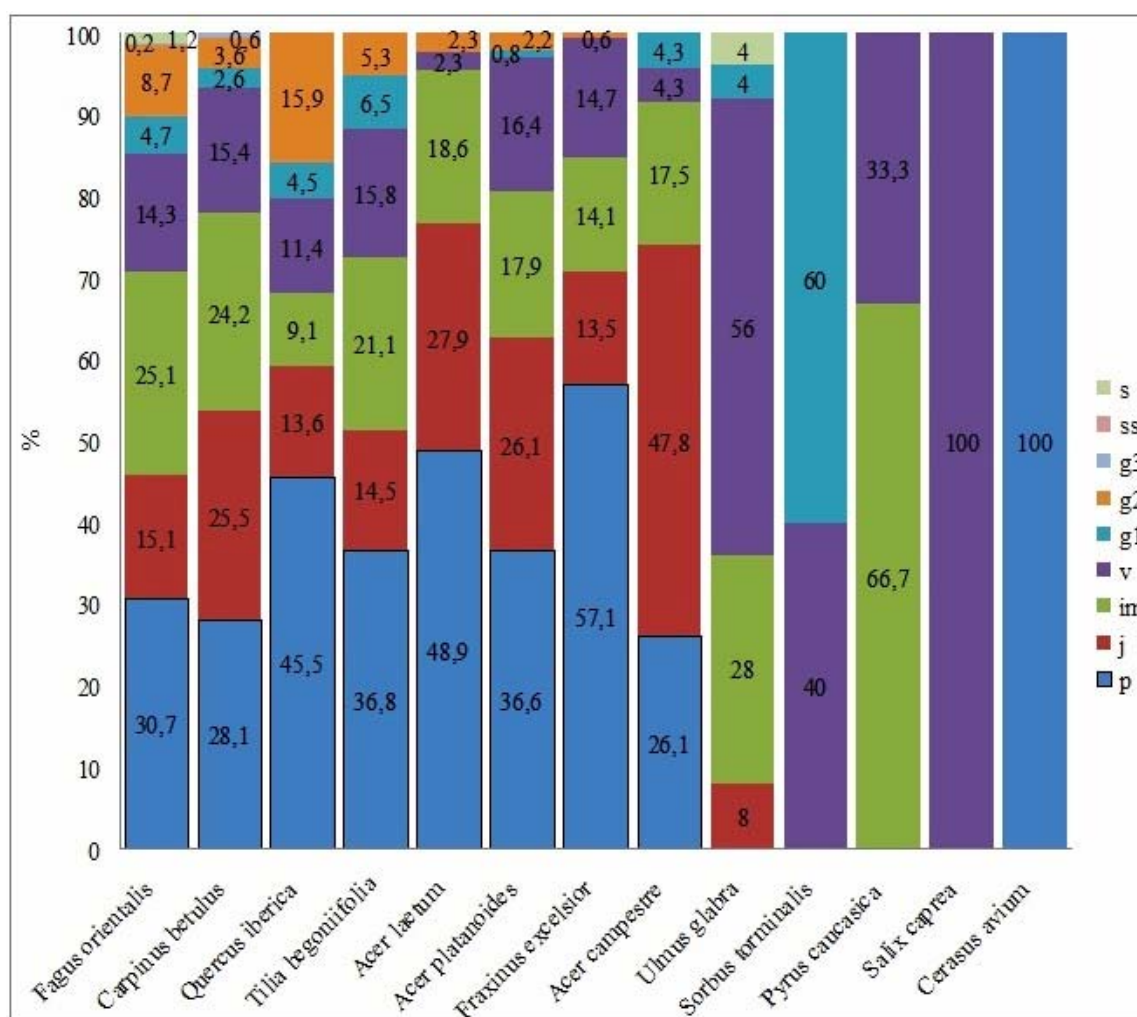


Рисунок 2. Спектры возрастных групп древесных видов буковых лесов Центрального подрайона на площади 6250 м²
Figure 2. Spectra of age groups of woody species of beech forests of Central sub-region in an area of 6250 м²

Здесь зафиксировано произрастание 988 особей бука. Возрастной спектр ценопопуляции левосторонний, неполноценный, отсутствуют особи субсенильной группы. Доля проростков составляет 30,7%. Их количество вдвое сокращается при переходе к ювенильной группе – 15,1%. Имматурная группа составляет 25,1%. Всего виргинильных особей 141, что составляет 14,3%. Доля участия молодых генеративных особей – 4,7%. Средне-возрастных особей всего 86, что составляет 8,7%. Доля

участия старовозрастных особей всего 0,2%. Всего угнетенных особей *Carpinus betulus* – 306. Для вида в составе исследуемых буковых лесов характерен левосторонний, неполноценный возрастной спектр, отсутствуют особи постгенеративного периода. Доли проростковой, ювенильной и имматурной групп не сильно разнятся и, в общем, составляют 77,8%. Наблюдается снижение участия виргинильной группы, связанное с внутри- и межвидовой конкуренцией. Их доля состав-

ляет 15,4%. Группы генеративного периода в общем составляют 6,8%, преобладают средневозрастные особи – 3,6%.

Quercus iberica представлен 44 особями. Возрастной спектр носит левосторонний, неполноценный характер, отсутствуют особи старой генеративной, субсенильной и сенильной групп. Преобладают особи прегенеративного периода, а именно проростки – 45,5%. На долю ювенильной группы приходится 13,6%. Доля иматурной группы снижается до 9,1%, а виргинильной составляет 11,4%. Средневозрастные генеративные особи составляют 15,9%, а молодые – 4,5%.

Всего особей *Tilia begoniifolia* – 76. Возрастной спектр носит левосторонний, неполноценный характер, отсутствуют старовозрастная генеративная, субсенильная и сенильная группы. Преобладают особи прегенеративного периода. Доля участия проростков составляет 36,8%. Ювенильных особей всего 11, что составляет 14,5%. На долю иматурных особей приходится 21,1%, а виргинильных – 15,8%. Доли участия молодых и средневозрастных особей не сильно разнятся и в общем оставляет 11,8%. *Acer platanoides* представлен 134 особями. Возрастной спектр левосторонний, неполноценный, отсутствуют особи старой генеративной, субсенильной и сенильной групп. Преобладают особи прегенеративного периода. Доля проростков составляет 36,6%. Всего зафиксированных ювенильных особей – 35, с долей участия 26,1%. Иматурных и виргинильных особей примерно одинаковое количество, и в общем их доля составляет 34,3%. Молодых генеративных особей всего 1, с долей вклада 0,8%, а вклад средневозрастной группы составляет 2,2%. Всего особей *Fraxinus excelsior* на исследуемой площади – 177. Возрастной спектр вида в данных условиях носит левосторонний, неполноценный характер. Отсутствуют особи молодой и старой групп генеративного периода, а также особи постгенеративного периода. Доля проростковой группы составляет 57,1%. Наблюдается резкое снижение при переходе к ювенильной группе, их доля составляет 13,5%, что связано с гибелью основной массы проростков в первый год жизни. Относительная стабильность наблюдается при переходе к иматурной – 14,1% и виргинильной – 14,7 группам. Генеративной стадии достигают всего 0,6%. *Acer campestre* представлен 23 особями. Возрастной спектр левосторонний, неполноценный. Не представлены особи средне- и старовозрастной групп генеративного периода и группы постгенеративного периода. Преобладают особи ювенильной группы – 47,8%. Вероятно, это связано с периодичностью плодоношения вида в данных условиях. Проростков всего 6, что составляет 26,1%. Доля иматурной группы – 17,5. В составе виргинильной и молодой генеративной группы по одной особи. *Ulmus glabra* представлен всего 25 особями. Возрастной спектр левосторонний, неполноценный. Не представлены проростковая, средне- и старовозрастная генеративные и субсенильная группы. Ювенильных особей всего 2 и их доля составляет 8%. Иматурная группа составляет 28%. Наиболее многочисленной является виргинильная группа, с долей вклада 56%. Молодых генеративных особей всего 1 и доля ее составляет 4%. Особей сенильной группы – 1,

что составляет 4%. Особей *Sorbus torminalis* всего 5, из которых два (40%) относятся к виргинильной группе, а 3 – к молодой генеративной (60%). Возрастной спектр неполноценный. *Pyrus caucasica* представлен 3 особями иматурной (66,7%) и виргинильной (33,3%) групп прегенеративного периода. *Salix caprea* и *Cerasus avium* представлены по одной особи прегенеративного периода.

В таблице 4 представлены данные структуры, количественного состава и категорий состояния древесного яруса буковых лесов Юго-Восточного подрайона. Всего на площади 11875 м² в составе древесного яруса отмечены 506 особей. Доля бука составляет 8,5 единиц – 8,5Бк 1Гр 0,5Клс + Дб ВЗ Ос Клпл Бр Яс Грш Чрш Лп Рбг. В первый подъярус входит 303 стволов. Из них на долю бука приходится 9,5 единиц – 9,5Бк 0,5Гр + Клс Бр Клпл Дб Грш ВЗ Ос. Всего стволов бука 278. Средний диаметр ствола составляет 42,7 см, высота – 30,8 м, а возраст – 113 лет. Максимальный отмеченный возраст для этого подрайона составляет 262 года, при диаметре ствола на высоте 1,3 м – 113 см. Состояние особей бука оценено в 1,1 балла. Доля *Carpinus betulus* в этом подъярусе составляет 0,5 единиц и представлен 15 особями. Средний диаметр ствола составляет 35,9 см, средняя высота – 29,3 м, а средний возраст – 91 год. Состояние особей граба оценено в 1,2 балла. Единично произрастают здоровые особи *Acer platanoides*, *Acer laetum*, *Populus tremula*, *Quercus macranthera*, *Ulmus glabra*, *Betula litwinowii* и *Pyrus caucasica*.

Второй ярус слагают 90 особей. Доля участия бука снижается до 6,5 единиц – 6,5Бк 2Гр 1Клс 0,5Дб (Яс) + Бр Лп ВЗ. Всего деревьев бука здесь 57, со средними значениями диаметра ствола 20,8 см, высоты – 21,4 м и возраста – 66 лет. Среднее состояние оценено в 1,5 балла. Доля *Carpinus betulus* составляет 2 единицы, с общим количеством стволов – 18. Среднее состояние особей оценено в 1,6 балла. Средний диаметр ствола составляет 33,7 см, средняя высота – 23,7 м, а возраст – 89 лет. Доля *Acer laetum* в этом подъярусе составляет 1 единицу. Средний диаметр исследованных 7 особей составляет 21 см, средняя высота – 21 м и средний возраст – 47 лет. Среднее состояние оценено в 1,2 балла. Вклад *Quercus iberica* и *Fraxinus excelsior* в общем составляет 0,5 единиц. Среднее состояние их оценено в 1,2 и 1,3 балла, соответственно. Единично произрастают *Betula litwinowii*, *Tilia begoniifolia* и *Ulmus glabra*, состояние которых оценено в 1,5 балла.

В формировании третьего подъяруса участвуют 113 особей, из которых на долю бука приходится 7 единиц – 7Бк 1Гр 0,5Вз 1,5Дб (Клс Клпл яс Чр) + Рбг. Всего особей бука в третьем подъярусе – 81, со средними значениями диаметра ствола 13,3 см, высоты – 9,8 м и возраста – 50 лет. Среднее состояние оценено в 2,2 балла. Доля граба составляет 1 единицу. Средний диаметр ствола у 10 особей – 20,8 см, средняя высота – 10,9, а возраст – 59 лет. Среднее состояние – 3,6 балла. Вклад *Ulmus glabra* составляет 0,5 единиц. Всего учтено 6 особей, со средними значениями диаметра ствола 11,6 см, высоты – 8,5 м и возраста – 24 года. Состояние особей оценено в 3,7 балла.

Таблица 4. Характеристика древесного яруса и категории состояний древесных видов буковых лесов Юго-Восточного физико-географического подрайона (11875 м²)**Table 4.** Characteristics of the tree layer and categories of tree species of beech forests in the South-Eastern physical and geographical subdistrict (11875 м²)

Подъярус Substage	Вид Species	Количество, шт. Number of individuals	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см Trunk diameter at height of 1.3 m, cm				Высота, м Height, m		Возраст, лет Age, years		Категория состояния, балл Condition category, score
			ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.			
1	<i>Fagus orientalis</i>	278	42,7	113	30,8	36	113	262	1,1		
	<i>Carpinus betulus</i>	15	35,9	65	29,3	32	91	158	1,2		
	<i>Acer platanoides</i>	1	30		28				1		
	<i>Acer laetum</i>	3	36,3	40	30,7	33	76	83	1		
	<i>Populus tremula</i>	1	28		33		34		1		
	<i>Quercus macranthera</i>	1	25		24		113		1		
	<i>Ulmus glabra</i>	1	20		25		37		1		
	<i>Betula litwinowii</i>	2	41	42	24	25	86	90	1		
	<i>Pyrus caucasica</i>	1	45		26			111	1		
	Всего – формула / Total – forest stand		303 – 9,5Бк 0,5Гр + Клс Бр Клпл Дб Грш Вэ Ос								
2	<i>Fagus orientalis</i>	57	20,8	40	21,4	27	66	109	1,5		
	<i>Carpinus betulus</i>	18	33,7	58	23,7	27	89	113	1,6		
	<i>Quercus iberica</i>	3	52,7	65	18	18	215	260	1,2		
	<i>Tilia begoniifolia</i>	1	45		21		63		1,5		
	<i>Acer laetum</i>	7	21	30	21	24	47	65	1,2		
	<i>Betula litwinowii</i>	1	38		20		82		1,5		
	<i>Ulmus glabra</i>	1	20		21		37		1,5		
	<i>Fraxinus excelsior</i>	2	22,5	25	17,5	18	62	76	1,3		
	Всего – формула / Total – forest stand		90 – 6,5Бк 2Гр 1Клс 0,5 Дб (Яс) + Бр Лп Вэ								
	3	<i>Fagus orientalis</i>	81	13,3	36	9,8	18	50	97	2,2	
<i>Carpinus betulus</i>		10	20,8	47	10,9	18	59	102	3,6		
<i>Quercus iberica</i>		2	20	22	13,5	15	87	101	1,5		
<i>Sorbus torminalis</i>		1	22		13		65		1,5		
<i>Ulmus glabra</i>		6	11,6	18	8,5	10,2	24	34	3,7		
<i>Acer laetum</i>		3	10,3	14	9,3	12	28	35	1,2		
<i>Acer platanoides</i>		4	15	18	13	15	36	42	1,3		
<i>Fraxinus excelsior</i>		3	9,7	13	8,7	12	34	43	1,2		
<i>Cerasus avium</i>		3	16,7	20	9,8	13	31	36	6		
Всего – формула / Total – forest stand		113 – 7Бк 1Гр 0,5Вэ 1,5Дб (Клс Клпл Яс Чрш) + Рбг									
Всего – формула / Total – forest stand		506 – 8,5Бк 1Гр 0,5Клс + Дб Вэ Ос Клпл Бр Яс Грш Чрш Лп Рбг									
Среднее состояние <i>Fagus orientalis</i> / Average state of <i>Fagus orientalis</i>											
1,4											

Примечание / Note: Бк – *Fagus orientalis*, Гр – *Carpinus betulus*, Лп – *Tilia begoniifolia*, Дб – *Quercus iberica* и *Quercus macranthera*, Клс – *Acer laetum*, Клпл – *Acer platanoides*, Чрш – *Cerasus avium*, Рбг – *Sorbus torminalis*, Вэ – *Ulmus glabra*, Грш – *Pyrus caucasica*, Яс – *Fraxinus excelsior*, Ос – *Populus tremula*

Остальные 1,5 единиц приходятся на обобщенную группу из *Quercus iberica*, *Acer laetum*, *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, категории состояния которых оценены в 1,2-1,5 балла и *Cerasus avium*, с категорией состояния – 6. Единично встречается *Sorbus torminalis*.

Также, как и для первых двух подрайонов, наблюдается тенденция общего ухудшения состояния особей при переходе от верхнего к подчиненному подъярусу. Общее состояние особей бука в древесном ярусе Юго-Восточного подрайона Предгорного Дагестана оценена в 1,4 балла.

На рисунке 3 приведены возрастные спектры для 16 видов древесных видов, произрастающих в Юго-Восточном подрайоне Предгорного Дагестана на площади 11875 м². Здесь зафиксировано произрастание 2213 особей *Fagus orientalis*. Возрастной спектр ценопопуляции левосторонний, полночленный. На долю прегенеративного периода приходится 85% особей. Из них доля проростковой группы составляет 24,5%, ювенильных – 20,9%, имматурных – 24,9% и виргинильных – 15,7%. Молодых генеративных особей всего 61, что составляет 2,7%. Доля средневозрастных генеративных

особей составляет 8,8%, всего их – 196. На долю старовозрастных генеративных особей приходится 1,8%. Особей постгенеративного периода всего 14, из кото-

рых 0,2% приходится на субсенильную группу и 0,5% – на сенильную.

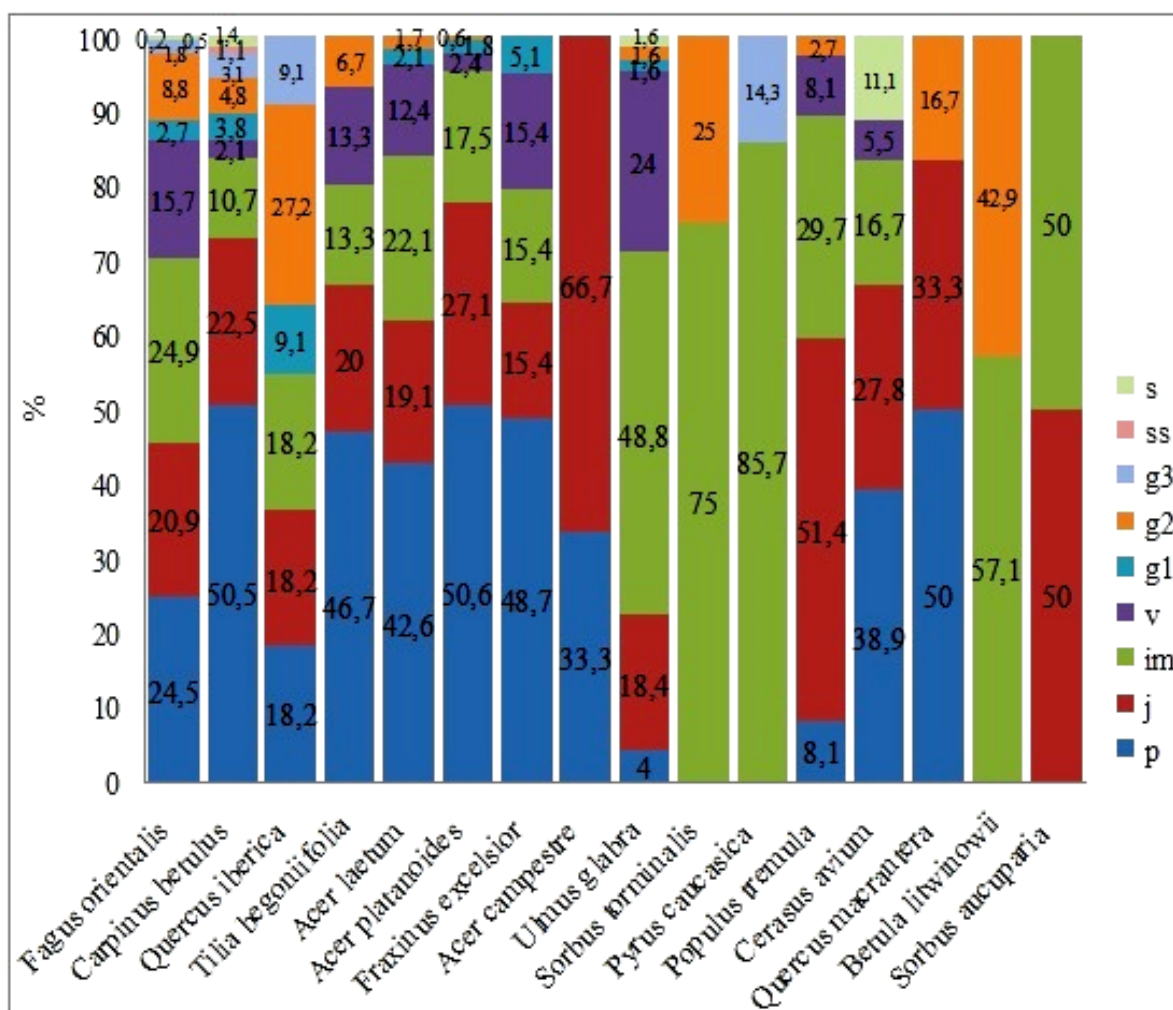


Рисунок 3. Спектры возрастных групп древесных видов буковых лесов Юго-Восточного подрайона на площади 11875 м²
Figure 3. Spectra of age groups of woody species of beech forests of South-Eastern sub-region in an area of 11875 м²

Carpinus betulus представлен 289 особью. Для вида характерен левосторонний, полночленный возрастной спектр. Преобладают особи проростковой группы. Всего их 146, что составляет 50,5%. Доля ювенильной группы составляет 22,5%. В имматурную группу вошли 10,7% особей. До виргинильной стадии доходят только 2,1% особей. Всего особей генеративного периода – 34, в распределении по группам наблюдается незначительное преобладание средневозрастных генеративных особей – 4,8%. Субсенильных особей – 3, а сенильных – 4. Общий вклад особей постгенеративного периода составляет 2,5%. *Quercus iberica* представлен 11 особями. Возрастной спектр двувосточный, неполночленный, отсутствуют особи виргинильной группы и постгенеративного периода. Особи проростковой, ювенильной и имматурной групп представлены в одинаковом количестве, и их общий вклад составляет 54,6%. Всего особей генеративного периода – 5, преобладают средневозрастные особи, доля вклада которых составляет 27,2%. Особей *Tilia begoniifolia* – 15. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный, не представлены особи молодой и старой генеративной групп и постге-

неративного периода. Более 90% приходится на особей прегенеративного периода. Доля проростков составляет 46,7%, ювенильных – 20%, а имматурных и виргинильных – по 13,3%. Одной средневозрастной генеративной особью представлен генеративный период – 6,7%. Всего особей *Acer laetum* – 235. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. Не представлены особи старой генеративной группы и постгенеративного периода. На долю проростков приходится 42,6%. Всего особей ювенильной группы – 45, что составляет 19,1%. Доля вклада имматурной группы составляет 22,1%, а виргинильной – 12,4%. Всего генеративных особей в исследуемой площади 9, незначительно преобладают молодые, вклад которых составляет 2,1%. *Acer platanoides* представлен 166 особями. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный, отсутствуют особи старой генеративной группы и постгенеративного периода. Больше половины особей приходится на группу проростков, вклад которой составляет 50,6%. Доля участия ювенильной группы составляет 27,1%, имматурной – 17,5%, виргинильной – 2,4%. Всего генеративных особей на исследуемой площади – 4, три из которых относятся

к молодой – 1,8%, одна – к средневозрастной, вклад которых составляет 0,6%. Всего особей *Fraxinus excelsior* – 39. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. Не представлены особи средне- и старовозрастной генеративных групп и постгенеративного периода. Преобладают особи ювенильной группы, из которых наибольший вклад несет группа проростков – 48,7%. Ювенильная, имматурная и виргинильная группы представлены одинаково и общий вклад составляет 46,2%. Генеративный период представлен двумя особями молодой возрастной группы, с долей вклада в общую – 5,1%. *Acer campestre* представлен 6 особями. Два из них являются проростками, а 4 – ювенильными. Особей *Ulmus glabra* – 125. Возрастной спектр неполночленный, левосторонний. Не представлены особи старой генеративной и субсенильной групп. Проростков всего 5 и доля их составляет 4%. Доля ювенильной группы составляет 18,4%. Количество особей имматурной группы – 61, что составляет 48,8%, а виргинильной – 30, с долей вклада – 24%. Генеративных особей всего 4, которые в одинаковом количестве представлены в молодой и средневозрастной группах, с долей общего вклада – 3,2%. Вклад сенильных особей составляет 1,6%. Всего особей *Sorbus torminalis* 4. Из них 3 относятся к имматурной группе – 75%, 1 – к молодой генеративной. Возрастной спектр неполночленный. *Pyrus caucasica* представлен 7 особями, 6 из которых отнесены к имматурной группе – 85,7%, 1 – к старовозрастной генеративной, с вкладом в общую – 14,3%. Возрастной спектр неполночленный. Всего особей *Populus tremula* – 37. Возрастной спектр неполночленный, левосторонний. Не представлены особи молодой и старой генеративных групп и постгенеративного периода. Преобладают особи прегенеративного периода, вклад которых составляет 97,1%. Проростков всего 3, что составляет 8,1%. Ювенильных особей, в основном порослевого происхождения – 19 и доля их вклада составляет 51,4%. Доля участия имматурных особей составляет 29,7%, а виргинильных – 8,1%. Средневозрастная группа представлена одной особью, с долей вклада 2,7%. Особей *Cerasus avium* – 18. Возрастной спектр неполночленный, левосторонний. Не представлены особи генеративного периода и субсенильной группы. Больше всего проростков – 7, что составляет 38,9%. Доля ювенильной группы – 27,8%, имматурной – 16,7% и виргинильной – 5,5%. Сенильных особей 2, что составляет 11,1%. *Quercus macranthera*, произрастающий в буковых лесах верхних предгорий, представлен 6 особями. Возрастной спектр неполночленный. На долю проростков приходится 50%. Ювенильная группа составляет 33,3%, а средневозрастная генеративная группа – 16,7%. Особей *Betula litwinowii* – 7. Возрастной спектр неполночленный. Вид представлен всего двумя группами. Имматурная группа состоит из 4 особей, и вклад ее составляет 57,1%. На долю средневозрастной генеративной группы приходятся остальные 42,9%. Вид субальпийского пояса *Sorbus aucuparia*, произрастающий в верхних предгорьях, встречается только в ювенильной и имматурной группах. Обе группы представлены в одинаковом количестве – по 2.

Данные структуры, количественного состава и категорий состояния древесного яруса буковых лесов *Высокогорного физико-географического района* Даге-

стана приведены в таблице 5. Всего на площади 18750 м² состав древесного яруса слагают 889 особей. Доля бука составляет 8 единиц – 8Бк 0,5Клпл 0,5Клт 0,5Бр 0,5С (Рб) + Лп Ос Гр Дб Лш Чрм. Первый подъярус образуют 477 стволов. На долю бука приходится 9 единиц – 9Бк 1Бр (С, Клпл, Клт) + Лп, Ос Гр. Всего стволов бука 421. Средний диаметр ствола составляет 40,2 см, высота – 27,2 м, а возраст – 159 лет. Максимальный возраст для этого яруса составляет 421 год, при диаметре ствола на высоте 1,3 м – 120 см. Состояние особей бука оценено в 1,2 балла. Оставшуюся 1 единицу делят между собой такие виды как: *Betula litwinowii*, *Pinus kochiana*, *Acer platanoides* и *Acer trautvetteri*. Количество особей *Betula litwinowii* в этом подъярусе составляет 13 особей, со средними значениями диаметр ствола – 42,6 см, высоты – 23 м и возраста – 99 лет. Состояние особей березы оценено в 1,3 балла. *Pinus kochiana* представлен 10 особями, средний диаметр ствола которых составляет 35,1 см, высота – 26,4 м и возраст – 69 лет. Состояние особей оценено в 1,1 балла. Стволов *Acer platanoides* на исследованной площади – 11, со средним диаметром ствола 36,3 см, при средней высоте – 27 м и возраста – 114 лет. Среднее состояние особей оценено в 1,3 балла. Высокогорный вид – *Acer trautvetteri*, представлен 10 особями, со средними значениями диаметра ствола – 33,4 см, высоты – 24,7 м, возраста – 108 лет и состоянии особей – 1,1 балл. Незначительное участие в первом подъярусе (по 5 особей) принимают *Tilia begoniifolia* и *Populus tremula*, с категорией состояния 1,2 и 1,1 балла, соответственно. *Carpinus betulus* в этом подъярусе встречается единичными здоровыми особями.

В формировании второго подъяруса принимают участие 148 особей. Доля участия бука снижается до 7 единиц – 7Бк 1Бр 0,5Клпл 0,5Гр 1Лп (Клт, Ив, Рб) + С Ос. Всего деревьев бука здесь 105, со средними значениями диаметра ствола 17,6 см, высоты – 17,9 м, возраста – 84 лет и состояния – 1,3 балла. Доля *Betula litwinowii* составляет 1 единицу, с общим количеством стволов – 11. Среднее состояние особей березы во втором подъярусе оценено в 1,2 балла. Средний диаметр ствола составляет 22,2 см, средняя высота – 18,6 м, а возраст – 88 лет. Доля участия *Acer platanoides* составляет 0,5 единиц. Средний диаметр 6 особей составляет 21,3 см, средняя высота – 19 м и средний возраст – 82 года. Среднее состояние оценено в 1,3 балла. Во втором подъярусе *Carpinus betulus* представлен 6 особями. Средний диаметр ствола составляет 17,8 см, средняя высота – 17,8 м, и средний возраст – 69 лет. Оставшаяся 1 единица приходится на *Tilia begoniifolia*, *Acer trautvetteri*, *Salix caprea* и *Sorbus aucuparia*, с категориями состояния 1,2-2. Единично произрастают здоровые особи *Pinus kochiana*, *Populus tremula* и *Quercus macranthera*. Третий подъярус слагают 264 особи разных видов, из которых на долю бука приходится 7 единиц – 7Бк 1Рб 1Клт 1Клп + Бр С Ив Дб Лп Гр Лш Чрм. Всего особей бука в третьем подъярусе – 186, со средними значениями диаметра ствола 12,3 см, высоты – 9,7 м и возраста – 66 лет. Среднее состояние оценено в 1,9 балла. Доля *Sorbus aucuparia* составляет 1 единицу. Средний диаметр ствола у 20 особей составляет 12,5 см, средняя высота – 9,6, а возраст – 46 лет. Среднее состояние составляет 1,9 балла. *Acer trautvetteri* представлен 1 единицей.

Таблица 5. Характеристика древесного яруса и категории состояний древесных видов буковых лесов Высокогорного Дагестана (18750 м²)
Table 5. Characteristics of tree canopy and categories of woody species of beech forests in High mountain Dagestan (18750 м²)

Подъярус Substage	Вид Species	Количество, шт. Number of individuals	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см Trunk diameter at height of 1.3 m, cm		Высота, м Height, m		Возраст, лет Age, years		Категория состояния, балл Condition category, score
			ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.	ср. aver.	макс. max.	
1	<i>Fagus orientalis</i>	421	40,2	120	27,2	32	159	421	1,2
	<i>Carpinus betulus</i>	1	25		22		90		1
	<i>Acer platanoides</i>	11	36,3	48	24	27	114	152	1,3
	<i>Pinus kochiana</i>	11	35,1	65	26,4	28	69	117	1,1
	<i>Acer trautvetteri</i>	10	33,4	40	24,7	27	108	124	1,1
	<i>Tilia begoniifolia</i>	5	37,6	50	25	28	71	92	1,2
	<i>Populus tremula</i>	5	47	55	27,2	28	75	87	1,1
	<i>Betula litwinowii</i>	13	42,6	71	23	24	99	159	1,3
	Всего – формула / Total – forest stand		477 – 9Бк 1Бр (С, Клпл, Клт) + Лп, Ос Гр						
2	<i>Fagus orientalis</i>	105	17,6	37	17,9	23	84	147	1,3
	<i>Carpinus betulus</i>	6	17,8	20	17,8	20	69	75	1,3
	<i>Salix caprea</i>	3	40	60	15,7	18	82	120	2
	<i>Tilia begoniifolia</i>	4	23	27	18,5	20	44	50	1,3
	<i>Acer platanoides</i>	6	21,3	25	19	22	71	82	1,3
	<i>Sorbus aucuparia</i>	5	21	23	16,8	20	70	76	1,2
	<i>Acer trautvetteri</i>	3	19,7	22	17,3	20	67	74	1,5
	<i>Betula litwinowii</i>	11	22,2	37	18,6	22	56	88	1,2
	<i>Quercus macranthera</i>	1	20		15		108		1
	<i>Pinus kochiana</i>	2	15	18	17	22	39	42	1
	<i>Populus tremula</i>	2	34,5	42	20	20	56	67	2
	Всего – формула / Total – forest stand		148 – 7Бк 1Бр 0,5Клпл 0,5Гр 1Лп (Клт, Ив, Рб) + С Ос						
3	<i>Fagus orientalis</i>	186	12,3	47	9,7	18	66	117	1,9
	<i>Carpinus betulus</i>	1	18		12		70		2
	<i>Quercus macranthera</i>	3	8,7	10	6,7	8	60	64	1,3
	<i>Tilia begoniifolia</i>	2	11,5	13	6	12	27	30	2
	<i>Sorbus aucuparia</i>	20	12,5	20	9,6	15	46	68	1,9
	<i>Corylus colurna</i>	1	8		7		33		1
	<i>Acer trautvetteri</i>	18	15,2	25	10,5	15	55	86	1,7
	<i>Acer platanoides</i>	14	13,3	28	10,1	14	48	62	2,5
	<i>Salix caprea</i>	6	18,5	23	10,2	14	45	61	3,3
	<i>Betula litwinowii</i>	6	19,8	35	9,5	13	52	84	3,3
	<i>Padus avium</i>	1	15		10		40		1,5
	<i>Pinus kochiana</i>	6	9,3	10	8,1	13	28	29	2,7
	Всего – формула / Total – forest stand		264 – 7Бк 1Рб 1Клт 1Клп + Бр С Ив Ед Дб Лп Гр Лш Чрм						
	Всего – формула / Total – forest stand		889 – 8Бк 0,5Клпл 0,5Клт 0,5Бр 0,5С (Рб) + Лп Ос Гр Дб Лш Чрм						
	Среднее состояние <i>Fagus orientalis</i> / Average state of <i>Fagus orientalis</i>								
1,4									

Примечание / Note: Бк – *Fagus orientalis*, Гр – *Carpinus betulus*, Лп – *Tilia begoniifolia*, Дб – *Quercus macranthera*, Ос – *Populus tremula*, Клпл – *Acer platanoides*, Чрм – *Padus avium*, Рб – *Sorbus aucuparia*, Лш – *Corylus colurna*, Бр – *Betula litwinowii*, С – *Pinus kochiana*, Клт – *Acer trautvetteri*

Всего особей этого вида 18, со средними значениями диаметра ствола 15,2 см, высоты – 10,5 м, возраста – 55 лет и категорией состояния – 1,7 балла. Доля *Acer platanoides* в третьем подъярусе составляет 1 единицу – всего 14 особей. Средний диаметр равен 13,3 см, при средней высоте ствола 10,1 м и возраста – 48 лет. Сред-

нее состояние оценено в 2,5 балла. Такие виды как: *Salix caprea*, *Pinus kochiana* и *Betula litwinowii* представлены в одинаковом количестве и принимают незначительное участие. Всего на эти виды приходится 18 особей с категорией состояния 2,7-3,3 балла. Единично произрастают особи *Quercus macranthera*, с состоянием

1,3 балл, *Padus avium* – 2 балла, *Corylus colurna* – 1 балл и *Carpinus betulus* – 2 балла.

Просматривается тенденция общего ухудшения состояния особей при переходе от верхнего подъяруса к подчиненным. Общее состояние особей бука в дре-

весном ярусе буковых лесов Высокогорного Дагестана оценено в 1,4 балла.

На рисунке 4 приведены возрастные спектры для 12 древесных видов, произрастающих в буковых лесах Высокогорного Дагестана на площади 18750 м².

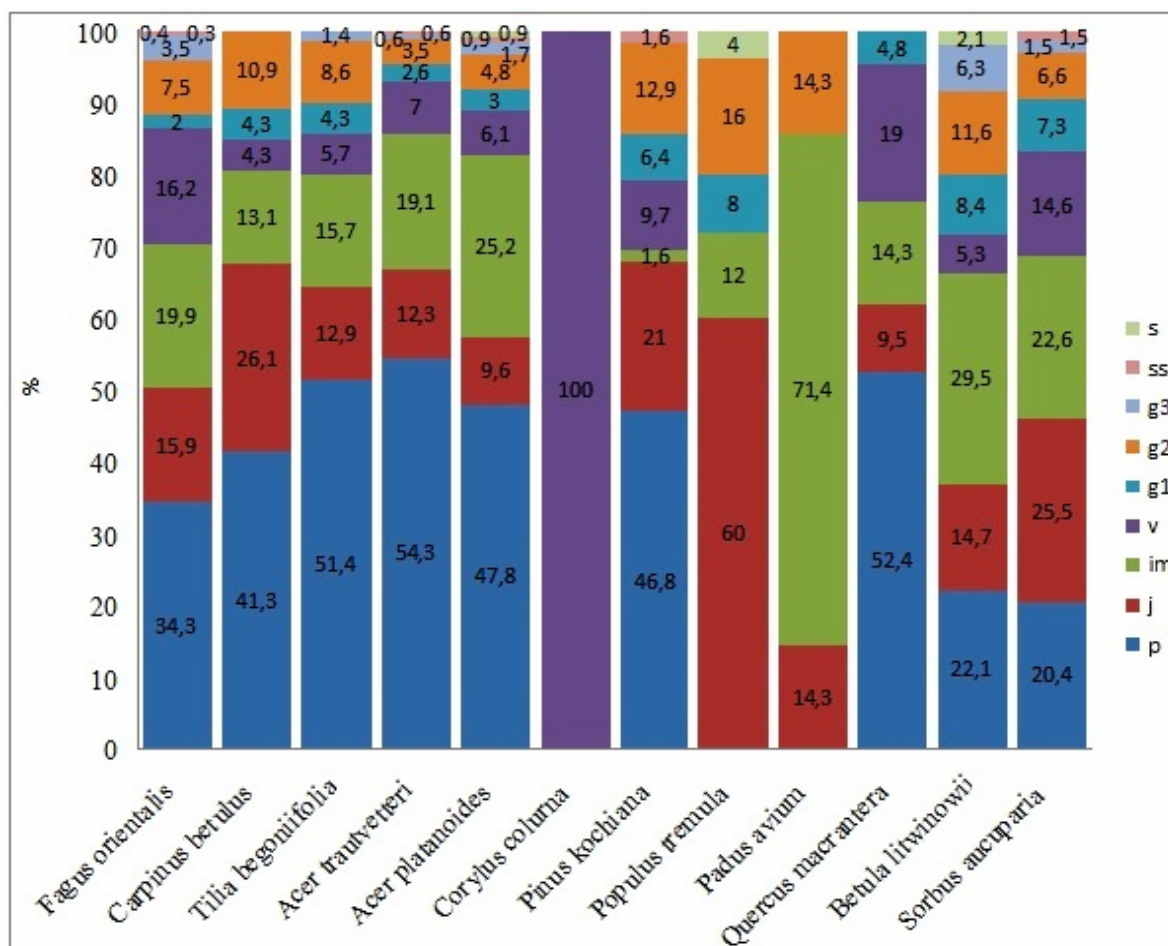


Рисунок 4. Спектры возрастных групп древесных видов буковых лесов Высокогорного района на площади 18750 м²
Figure 4. Spectra of age groups of woody species of beech forests of High mountain region in an area of 18750 м²

Здесь зафиксировано произрастание 3600 особей *Fagus orientalis*. Популяционный возрастной спектр левосторонний, полночленный. На долю проростков приходится 34,3%. Ювенильная группа составляет 15,9%, а имматурная – 19,9%. На долю виргинильных особей приходится 16,2%. В генеративном периоде особей молодой группы составляет 2%, преобладающей средневозрастной – 7,5%, а старовозрастной – 3,5%. Общий вклад постгенеративного периода составляет 0,7%, с количеством особей – 26. *Carpinus betulus* представлен 46 особями. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. Не представлены особи старовозрастной группы и постгенеративного периода. Доля участия проростков составляет 41,3%. Ювенильных особей всего 12 их доля составляет 26,1%. Резко снижается участие имматурной – 13,1% и виргинильной – 4,3% групп. Генеративных особей всего 7. Преобладают средневозрастная группа, с долей участия – 10,9%. На исследуемой площади зафиксировано произрастание 70 особей *Tilia begoniifolia*. Для популяции в данных условиях произрастания характерен левосторонний, неполночленный возрастной

спектр. Не представлены особи постгенеративного периода. Больше половины особей относятся к проростковой возрастной группе – 51,4%. Доля ювенильной группы составляет 12,9%, имматурных – 15,7% и виргинильных – 5,7%. В генеративном периоде, общий вклад которого составляет 14,3%, преобладают средневозрастные особи – 8,6%. Всего особей *Acer trautvetteri* – 341. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный, не представлена сенильная группа. Доля вклада особей прегенеративного периода в общем составляет 92,7%. Преобладает группа проростков – 54,3%. Генеративных особей всего 23, где преобладают средневозрастная группа – 3,5%. Субсенильная группа состоит из 2 особей, с долей участия 0,6%. Всего особей *Acer platanoides* – 230. Возрастной спектр левосторонний, полночленный. Преобладают особи прегенеративного периода, из которой около половины приходится на проростковую группу – 47,8%. Доля участия ювенильной группы составляет 9,6%. Вклад имматурной группы составляет 25,2%, а виргинильной – 6,1%. Общий вклад особей генеративного периода составляет 9,5%, преоб-

ладает средневозрастная группа – 4,8%. Всего особей постгенеративного периода – 4, которые одинаково распределены между субсенильной и сенильной группами, а вклад составляет – 1,8%. Охраняемый вид *Corylus colurna* представлен одной виргинильной особью. Всего особей *Pinus kochiana* – 62. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. Не представлены особи старовозрастной и сенильной групп. В прегенеративном периоде преобладает группа проростков – 46,8%. Доля участия ювенильной группы сокращается до 21%. Имматурная группа представлена одной особью, с долей участия – 1,6%. Вклад виргинильной группы составляет 9,7%. В генеративном периоде средневозрастные особи в два раза преобладают над молодыми – 8, а общий вклад составляет 19,3%. Субсенильных особей – 1, с долей участия 1,6%. Всего особей *Populus tremula* – 24. Для него характерен левосторонний, неполночленный возрастной спектр. Отсутствуют особи проростковой, вигинильной, старовозрастной и субсенильной групп. Преобладают ювенильные особи – 60%. На долю имматурной группы приходится 12%. Молодых генеративных особей – 2, а средневозрастных – 3, общий вклад которых составляет 24%. Доля участия сенильной группы составляет 4%. *Padus avium* представлен 7 особями, из которых только 1 представлена в составе средневозрастной генеративной группы, с долей вклада – 14,3%. Проростки не обнаружены. Основной вклад несут особи имматурной группы – 71,4%. Всего особей *Quercus macranthera* – 21. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. Не представлены особи средне- и старовозрастной генеративных групп и постгенеративного периода. Больше половины доли участия приходится на проростковую группу – 52,4%. Ювенильных особей – 2, доля вклада составляет 9,5%. Вклад имматурной группы – 14,3%, а виргинильной – 19%. Молодая генеративная группа представлена одной особью, с долей вклада – 4,8%. Всего особей *Betula litwinowii* – 95. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. Не представлены особи субсенильной группы. Относительно невысокая доля участия проростковой группы – 22,1%, объясняется очень низкой всхожестью семян березы под сомкнутым пологом крон. Доля участия ювенильных особей составляет 14,7%, имматурных – 29,5%, виргинильных – 5,3%. Общий вклад особей генеративного периода составляет 26,3%, преобладает средневозрастная группа – 11,6%. Старовозрастных особей всего 6, с долей участия – 6,3%. Сенильных особей – 2, их доля участия составляет 2,1%. Вид, характерный для высокогорий – *Sorbus aucuparia*, представлен 137 особями. Возрастной спектр левосторонний, неполночленный. Отсутствуют особи сенильной группы. Вклад проростковой группы составляет 20,4%. Количество ювенильных и имматурных особей не сильно разнятся и, в общем, составляет 48,1%. Количество виргинильных особей – 20, с долей участия 14,6%. Общее количество особей генеративного периода составляет 21 особь, из которых вклад молодой группы составляет – 7,3%, средневозрастной – 6,6%, а старовозрастной – 1,5%. Субсенильных особей всего 2, с долей участия – 1,5%.

Относительно высокие доли участия в возрастных спектрах старовозрастной генеративной, субсенильной и сенильной групп говорит о незначительном

влиянии основного негативного антропогенного фактора (рубка) в высокогорных буковых лесах. Причина этого кроется в труднодоступности для заготовки древесины.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования структуры и категорий состояния древесных видов буковых лесов Дагестана показали высокое влияние бука восточного на формирование вертикальной структуры древостоя. Доля участия бука в древостоях в разных районах колеблется от 7,5 до 8,5 единиц. В трех физико-географических подрайонах Предгорного Дагестана содоминантом буковых лесов выступает *Carpinus betulus*, с долей вклада от 1, до 1,5 единиц. В Высокогорном районе нет явных содоминантов и в общем 2 единицы делят между собой *Betula litwinowii*, *Pinus kochiana*, *Acer trautvetteri* и *Acer platanoides*.

Средний возраст особей бука верхнего подъяруса древесного яруса в предгорных подрайонах Дагестана составляет 110 лет, а максимальный – 250 лет. В высокогорных буковых лесах средний возраст бука в первом подъярусе составляет 160 лет, а максимальный – 420 лет.

Значения средних диаметров ствола у бука в первом подъярусе во всех исследованных участках не сильно разнятся и в среднем составляет 40 см. Отличаются средние высоты, значения которых в предгорных участках составляют 30,8-31,7 м, а в высокогорных – 27,2 м. На относительно низкие значения высоты древесного яруса в высокогорьях, влияние оказывает более суровые климатические условия в этого района.

Во всех районах исследования наблюдается общая тенденция ухудшения состояния особей всех древесных видов при переходе от верхнего подъяруса к нижнему. Объяснение этому – высокая внутри- и межвидовая конкуренции с одной стороны и высокая эдификаторная роль бука, с другой. Среднее состояние особей бука в древесном ярусе во всех исследованных участках составляет 1,4 балла. Категории состояния остальных пород в целом ближе к ослабленным.

Возрастной спектр у большинства древесных видов буковых лесов левосторонний, неполночленный, что тоже говорит о высоком эдафическом воздействии бука восточного. У бука полночленный возрастной спектр наблюдается в буковых лесах Юго-Западного подрайона и в Высокогорном районе. Неполночленность возрастного спектра у бука восточного и низкая доля участия особей старовозрастной генеративной группы и постгенеративного периода, связаны с рубками ухода и уборкой неликвидной древесины в предгорных буковых лесах. Наибольшее воздействие на структуру и состояние древесных видов оказывает антропогенный фактор.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эльдаров М.М. Геоморфология Предгорного Дагестана // Физическая география Предгорного Дагестана. Межвузовский сборник научных трудов. Ростов-на-Дону, 1984. С. 20-53.
2. Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С. и др. Физическая география Дагестана. Москва: Школа, 1996. 396 с.

3. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХи-мии СПбГУ, 2002. 240 с.
4. Понятовская В.М. Учет обилия и характер размещения растений в сообществах // Полевая геоботаника. Т. III. Москва-Ленинград: Наука, 1964. С. 126-141.
5. Корчагин А.А. Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. Т. V. Ленинград: Наука, 1976. 320 с.
6. Борисова И.В. Сезонная динамика растительного сообщества // Полевая геоботаника. Т. IV. Ленинград: Наука, 1972. С. 5-94.
7. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М.: Наука. 217 с.
8. Работнов Т.А. Фитоценология. Москва: Изд. МГУ, 1983. 296 с.
9. Животовский Л.А. Онтогенетическое состояние, эффективная плотность и классификация ценопопуляций // Экология. 2001. N 1. С. 3-7.
10. Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов. Москва: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
11. Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Ковязин В.Ф. Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксации леса. Учебное пособие. СПб.: ООО Изд-во «Лань», 2008. 372 с.
12. Руководство по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга. Приложение 1 к приказу Рослесхоза от 29.12.2007 N 523. 66 с.

REFERENCES

1. Eldarov M.M. [Geomorphology of foothill Dagestan]. In: *Fizicheskaya geografiya Predgornogo Dagestana* [Physical geography of foothill Dagestan]. Rostov-on-Don, 1984, pp. 20-53. (In Russian)
2. Akaev B.A., Ataev Z.V., Gadzhiev B.S., et al. *Fizicheskaya geografiya Dagestana* [Physical geography of Dagestan]. Moscow, Shkola Publ., 1996, 396 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Хабагин У. Алиев, сбор и обработка материалов, написал рукопись. Зарема И. Солтанмурадова и Камилла И. Ахмедова, обработка материалов, корректировка рукописи до подачи в редакцию. Авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

3. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods of studying of forest communities] St. Petersburg, SPbSU Publ., 2002, 240 p. (In Russian)
4. Ponyatovskaya V.M. *Sezonnaya dinamika rastitel'nogo soobshchestva* [Account the abundance and distribution of plant communities]. In: *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Moscow-Leningrad, Nauka Publ., vol. 3, pp. 126-141. (In Russian)
5. Korchagin A.A. *Stroenie rastitel'nykh soobshchestv* [Structure of plant communities]. In: *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Leningrad, Nauka Publ., 1976, vol. 5, 320 p. (In Russian)
6. Borisova I.V. *Sezonnaya dinamika rastitel'nogo soobshchestva* [Seasonal dynamics of the plant community]. In: *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Leningrad, Nauka Publ., 1972, vol. 4, pp. 5-94. (In Russian)
7. *Tsenopopulyatsii rastenii (osnovnye ponyatiya i struktura)* [Coenopopulations of plants (basic concepts and structure)] Moscow, Nauka Publ., 1976, 217 p. (In Russian)
8. Rabotnov T.A. *Fitotsenologiya* [Phytocenology]. Moscow, MSU Publ., 1983, 296 p. (In Russian)
9. Zhivotovsky L.A. Ontogenetic state, effective density and classification of coenopopulations. *Ekologiya* [Ecology]. 2001, no. 1, pp. 3-7. (In Russian)
10. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow, Forest industry Publ., 1982, 552 p. (In Russian)
11. Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Kovyazin V.F. Anikin A.S., Minaev V.N., Belyaeva N.V. *Osnovy lesnogo khozyaistva i taksatsii lesa* [Fundamentals of forestry and forest taxation]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2008, 372 p. (In Russian)
12. *Rukovodstvo po proektirovaniyu, organizatsii i vedeniyu lesopatologicheskogo monitoringa* [Guide to the design, organization and management of forest pathology monitoring]. Appendix 1 to the order of the Federal forestry Agency of 29.12.2007 no. 523, 66 p. (In Russian)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Khabagin U. Aliev collected and processed research materials and wrote the manuscript. Zarema I. Soltanmuradova and Kamilla I. Akhmedova processed research materials and corrected the manuscript before submission to the Editor. 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

Хабагин У. Алиев / Khabagin U. Aliev <https://orcid.org/0000-0002-2985-5622>
 Зарема И. Солтанмурадова / Zarema I. Soltanmuradova <https://orcid.org/0000-0003-3018-9097>
 Камилла И. Ахмедова / Kamilla I. Akhmedova <https://orcid.org/0000-0003-2561-6138>

Оригинальная статья/ Original article
УДК 631.463
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-52-62

Влияние антибиотиков на целлюлозолитическую и нитрифицирующую активности серой лесной почвы

Татьяна А. Трифонова^{1,2}, Анастасия Г. Космачева², Светлана М. Чеснокова²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия

Контактное лицо

Татьяна А. Трифонова, доктор биологических наук, профессор факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой биологии и экологии, Заслуженный деятель науки РФ, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; 119991 Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12.
Тел. +79107712442
Email tatrifon@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

Формат цитирования

Трифопова Т.А., Космачева А.Г., Чеснокова С.М. Влияние антибиотиков на целлюлозолитическую и нитрифицирующую активности серой лесной почвы // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 52-62. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-52-62

Получена 6 июня 2020г.

Прошла рецензирование 15 июля 2020 г.

Принята 25 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Исследование влияния антибиотиков разных групп: тилозина, окситетрациклина и бензилпенициллина на потенциальную нитрифицирующую и целлюлозолитическую активности серой лесной почвы методами модельных лабораторных исследований.

Материал и методы. Объект исследования – окультуренная серая лесная среднесуглинистая почва. Исследование осуществлялось путем проведения модельных лабораторных экспериментов. Анализируемые образцы инкубировались при 27°C в отсутствие освещения в течение 30 суток, затем определялась целлюлозолитическая активность (аппликационным методом) и нитрифицирующая активность (потенциометрическим методом). Был установлен таксономический состав бактериального сообщества исследуемой почвы на основании анализа ампликонных библиотек фрагментов рибосомальных оперонов методом высокопроизводительного секвенирования генов 16S рНК.

Результаты. Наибольшее число нитрифицирующих организмов исследуемой почвы – археи семейства *Nitrososphaeraceae*, являющиеся автотрофными окислителями аммония. Наиболее устойчивой к воздействию использованных антибиотиков являлась целлюлозолитическая активность, которая подавлялась только при добавлении тилозина и его смеси с окситетрациклином. Нитрифицирующая активность почвы изменялась в зависимости от состава и концентрации вносимых препаратов, наибольшее ингибирующее воздействие оказал тилозин. Смеси антибиотиков незначительно усиливали процесс нитрификации при 50-100 мг/кг, и подавляли в диапазоне 150-700 мг/кг.

Выводы. Попадая в почву, исследуемые антибиотики способны как стимулировать, так и ингибировать ферментативные процессы. Наибольшее воздействие оказывают смеси антибиотиков в сравнении с их индивидуальным внесением. В среднесуглинистой серой лесной почве присутствие антибиотиков более опасно для нитрифицирующей активности.

Ключевые слова

Антибиотики, целлюлозолитическая активность, нитрифицирующая активность, серая лесная почва, почвенная микробиота.

Effect of antibiotics on the cellulolytic and nitrification activity of gray forest soil

Tatiana A. Trifonova^{1,2}, Anastasia G. Kosmacheva² and Svetlana M. Chesnokova²

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Alexander and Nikolay Stoletov Vladimir State University, Vladimir, Russia

Principal contact

Tatiana A. Trifonova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Faculty of Soil Science, Head, Department of Biology and Ecology, Alexander and Nikolay Stoletov Vladimir State University; 1 Leninskie Gory, Moscow, Russia

119991.

Tel. +79107712442

Email tatrifon@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

How to cite this article

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, vol. 15, no. 4, pp. 52-62. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-52-62

Received 6 June 2020

Revised 15 July 2020

Accepted 25 August 2020

Abstract

Aim. To investigate the effect of certain antibiotics - tylosin, oxytetracycline and benzylpenicillin - on the potential nitrifying and cellulolytic activity of gray forest soil using laboratory model research methods.

Material and Methods. The object of the research was agricultural gray forest medium loamy soil. The study was carried out by conducting laboratory model experiments. The analysed samples were incubated at 27°C and in the absence of illumination for 30 days and then subsequently analysed for cellulolytic activity (by the application method) and nitrification activity (by the potentiometric method). The taxonomic composition of the bacterial community of the studied soil was established based on analysis of amplicon libraries of fragments of ribosomal operons of 16S rRNA genes by the NGS method.

Results. The largest number of nitrification organisms in the soil studied were archaea of the family *Nitrososphaeraceae* which are autotrophic ammonium oxidants. Most resistant to the effects of the antibiotics used was cellulolytic activity which was suppressed only by the addition of tylosin and its admixture with oxytetracycline. The nitrification activity of the soil varied depending on the concentration and preparations applied, the greatest inhibitory effect being exerted by tylosin. Antibiotic mixtures slightly enhanced the nitrification process at 50-100 mg/kg and were suppressed in the range of 150-700 mg/kg.

Conclusion. Once in the soil, the antibiotics studied are capable of both stimulating and inhibiting enzymatic processes. Mixtures of antibiotics rather than their individual applications produce the greatest impact. In medium loamy gray forest soil the presence of antibiotics is more dangerous to nitrification activity.

Key Words

Antibiotics, cellulolytic activity, nitrification activity, grey forest soil, soil microbiota.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время среди фармацевтических препаратов, присутствующих в различных экосистемах в качестве поллютантов, значительное внимание уделяется антибиотикам. Они играют ключевую роль в борьбе с инфекционными заболеваниями людей и животных. Ветеринарные антибиотики используются для лечения и профилактики болезней, для стимулирования роста скота, птицы и аквакультуры. Большинство из них не полностью метаболизируются в организме людей и животных, поэтому до 90% выделяется с мочой и калом, попадая в воду и почву через муниципальные сточные воды, навоз животных, осадки сточных вод, которые часто используются для орошения и удобрения сельскохозяйственных земель [1-3]. При этом в навозе могут присутствовать как остатки антибиотиков, так и бактерии, устойчивые к ним. Гены, устойчивые к антибиотикам, обнаруживаются в сельскохозяйственных почвах даже через 40 лет после первого применения навоза [3]. Концентрации антибиотиков в наземных экосистемах, варьируются от нескольких нг/кг до сотен мг/кг: тетрациклины до 900 мг/кг, макролиды до 800 мг/кг [1-5]. Содержание антибиотиков в навозе, почвах, осадках сточных вод зависят от типа лекарственного средства, его метаболизма, продолжительности лечения и времени отбора проб относительно поступления препарата в среду. Наиболее часто используемыми антибиотиками являются тетрациклиновые, β -лактамы, сульфонамиды и макролиды, а наиболее часто встречающимися и имеющими наибольшие концентрации в навозе и почве: тетрациклины, фторхинолоны, сульфонамиды и макролид тилозин [1-3].

В связи с тем, что функцией антибиотиков является воздействие на микроорганизмы, попадая в окружающую среду, они также способны оказывать влияние на микробные сообщества экосистем, которые играют ключевую роль в фундаментальных экологических процессах. Опубликовано множество данных о влиянии антибиотиков на почвенные бактерии и грибы, и осуществляемые ими процессы. Было выявлено их воздействие, как на отдельные микробные популяции, так и на целые сообщества. Данные препараты способны влиять на обилие, функциональное, структурное и генетическое разнообразие почвенных микроорганизмов и их активность [2]. Воздействие антибиотиков на микробные сообщества экосистем может быть прямым – краткосрочным, и косвенным – долгосрочным. Краткосрочные воздействия связаны с бактерицидными и бактериостатическими функциями препаратов, приводящими к последующим исчезновениям некоторых микробных популяций и вызывающими сокращение микробного биоразнообразия. Они могут влиять на рост и активность ферментов бактериальных сообществ и, в конечном итоге, на экологические функции (производство биомассы и преобразование питательных веществ), что приводит к потере функциональной стабильности. Косвенное воздействие заключается в развитии мультирезистентных бактерий, устойчивых к антибиотикам, что может влиять на динамику и физиологию природных

микробных популяций и представлять угрозу для общественного здравоохранения [1].

Превращение веществ и энергии почвенных экосистем происходит благодаря действию ферментативных процессов, которые определяют её биологическую активность и необходимы для поддержания гомеостаза экосистемы и качества почвы. Почва является самой богатой системой по ферментативному пулу, поэтому исследование ферментативной активности широко используется в её диагностике, позволяя оценить плодородие, влияние антропогенных факторов, рекомендуется использовать и при экологическом мониторинге [6]. Изменение ферментативной активности служит важным показателем реакции микроорганизмов на стресс, вызванный антибиотиками в почве [2]. В практическом земледелии наиболее значимыми являются ферменты классов гидролаз и оксидоредуктаз, особенно энзиматические показатели, связанные с циклами основных биогенных элементов, таких как углерод, азот и фосфор [6]. При этом одним из важных факторов, ограничивающих целлюлозолитическую активность, является недостаток азота в формах, доступных микроорганизмам: бактерии наиболее активны в почвах, содержащих нитратный азот, а грибы и актиномицеты в большинстве случаев – аммонийный азот [7]. Таким образом, нитрифицирующая и целлюлозолитическая активности почвы – важные и взаимосвязанные процессы, и являются одними из наиболее значимых показателей состояния почвенной экосистемы.

В настоящее время мониторинг загрязнения антибиотиками почв сельскохозяйственных угодий в Российской Федерации не осуществляется. Также не проводится регулярная оценка их воздействия на свойства агроэкосистем. Опубликовано ряд исследований о влиянии антибиотиков на ферментативную активность чернозема обыкновенного, бурых лесных и темно-каштановых почв юга России [4; 5]. Однако данные о влиянии этих препаратов на биологическую активность других типов почв недостаточны. Ранее нами были проведены исследования влияния антибиотиков разных классов на целлюлозолитическую и уреазную активности дерново-подзолистой почвы, а также на каталазную активность дерново-подзолистой и серой лесной почв [8; 9].

Опубликован ряд исследований о влиянии различных групп антибиотиков на нитрифицирующую активность почв [2; 10-14]. Установлено, что воздействие низких доз ципрофлоксацина (1 мг/кг почвы), относящегося к группе фторхинолонов, усиливают скорость нитрификации, а высокие дозы (50 мг/кг) ингибируют её [10]. При добавлении сульфаниламидных антибиотиков [11-13] к почвам разных типов было отмечено ингибирование потенциальной скорости нитрификации, которое усиливается с увеличением их концентрации. При этом суглинистые почвы оказались более устойчивыми к их воздействию в сравнении с супесчаными [12]. При воздействии навоза, загрязненного амоксициллином на суглинистую и супесчаную почвы было установлено, что добавление малых доз антибиотика с

навозом существенно не изменило потенциальные скорости нитрификации по сравнению с обработками чистым навозом. Однако высокие дозы привели к значительному снижению потенциальных скоростей нитрификации в обеих почвах на девятый день инкубации в сравнении с добавлением чистого навоза [14]. Также установлено, что моноксиген и хлортетрациклин не влияли на процессы нитрификации в почве [13].

Воздействие 50 мг/кг и 200 мг/кг тетрациклина на кинетику нитрификации в смешанной микробной культуре снижало скорость образования нитратов [15]. Окситетрациклин ингибировал нитрификацию в активном иле, взятом из очистных сооружений, а тилозин стимулировал её. Также окситетрациклин подавлял рост чистой культуры нитрифицирующих бактерий *Nitrosomonas europaea*, а тилозин не оказал на них влияния [16]. Воздействие окситетрациклина на микробную активность и стабильность биопленки смешанной нитрифицирующей культуры сточных вод вызывало постепенное снижение нитрификации и частичное ингибирование окисляющих аммиак микроорганизмов, но не повлияло на нитритных окислителей [17].

Существуют данные исследования *in vitro* о влиянии антибиотиков амоксициллина, хлорамфеникола, эритромицина, рафициллина в концентрациях 100 и 500 мг/л на целлюлозолитические ферменты, выделенные из патогенных грибов *Fusarium oxysporum* и *Fusarium moniliforme*. Ни один из данных препаратов полностью не ингибировал целлюлазную активность у обоих тестируемых организмов. Однако амоксициллин, активнее подавлял целлюлозолитическую активность, чем другие анти-

биотики. Целлюлазная активность *F. moniliforme* была сравнительно менее чувствительной к антибиотикам при более высоких концентрациях [18].

В настоящее время не обнаружено опубликованных исследований, посвященных влиянию антибиотиков окситетрациклина, бензилпенициллина, тилозина на целлюлозолитическую и нитрифицирующую активности почв.

Целью данной работы являлось исследование влияния антибиотических препаратов разных групп: (тилозина, окситетрациклина, бензилпенициллина) на потенциальную нитрифицирующую и целлюлозолитическую активности серой лесной почвы методами модельных лабораторных исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – серая лесная среднесуглинистая почва. Почвенные образцы отбирали по ГОСТ 17.4.4.02-84 с верхнего горизонта, в связи с наибольшей активностью ферментов, содержанием гумуса и воздействием агротехнических мероприятий на данную глубину, с сельскохозяйственного участка Суздальского района Владимирской области [19]. Серые лесные почвы занимают в регионе 220 тыс. га, что соответствует 14,3% от общей площади. При этом они составляют 33% пахотных земель области, дают 70% валовой сельскохозяйственной продукции. Аналогичные включения серых лесных почв в подзолистые свойственны для Владимирской, Ивановской, Ярославской областей, составляя 305 тыс. га пашен Верхневолжского региона [6]. В таблице 1 указаны агрохимические показатели исследуемой почвы.

Таблица 1. Агрохимические показатели исследуемой почвы

Table 1. Agrochemical indicators of the soil studied

Показатели Indicators	Единица измерения Unit of measurement	Значения показателей Values of indicators	Методика исследования Method of determination
Кислотность, pH _{KCl} Acidity, pH _{KCl}	ед. pH	6,78±0,2	ГОСТ 26483-85 GOST 26483-85
P ₂ O ₅ , подвижный P ₂ O ₅ , mobile	мг/100 г mg/100 g	24,2±4,84	ГОСТ Р 54650-2011 GOST R 54650-2011
K ₂ O, подвижный K ₂ O, mobile	мг/100 г mg/100 g	83,4±12,51	ГОСТ Р 54650-2011 GOST R 54650-2011
Органическое вещество Organic matter	%	3,99±0,60	ГОСТ 26213-91 GOST 26213-91
Азот аммонийный N ammonium	мг/кг mg/kg	4,8±0,72	ГОСТ 26489-85 GOST 26489-85
Азот нитратный N nitrates	мг/кг mg/kg	20,40±4,08	ГОСТ 26951-86 GOST 26951-86
Содержание физической глины Physical clay content	%	35,5±3,55	ГОСТ 12536-2014 GOST 12536-2014

Был установлен таксономический состав бактериального сообщества исследуемой почвы на основании анализа ампликонных библиотек фрагментов рибосомальных оперонов методом высокопроизводительного секвенирования генов 16S рРНК. Результаты получены с использованием оборудования

ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ.

Почва для определения нитрифицирующей активности обрабатывалась согласно общепринятой методике [20], инкубировалась при 27°C в климатической камере Sanyo MLR-351 при отсутствии освеще-

жения в течение 30 суток и анализировалась потенциометрическим методом, согласно ГОСТ 26951-86. Нитрифицирующая активность почвы оценивалась по содержанию нитрат-ионов после 30-дневной инкубации.

Для изучения актуальной целлюлозолитической активности широко используются аппликационные методы, как полевые, так и лабораторные, сущность которых основана на определении количества переработанного в процессе реакции субстрата в оптимальных условиях [6]. В ходе исследований целлюлозолитическую активность почвы устанавливали в лабораторных условиях модифицированным аппликационным методом Кристенсена [21]. Преимущество лабораторного метода состоит в возможности поддержания заданных оптимальных условий (температуры и влажности) для жизнедеятельности микроорганизмов. Для проведения эксперимента на дно каждой стерильной чашки Петри помещали кусок хлопчатобумажной ткани, который служил источником клетчатки, размером 3x4 см, предварительно выдержанный в сушильном шкафу при 105°C в течение 2 часов и взвешенный на аналитических весах с погрешностью 0,0001 г. Далее в каждую чашку Петри добавляли 5 г исследуемой почвы, увлажненной до 60% от полной влагоемкости и загрязненной антибиотиками в концентрациях, соответствующих 50-700 мг/кг почвы. В качестве контроля использовали почву без внесения антибиотиков. Чашки Петри взвешивали, инкубировали в климатической камере Sanyo MLR-351 при отсутствии освещения в течение 30 суток при температуре 27°C. Влажность поддерживали путем периодического взвешивания и доведения до исходной массы дистиллированной водой. По прошествии 30 суток остатки ткани извлекали из чашек Петри, очищали от почвы, высушивали при 105°C и взвешивали на аналитических весах. Показателем целлюлозолитической активности почвы служила разница в массе ткани (%), разложившейся за время опыта.

В работе использовались антибиотики разных групп: окситетрациклин (тетрациклиновый), тилозин (макролид), бензилпенициллин (β-лактамы). Исходные препараты антибиотиков окситетрациклина гидрохлорид и бензилпенициллина натриевая соль представляли собой порошки для приготовления инъекционного раствора, расфасованные в пенициллиновые склянки в количестве 1 г (1000000 ЕД). Тилозин – в лекарственной форме раствора для инъекций с концентрацией 200 мг/см³ действующего вещества. Исходные растворы антибиотиков с концентрацией 10 мг/см³ готовили путем разбавления исходных препаратов в дистиллированной воде. Исследуемые концентрации антибиотиков были выбраны на основании литературных данных [4].

Опыты по определению нитрифицирующей активности проводились в трех повторностях, целлюлозолитической – в четырех. Для статистической обработки результатов полученные данные были

проанализированы с использованием статистического пакета Statistica 7.0. Был проведен корреляционный анализ зависимости показателя ферментативной активности от концентрации антибиотика ($p < 0,05$), рассчитан коэффициент корреляции Пирсона. В качестве погрешности указаны значения стандартной ошибки эксперимента.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа таксономического состава бактериального сообщества было установлено, что преобладающими оказались грамтрицательные бактерии типов *Proteobacteria* (23,7%), *Bacteroidetes* (14,2%), *Cyanobacteria* (13,8%). Из них наибольшее число нитрифицирующих организмов относятся к археям семейства *Nitrososphaeraceae* – 4,2%, являющиеся автотрофными окислителями аммония. Также было выявлено наличие автотрофных аммоний-окисляющих бактерий семейства *Nitrosomandaceae* – 0,4%, и автотрофных нитрит-окисляющих бактерий рода *Nitrospira* – 0,4% (семейство *Nitrospiraceae*).

Величина целлюлозолитической активности контрольного образца почвы (без добавления антибиотика) составила $73,96 \pm 2,67\%$.

Согласно полученным результатам, при индивидуальном воздействии бензилпенициллина и окситетрациклина не наблюдалось значительного влияния на целлюлозолитическую активность исследуемой с почвы. Достоверная отрицательная корреляционная зависимость была установлена для тилозина. При концентрациях 100 мг/кг почвы и 200 мг/кг почвы он стимулирует процесс разложения целлюлозы на 0,8% и 1,38% соответственно. При концентрациях 50, 150, 300-700 мг/кг почвы – ингибирует на 2,34-6,89%, при этом наибольшее подавление целлюлозолитической активности наблюдается при максимальной концентрации антибиотика (рис. 1, табл. 2).

При комбинированном воздействии статистически значимые результаты получены только для смеси окситетрациклина и тилозина: при концентрации 50 мг/кг почвы целлюлозолитическая активность незначительно увеличивается относительно контроля, а в диапазоне 100-700 мг/кг почвы – уменьшается (рис. 2, табл. 2).

Нитрифицирующая активность исследуемой почвы без внесения антибиотиков (контроль) равнялась $942,33 \pm 41,13$ мг NO_3^- / кг почвы.

Было установлено, что эффекты воздействия антибиотиков на нитрифицирующую активность исследуемой почвы зависели от их свойств и концентраций, как при индивидуальном, так и при комбинированном воздействии (рис. 3, 4; табл. 2).

При индивидуальном воздействии окситетрациклина и бензилпенициллина статистически значимой зависимости не обнаружено. При добавлении тилозина происходило дозозависимое ингибирование нитрифицирующей активности почвы на всем диапазоне концентраций, максимальное снижение было отмечено при 600 мг/кг.

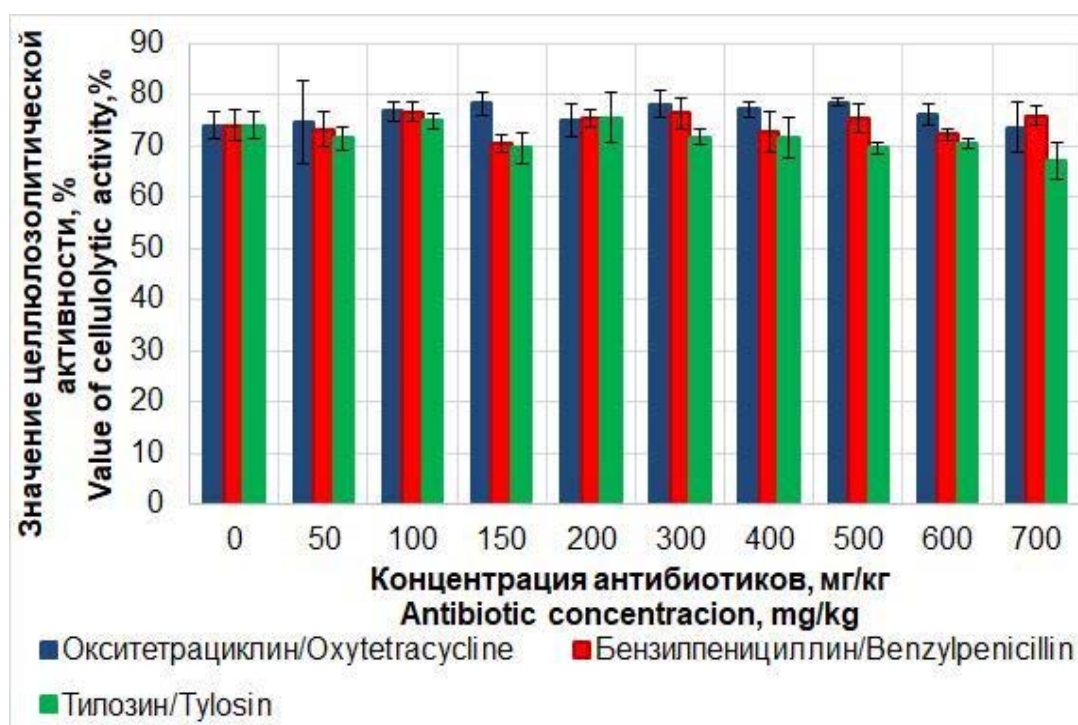


Рисунок 1. Зависимость целлюлолитической активности почвы от концентрации антибиотиков при индивидуальном воздействии

Figure 1. Dependence of cellulolytic activity of soil on concentration of antibiotics with individual exposure

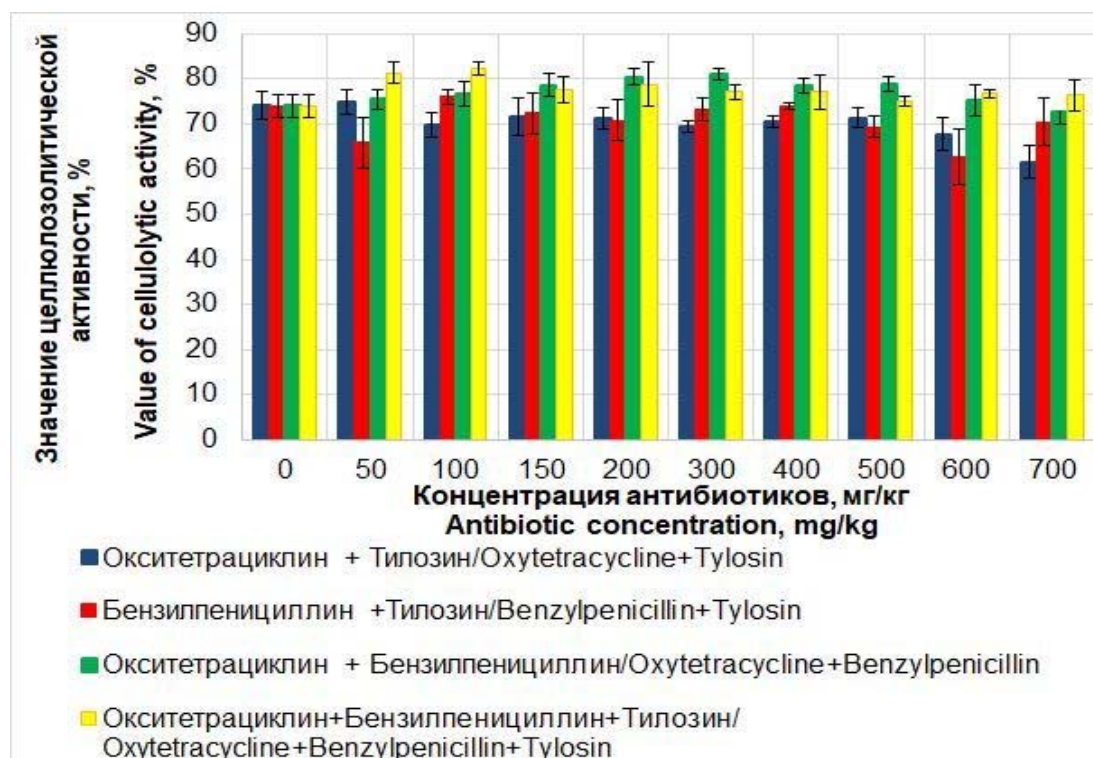


Рисунок 2. Зависимость целлюлолитической активности почвы от концентрации антибиотиков при комбинированном воздействии

Figure 2. Dependence of cellulolytic activity of soil on concentration of antibiotics with combined exposure

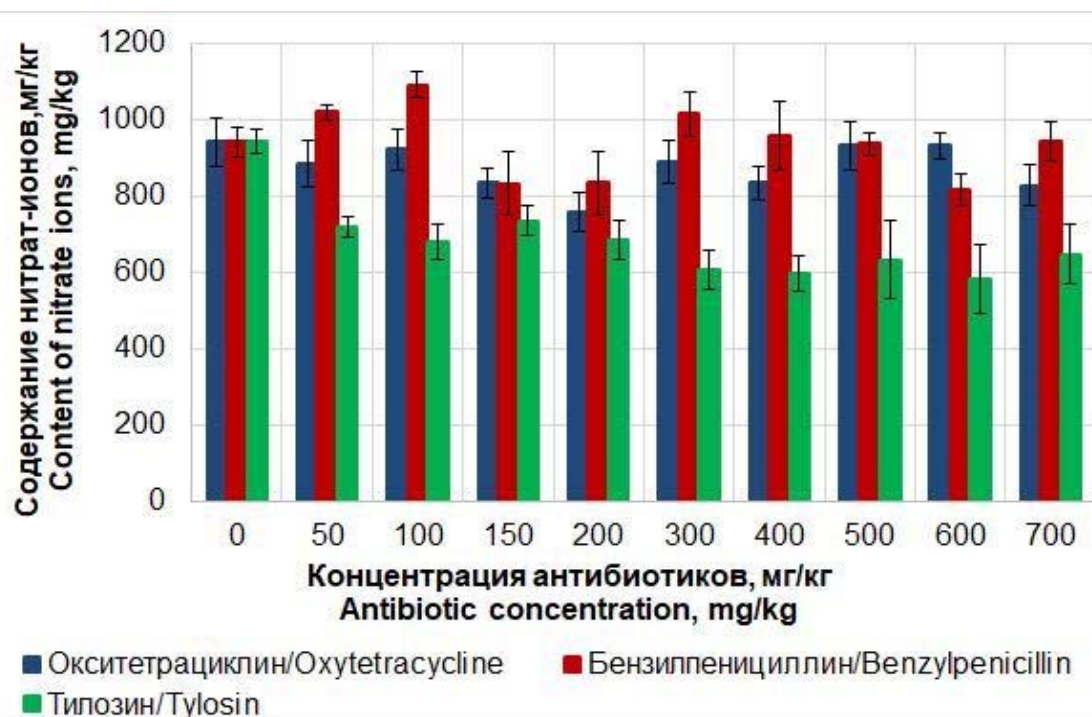


Рисунок 3. Зависимость нитрифицирующей активности почвы от концентрации антибиотиков при индивидуальном воздействии

Figure 3. Dependence of nitrification activity of soil on concentration of antibiotics with individual exposure

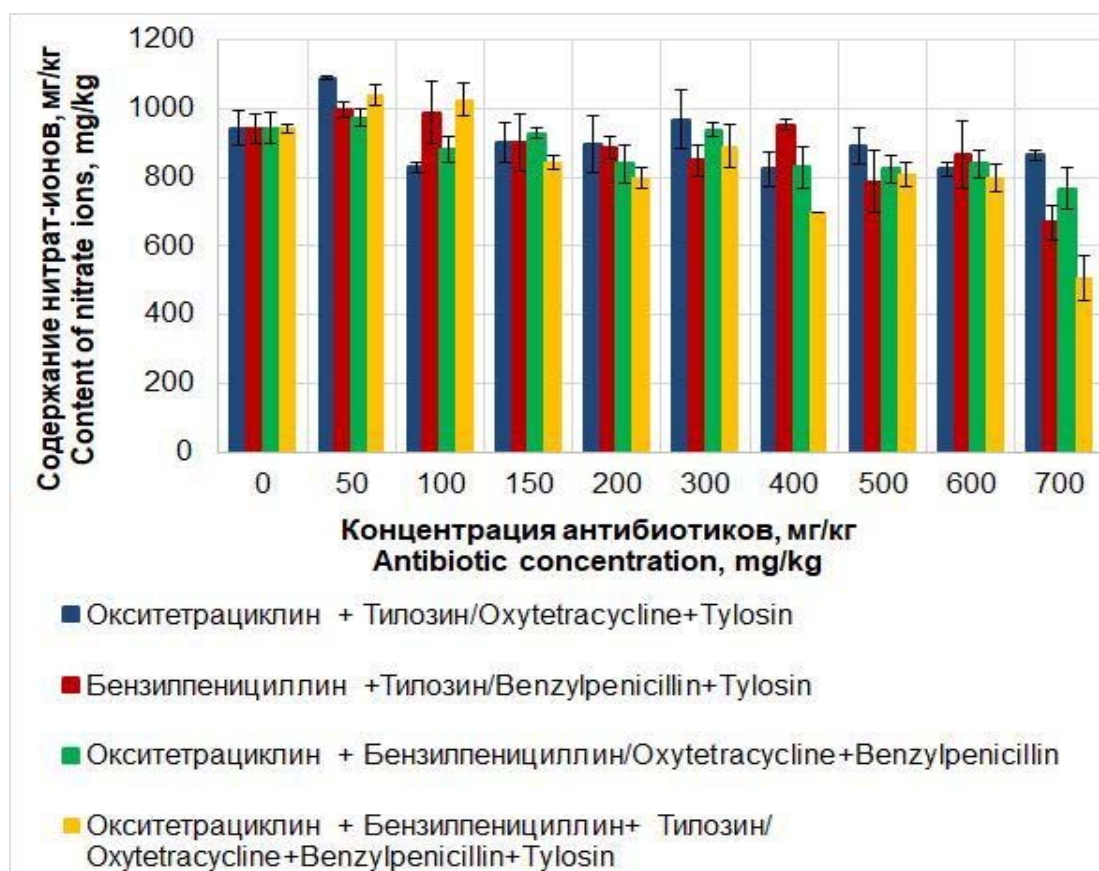


Рисунок 4. Зависимость нитрифицирующей активности почвы от концентрации антибиотиков при комбинированном воздействии

Figure 4. Dependence of nitrification activity of soil on concentration of antibiotics with combined exposure

При комбинированном воздействии антибиотиков было установлено дозозависимое ингибирование нитрифицирующей активности почвы при воздействии двойных смесей бензилпенициллина с окситетрациклином и тилозином и трехкомпонентной смеси. При воздействии окситетрациклина и тилозина на нитрифицирующую активность почвы достоверной корреляционной зависимости не было

обнаружено (табл. 2). Смесь трех антибиотиков оказала при этом наиболее сильное влияние. При минимальных добавленных концентрациях антибиотика наблюдалось усиление нитрификации: 50 мг/кг – для смесей окситетрациклина и тилозина, окситетрациклина и бензилпенициллина, 50-100 мг/кг – для смеси бензилпенициллина и тилозина и трехкомпонентной смеси.

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа

Table 2. Correlation analysis results

Антибиотики Antibiotics	Целлюлозолитическая активность Cellulolytic activity		Нитрифицирующая активность Nitrification activity	
	Коэффициент корреляции (r) Correlation coefficient (r)	Значение критерия значимости (p) Significance criteria value (p)	Коэффициент корреляции (r) Correlation coefficient (r)	Значение критерия значимости (p) Significance criteria value (p)
Бензилпенициллин / Benzylpenicillin	0,10	0,77	-0,3	0,4
Окситетрациклин / Oxytetracycline	0,05	0,9	-0,06	0,86
Тилозин / Tylosin	-0,71	0,02	-0,69	0,03
Окситетрациклин + Бензилпенициллин Oxytetracycline + Benzylpenicillin	-0,15	0,69	-0,82	0,00
Бензилпенициллин + Тилозин Benzylpenicillin + Tylosin	-0,39	0,26	-0,80	0,01
Окситетрациклин + Тилозин Oxytetracycline + Tylosin	-0,81	0,01	-0,52	0,13
Окситетрациклин + Бензилпенициллин + Тилозин Oxytetracycline + Benzylpenicillin + Tylosin	-0,39	0,26	-0,82	0,00

Установлено, что наиболее устойчивой к воздействию данных препаратов является целлюлозолитическая активность, которая изменяется лишь при добавлении тилозина и его смеси с окситетрациклином. Полученные данные можно объяснить большим вкладом грибов в разрушение клетчатки в почве, в отличие от процесса нитрификации, обусловленного функциями бактериальных сообществ. Грибы, в свою очередь, не входят в спектр действия используемых антибиотиков, поэтому целлюлозолитическая активность не подверглась значительным изменениям. Тем не менее, ингибирующее действие тилозина можно объяснить наличием в составе используемого препарата дополнительных веществ – бензилового спирта и пропандиола, которые обладают антисептическими свойствами [22; 23]. Результаты этого исследования согласуются с опубликованными ранее данными о влиянии тилозина и ампициллина на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой почвы при индивидуальном и комбинированном воздействии, в котором также было установлено ингибирующее влияние тилозина на процесс разрушения клетчатки в почве [8].

Установлено, что нитрифицирующая активность исследуемой почвы изменялась в зависимо-

сти от состава и концентрации вносимых антибиотиков. Тилозин подавлял ее на всем диапазоне концентраций, в то же время смеси антибиотиков были способны как незначительно усиливать, так и подавлять процессы нитрификации. Наибольшее воздействие на нитрифицирующую активность оказала трехкомпонентная смесь при концентрации 700 мг/кг, демонстрируя эффект синергизма использованных препаратов. Аналогичное влияние было выявлено нами при исследовании тех же антибиотических препаратов на активность каталазы серой лесной почвы. Достоверная отрицательная корреляционная зависимость значения ферментативной активности от концентрации вносимых антибиотиков была установлена для трехкомпонентной смеси и комбинации бензилпенициллина с окситетрациклином. Ингибирование активности каталазы наблюдалось также при воздействии тилозина, однако корреляционной зависимости между его концентрациями и значениями активности фермента обнаружено не было [9].

Наибольшее влияние на почвенные ферментативные процессы в данном исследовании оказал тилозин, что, вероятно, связано с широким диапазоном его воздействия и наличием дополнительных веществ в используемом препарате.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые изучено влияние антибиотиков тилозина, окситетрациклина, бензилпенициллина в широком диапазоне концентраций (50–700 мг/кг почвы) на целлюлозолитическую и нитрифицирующую активности среднесуглинистой серой лесной почвы, как при индивидуальном воздействии, так и при комбинированном.

Установлено, что попадая в почву, исследуемые антибиотики способны оказывать как стимулирующее, так и ингибирующее влияние на ферментативные процессы, при этом наблюдается тенденция к усилению подавления ферментативной активности с повышением концентраций антибиотиков. Наибольшее воздействие оказывают смеси антибиотиков в сравнении с их индивидуальным добавлением, то есть проявляется эффект синергизма.

В среднесуглинистой серой лесной почве присутствие антибиотиков более опасно для нитрифицирующей активности, сильнее подверженной их воздействию. В свою очередь, изменение процессов нитрификации может привести к нарушению азотного цикла, в дальнейшем оказывая влияние на количество и качество сельскохозяйственной продукции. Недостаток нитратов в почве приводит к уменьшению продуктивности, снижая плодородие почв. А их избыток способствует проникновению в водоемы и источники питьевой воды, накоплению в растениях и передаче по пищевым цепям, вызывая риск заболеваний человека и животных, а также увеличению оксида азота (I), образуемого в процессе нитрификации, который впоследствии может вызывать разрушение озонового слоя атмосферы и усиливать парниковый эффект [24]. Известно также, что азот является элементом, лимитирующим урожайность культур севооборотов для серых лесных почв [6].

Разрушение целлюлозы является одним из основных процессов в цепи превращений органических веществ почвы и круговороте углерода, с ним связано образование гумусовых веществ почвы и формирование её структуры. В связи с этим снижение или увеличение пула целлюлозолитических микроорганизмов и их активности может привести к нарушению почвенного гомеостаза [6; 7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Grenni P., Ancona V., Caracciolo A.B. Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review // *Microchemical Journal*. 2018. V. 136. P. 25–39. DOI: 10.1016/j.microc.2017.02.006
2. Cycoń M., Mrozik A., Piotrowska-Seget Z. Antibiotics in the Soil Environment—Degradation and Their Impact on Microbial Activity and Diversity // *Front Microbiol*. 2019. V. 10. 338 p. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00338
3. van de Vijver L., Verwer C., Smolders G., Hospers-Brands M., van Eekeren N. The cycle of veterinary antibiotics in the ecosystem. Louis Bolk Institute. 2016. 31 P.
4. Акименко Ю. В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние загрязнения антибиотиками на биологические свойства чернозема обыкновенного:

- монография. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. 154 с.
5. Акименко Ю.В., Чувараева О.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш, Минникова Т.В. Оценка экологического состояния основных почв юга России в условиях загрязнения антибиотиками: монография. Ростов-на-Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. 114 с.
6. Зинченко М.К. Ферментативные процессы в серых лесных почвах Верхневолжья. Суздаль. И.: ПреСто. 2019. 140 с.
7. Наплекова Н.Н. Метаболиты аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов и их роль в почвах / Под ред. Р. А. Цильке. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2010. 228 с.
8. Трифонова Т.А., Чеснокова С.М., Космачева А.Г. Оценка влияния антибиотиков ампициллина и тилозина на ферментативную активность дерново-подзолистой почвы и их токсичности для культурных растений // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. N 2. С. 150–156. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-2-150-156
9. Космачева А.Г. Оценка влияния антибиотиков бензилпенициллина, окситетрациклина и тилозина на каталазную активность дерново-подзолистой и серой лесной почв // *Грани познания*. 2019. N 6 (65). С. 79–83. URL: <http://grani.vspu.ru/jurnal/70> (дата обращения: 15.05.2020)
10. Cui H., Wang S-P., Fu J., Zhou Z-Q., Zhang N., Guo L. Influence of ciprofloxacin on microbial community structure and function in soils // *Biology and Fertility of Soils*. 2014. V. 50. P. 939–947. DOI: 10.1007/s00374-014-0914-y
11. Hammesfahr U., Kotzerke A., Lamshöft M., Wilke B-M., Kandeler E., Thiele-Bruhn S. Effects of sulfadiazine-contaminated fresh and stored manure on a soil microbial community // *European Journal of Soil Biology*. 2011. V. 47. Iss. 1. P. 61–68. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2010.10.004
12. Kotzerke A., Sharma S., Schauss K., Heuer H., Thiele-Bruhn S., Smalla K., Wilke B-M., Schlöter M. Alterations in soil microbial activity and N-transformation processes due to sulfadiazine loads in pig-manure // *Environmental Pollution*. 2008. V. 153. Iss. 2. P. 315–322. DOI: 10.1016/j.envpol.2007.08.020
13. Toth J. D., Feng Y., Dou Z. Veterinary antibiotics at environmentally relevant concentrations inhibit soil iron reduction and nitrification // *Soil Biology & Biochemistry*. 2011. V. 43. Iss. 12. P. 2470–2472. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.09.004
14. Kotzerke A., Fulle M., Sharma S., Kleinedam K., Welzl G., Lamshöft M., Schlöter M., Wilke B-M. Alterations in total microbial activity and nitrification rates in soil due to amoxicillin-spiked pig manure // *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 2011. V. 174. Iss. 1. P. 56–64. DOI: 10.1002/jpln.200900210
15. Katipoglu-Yazan T., Pala-Ozkok I., Ubay-Cokgor E., Orhon D. Acute impact of erythromycin and tetracycline on the kinetics of nitrification and organic carbon removal in mixed microbial culture // *Bioresource Technology*. 2013. V. 144. P. 410–419. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.06.121

16. Halling-Sørensen B. Inhibition of Aerobic Growth and Nitrification of Bacteria in Sewage Sludge by Antibacterial Agents // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2001. V. 40. P. 451-460. DOI: 10.1007/s002440010197
17. Campos J.L., Garrido J.M., Mendez R., Lema J.M. Effect of Two Broad-Spectrum Antibiotics on Activity and Stability of Continuous Nitrifying System // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2001. V. 95. P. 1-10. DOI: 10.1385/ABAB:95:1:01
18. Mehta A., Chopra S., Mehta P. Antibiotic inhibition of pectolytic and cellulolytic enzyme activity in two *Fusarium* species // Mycopathologia. 1994. V. 124 (3). P. 185-188. DOI: 10.1007/BF01103736
19. Герасимова М.И., Красильников П.В. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Исправленная и дополненная версия 2015. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Рим, 2018. 216 с.
20. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
21. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почвы: методические рекомендации. Под ред. Возняковской Ю.М. Л.: ВНИИСХМ, 1987. 47 с.
22. Anderson B., de Peyster A., Gad S.C., Hakkinen P.J.B., Kamrin M., Locey B., Mehendale H.M., Pope C., Shugart L., Wexler P. Encyclopedia of Toxicology, Four-Volume Set: Encyclopedia of toxicology, Second Edition.. Academic Press, 2005. 2000 p.
23. Химическая энциклопедия: в 5 т. гл. ред. Н.С. Зефирова. М.: Большая Российская энциклопедия, Т. 4: Пол-Три. 1995. С. 103-104.
24. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 138 с.
25. zagryazneniya antibiotikami [Assessment of the ecological state of the main soils of the south of Russia under conditions of antibiotic contamination]. Rostov-on-Don, Taganrog, Southern Federal University Publ., 2019, 114 p. (In Russian)
26. Zinchenko M.K. *Fermentativnye protsessy v serykh lesnykh pochvakh Verkhnevolzh'ya* [Enzymatic processes in the gray forest soils of the Upper Volga]. Suzdal, PreSsto Publ., 2019, 140 p. (In Russian)
27. Naplekova N.N. *Metabolity aerobnykh tsellyulozorazrushayushchikh mikroorganizmov i ikh rol' v pochvakh* [Metabolite of the aerobic cellulolytic microorganisms and their function in a soils]. Novosibirsk, NSAU Publ., 2010, 228 p. (In Russian)
28. Trifonova T. A., Chesnokova S.M., Kosmacheva A.G. Evaluation of the effect of ampicillin and tylosin antibiotics on the enzymatic activity of sod-podzolic soil and their toxicity to cultivated plants. *Theoretical and Applied Ecology*, 2020, no. 2, pp. 150-156. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2020-2-150-156
29. Kosmacheva A.G. [Assessment of the impact of the antibiotics «benzylpenicillin», «oxytetracycline» and «tylosin» on the catalase activity of weakly loamy sod-podzolic and grey forest soils]. *Grani poznaniya*, 2019, no. 6 (65). pp. 79-83. (In Russian) Available at: <http://grani.vspu.ru/jurnal/70> (accessed 15.05.2020)
30. Cui H., Wang S-P., Fu J., Zhou Z-Q., Zhang N., Guo L. Influence of ciprofloxacin on microbial community structure and function in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2014, vol. 50, pp. 939-947. DOI: 10.1007/s00374-014-0914-y
31. Hammesfahr U., Kotzerke A., Lamshöft M., Wilke B-M., Kandeler E., Thiele-Bruhn S. Effects of sulfadiazine-contaminated fresh and stored manure on a soil microbial community. *European Journal of Soil Biology*, 2011, vol. 47, iss. 1, pp. 61-68. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2010.10.004
32. Kotzerke A., Sharma S., Schauss K., Heuer H., Thiele-Bruhn S., Smalla K., Wilke B-M., Schlöter M. Alterations in soil microbial activity and N-transformation processes due to sulfadiazine loads in pig-manure. *Environmental Pollution*, 2008, vol. 153, iss. 2, pp. 315-322. DOI: 10.1016/j.envpol.2007.08.020
33. Toth J. D., Feng Y., Dou Z. Veterinary antibiotics at environmentally relevant concentrations inhibit soil iron reduction and nitrification. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, vol. 43, iss. 12, pp. 2470-2472. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.09.004
34. Kotzerke A., Fulle M., Sharma S., Kleinedam K., Welzl G., Lamshöft M., Schlöter M., Wilke B-M. Alterations in total microbial activity and nitrification rates in soil due to amoxicillin-spiked pig manure. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 2011, vol. 174, iss. 1, pp. 56-64. DOI: 10.1002/jpln.200900210
35. Katipoglu-Yazan T., Pala-Ozkok I., Ubay-Cokgor E., Orhon D. Acute impact of erythromycin and tetracycline on the kinetics of nitrification and organic carbon removal in mixed microbial culture. *Bioresource Technology*, 2013, vol. 144, pp. 410-419. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.06.121
36. Halling-Sørensen B. Inhibition of Aerobic Growth and Nitrification of Bacteria in Sewage Sludge by Anti-

REFERENCES

1. Grenni P., Ancona V., Caracciolo A. B. Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review. *Microchemical Journal*, 2018, vol. 136, pp. 25-39. DOI: 10.1016/j.microc.2017.02.006
2. Cyś M., Mroziak A., Piotrowska-Seget Z. Antibiotics in the Soil Environment — Degradation and Their Impact on Microbial Activity and Diversity. *Front. Microbiol*, 2019, vol. 10, 338 p. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00338
3. van de Vijver L., Verwer C., Smolders G., Hospers-Brands M., van Eekeren N. The cycle of veterinary antibiotics in the ecosystem. Louis Bolk Institute, 2016, 31 p.
4. Akimenko Y.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Vliyanie zagryazneniya antibiotikami na biologicheskie svoystva chernozema obyknovennogo* [Influence of pollution by antibiotics on the biological properties of ordinary chernozem]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2015, 153 p. (In Russian)
5. Akimenko Y.V., Chuvaraeva O.V., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Minnikova T.V. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya osnovnykh pochv yuga Rossii v usloviyakh*

- bacterial Agents. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 2001, vol. 40, pp. 451-460. DOI: 10.1007/s002440010197
17. Campos J.L., Garrido J.M., Mendez R., Lema J.M. Effect of Two Broad-Spectrum Antibiotics on Activity and Stability of Continuous Nitrifying System. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2001, vol. 95, pp. 1-10. DOI: 10.1385/ABAB:95:1:01
18. Mehta A., Chopra S., Mehta P. Antibiotic inhibition of pectolytic and cellulolytic enzyme activity in two *Fusarium* species. *Mycopathologia*, 1994, vol. 124 (3), pp. 185-188. DOI: 10.1007/BF01103736
19. Gerasimova M.I., Krasil'nikov P.V. *Mirovaya referativnaya baza pochvennykh resursov 2014. Mezhdunarodnaya sistema pochvennoi klassifikatsii dlya diagnostiki pochv i sozdaniya legend pochvennykh kart. Ispravlenneya i dopolnennaya versiya 2015* [IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106]. FAO, Rome, 2018, 216 p.
20. Kazeev K., Kolesnikov S., Valkov V. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy* [Biological diagnostic and indication of soils: the methodology and methods of researches]. Rostov-on-Don, RSU Publ., 2003, 216 p. (In Russian)
21. Voznyakovskoi Yu.M., ed. *Osnovnye mikrobiologicheskie i biokhimicheskie metody issledovaniya pochvy: metodicheskie pekomentatsii* [Basic microbiological and biochemical methods of soil research: methodological recommendations]. Leningrad, VNIISKHM Publ., 1987, 47 p. (In Russian)
22. Anderson B., de Peyster A., Gad S.C., Hakkinen P.J.B., Kamrin M., Locey B., Mehendale H.M., Pope C., Shugart L., Wexler P. *Encyclopedia of Toxicology, Four-Volume Set: Encyclopedia of toxicology, Second Edition*. Academic Press, 2005. 2000 p. Zefirov N.S., ed. *Khimicheskaya entsiklopediya* [Chemical encyclopedia]. Moscow, Pol-Tri Publ., 1995, vol. 4, pp. 103-104. (In Russian)
23. Umarov M.M., Kurakov A.V., Stepanov A.L. *Mikrobiologicheskaya transformatsiya azota v pochve* [Microbial transformation of nitrogen in soil]. Moscow, GEOS Publ., 2007, 138 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Анастасия Г. Космачева занималась планированием и проведением экспериментальных исследований, проводила лабораторное моделирование загрязнения почвы и лабораторно-аналитические исследования изменения ферментативных показателей почвы, анализировала и интерпретировала данные результатов исследования. Татьяна А. Трифонова осуществляла общее руководство исследованием, корректуру рукописи до подачи в редакцию. Светлана М. Чеснокова разработала концепцию 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.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anastasia G. Kosmacheva was engaged in the planning and conducts of experimental studies, conducted laboratory modeling of soil pollution and laboratory and analytical studies of changes in the enzymatic parameters of the soil, analyzed and interpreted the research results data. Tatiana A. Trifonova carried out the general management of the research and proofread the manuscript before submitting it to the Editor. Svetlana M. Chesnokova developed the research concept. All authors participated equally in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Татьяна А. Трифонова / Tatiana A. Trifonova <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

Анастасия Г. Космачева / Anastasia G. Kosmacheva <https://orcid.org/0000-0002-1988-8615>

Светлана М. Чеснокова / Svetlana M. Chesnokova <https://orcid.org/0000-0001-5126-1786>

Оригинальная статья / Original article
УДК 528.8
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-63-74

Выявление температурных аномалий на западном Каспии за 2017 г. по данным дистанционного зондирования

Абдулмеджид А. Багомаев, Надира О. Гусейнова

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Надира О. Гусейнова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и биоразнообразия, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79887715041
Email nadira_guseynova@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

Формат цитирования

Багомаев А.А., Гусейнова Н.О. Выявление температурных аномалий на западном Каспии за 2017 г. по данным дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 63-74. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-63-74

Получена 8 июня 2020 г.
Прошла рецензирование 27 июля 2020 г.
Принята 25 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Изучение температурных аномалий на западном Каспии на основе материалов космических съемок для обнаружения явления апвеллинга.

Материалы и методы. Использовались температурные показатели морской воды за летний сезон 2017 г. при резком понижении среднесуточной температуры более чем на 2°C. Космоснимки получены из специализированных центров Ocean Color NASA, Earth Science Data Systems NASA и SATIN. Данные дистанционного зондирования обработаны в программах SeaDAS и ArcGIS. Наземные данные получены из фондов Единой государственной системы информации об обстановке в мировом океане (ЕСИ-МО). Создана база данных в ArcGIS и составлены карты.

Результаты. Первый апвеллинг проявляется 9-17 июня. Минимальная температура воды в районе Махачкалы равна 14°C при повышении солёности до 12‰, площадью 1500 км². Зафиксировано увеличение содержания растворенного кислорода до 9,70 мг/л и pH 8,64. Второй апвеллинг средней интенсивности был с 19 июня по 1 июля при минимуме t=17,9°C. Падение температуры составило 2,8°C при повышении солёности на 1‰. Площадь поверхности 454 км². Третий случай апвеллинга зафиксирован с 26 августа по 1 сентября, характеризуется снижением температуры воды на 7,4°C и у берега составила 17,1°C. Среднее повышение солёности на 0,32‰, концентрация O₂ – 8 мг/л, площадь акватории – 500 км².

Заключение. Для Каспийского моря ввиду его больших размеров характерна пространственная неоднородность океанологических параметров, что можно зафиксировать по результатам обработки космоснимков и их верификации по наземным данным. В западной части апвеллинг носит периодический и разномасштабный характер.

Ключевые слова

Геоданные, космические снимки, дистанционное зондирование, ГИС, ArcGIS, Каспийское море, апвеллинг.

Identification of temperature anomalies in the western Caspian Sea in 2017 based on remote sensing data

Abdulmedzhid A. Bagomaev and Nadira O. Guseynova

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology and Biodiversity, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367001. Tel. +79887715041

Email nadira_guseynova@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

How to cite this article

Bagomaev A.A., Guseynova N.O. Identification of temperature anomalies in the western Caspian Sea in 2017 based on remote sensing data. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 63-74. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-63-74

Received 8 June 2020

Revised 27 July 2020

Accepted 25 August 2020

Abstract

Aim. The study of temperature anomalies in the western Caspian Sea based on space imagery materials in order to detect upwelling phenomena.

Materials and Methods. We used temperature indicators of seawater for the summer season of 2017 when a sharp decrease by more than 2°C in average daily temperature occurred. Space images were obtained from the specialized centres of Ocean Color NASA, Earth Science Data Systems NASA and SATIN. Remote sensing data were processed using SeaDAS and ArcGIS programs. Ground data were obtained from the resources of the Unified State System of Information about the Situation in the World Ocean (ESIMO). An ArcGIS database was created and maps compiled.

Results. The first upwelling occurred on 9-17 June 2020. The minimum water temperature in the Makhachkala area was 14°C with an increase in salinity to 12‰ over an area of 1,500 sq.km. An increase in the content of dissolved oxygen of up to 9.70 mg/l and pH 8.64 was recorded. A second upwelling of medium intensity occurred from 19 June-July 1 with a minimum temperature of 17.9°C. The decrease in temperature was 2.8°C with an increase in salinity by 1‰. The surface area was 454 sq.km. A third case of upwelling was recorded from 26 August-September 1 and was characterised by a decrease in water temperature of 7.4°C (near the coast, 17.1°C). The average salinity increase was 0.32‰ while the O₂ concentration was 8 mg/l over an area of 500 sq.km.

Conclusion. Due to its large size, the Caspian Sea is characterised by spatial inhomogeneity of oceanological parameters, which can be recorded based on the results of processing satellite images and their verification using ground data. In the western part of the sea the upwelling is periodic and of different scales.

Key Words

Geodata, satellite imagery, remote sensing, GIS, ArcGIS, Caspian Sea, upwelling.

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в функционировании экосистем моря занимает явление вертикального движения водных масс – апвеллинг и даунвеллинг. Апвеллингом принято считать процесс подъема глубинных масс воды на поверхность водоема, т.е. вертикальное перемещение водных объемов с различными свойствами. Эти свойства могут быть выражены через характеристики: температура, соленость, плотность и т.д. [1].

Научное обоснование механизма возникновения апвеллинга впервые нашло отражение в работах норвежского мореплавателя и исследователя Отто Свердруп. Данное явление он связывал с дрейфовыми течениями в океане, природа которых объяснена в 1905 г. шведским геофизиком Экманом [2].

Механизм возникновения апвеллинга до сих пор однозначно не установлен. Некоторые исследователи считают, что данных океанологических наблюдений, подтверждающих генерацию апвеллинга ветром очень мало, а гораздо больше информации, ставящей эту гипотезу под сомнение. Это дало основание предполагать, что основное явление, генерирующее апвеллинг и даунвеллинг – не ветер, а вдольбереговые течения.

О проявлении апвеллинга судят по резкому изменению параметров воды в течение суток: температуры, гидрохимическому составу и биологической продуктивности.

Первый параметр, позволяющий выявить апвеллинг – это температура. При апвеллинге наблюдается опускание теплых поверхностных вод на глубину с замещением их более холодными глубинными водами. Т.е. для района с апвеллингом характерна значительная отрицательная аномалия температуры в районе его проявления.

Другим важным параметром апвеллинга выступает химический состав воды. При погружении теплых вод на глубину на поверхность поднимаются богатые биогенными веществами (фосфор и азот) водные массы. Соответственно, меняется и солевой состав водной толщи [2; 3].

Основным видом апвеллинга является прибрежный апвеллинг, при котором на поверхность поднимаются воды в узкой вдольбереговой зоне. Масштабы подъема зависят от параметров ветра, а именно: скорости, продолжительности, разгона и направления. Однако поднявшиеся воды и их влияние на океанографические условия могут распространяться на десятки километров. Кроме того, интенсификация проявления апвеллинга зависит от времени года.

Физические основы космической съемки параметров морей

Первые космические снимки океана начали получать в 1970 г. с помощью специальных спутников Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA).

К началу 1980-х г. на фоне успехов космических методов слежения за состоянием окружающей среды выделилось новое научное направление – дистанционное зондирование океана. Космическая съемка позволяет выполнять исследования процес-

сов, происходящих как в океанах, так и процессов, возникающих во взаимодействии с другими геосферами [4; 5].

Съемочные сенсоры, которыми оснащены спутники, предназначены для съемки объектов в различных диапазонах электромагнитного излучения. При изучении гидрофизических и гидробиологических параметров воды особо информативен инфракрасный диапазон. Различные участки инфракрасного диапазона позволяют фиксировать такие параметры воды, как температура, скорость и направление течения, структура водной поверхности. В микроволновом диапазоне определяются параметры солёности, температуры поверхности и т.д. Кроме того, инфракрасный канал хорошо подходит при разграничении линии «вода-суша» за счет поглощения водой этой части электромагнитного спектра [4; 6].

Обзор современных съёмочных систем

Существует большое количество спутников, оснащенных сенсорами для фиксации различных диапазонов электромагнитного излучения.

Из функционирующих съемочных систем специального назначения более всего используется гиперспектральный радиометр MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer). Он установлен на спутниках серии Terra и Aqua и производит съемку в 36-ти каналах с пространственным разрешением 250-1000 м (диапазон съемки от 0.45 до 14.36 мкм). Получаемые снимки с помощью этой системы в тепловой инфракрасной зоне дают возможность определять температуру водной поверхности с точностью до 0,5°C при пространственном разрешении 1000 м [7].

Для изучения глобальных процессов широко применяются спутники серии NOAA – NOAA-18 и NOAA-19. На них установлена сканирующая система – радиометр AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Он производит съемку в узком диапазоне (6 каналов VIS, NIR, IR) и позволяет проводить мониторинг как морей, так и облаков, подстилающей поверхности, в том числе детектировать пожары, мощные кучево-дождевые облака, границы снежного покрова, а также определять температуру верхней границы облачности [3; 5; 8; 9].

Для крупномасштабных исследований с малым охватом территорий используются большое количество спутников ресурсного типа как Landsat, Sentinel и т.д. Эти спутники производят съемку высокого пространственного разрешения и оснащены датчиками оптического диапазона, в частности, тепловым каналом [10].

Анализ работ по изучению температуры водной поверхности и других индикаторов апвеллинга показывает разнообразие применяемых методов обработки данных космической съемки.

Применяя сочетания методов оптической и радиолокационной съемки, выполненных летом 2006 г., исследуются параметры апвеллинга в юго-восточной части Балтийского моря в работе [11]. Результаты работ показывают корреляционную связь прибрежного апвеллинга и выносов рек через сигнатуру на радиолокационных снимках, тепловых и оп-

тических снимках моря в зонах вихрей, грибовидных структур.

Вопросу изучения апвеллинга в Каспийском море также посвящено много работ. В работах [10; 12] рассматривается использование космических снимков в геоинформационной среде для изучения апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия. Результаты этих работы позволили выявить на основе снимков с датчика MODIS и подспутниковых гидрометеорологических наблюдений масштабы и периоды проявления апвеллингов.

Многостороннему изучению апвеллинга Каспийского региона посвящен ряд работ Института космических исследований РАН. В работе Гинзбурга А.И. и др. [13] изучается структура апвеллинга по снимкам в инфракрасном канале со спутников NOAA-15, 16, 17 (пространственное разрешение – примерно 1 км, разрешение по температуре – около 0.1°C) для мая-сентября 2002 и 2003 гг., данные о скорости и направлении ветра в Махачкале использованы для получения картины ветроуправляемого апвеллинга и его характерных особенностей в ряде пунктов вдоль западного побережья Среднего Каспия.

Общая физико-географическая характеристика западной части Среднего Каспия

Каспийское море представляет собой замкнутый водоем протяженностью с севера на юг более 1000 км. В наиболее широкой части достигает 435 км, наименьшая ширина – 196 км. Водосборный бассейн составляет площадь 1380 тыс. км².

Каспийское море по своим характеристикам делится на 3 основных сектора: Северный, Средний и Южный [14].

Средний Каспий – это обособленная котловина, максимальная глубина которого достигает 788 м в Дербентской котловине. Западный берег Каспия имеет равномерный характер.

В целом Каспий располагается в нескольких климатических районах: северная часть – континентальная зона, западная часть – умеренно теплая зона, юго-запад – субтропическая влажная и восток – пустынная. Этим объясняются сезонные особенности синоптических процессов и погоды в Каспии. Атмосферная циркуляция определяется барическими центрами: зимой отрогом азиатского максимума, а в весенне-летний период – гребнем азорского максимума.

Для акватории Каспия характерен избыток тепла и высокий радиационный баланс – в среднем 60 ккал/см^2 . Это приводит к интенсивному испарению и теплообмену с атмосферой. Радиационный баланс достигает максимума в июне-июле ($11\text{--}12 \text{ ккал/см}^2$), а минимального значения ($1\text{--}2 \text{ ккал/см}^2$) в декабре.

Орографические условия, в которых располагается Каспийское море, способствует воздействию различных воздушных масс. Из полярных областей вторгаются холодные массы, а со стороны Северной Атлантики – влажные массы, Сибири – сухие континентальные. Также акватория подвержена субтропическим массам с юго-запада (Средиземноморье).

Ветровой режим разных частей Каспия существенно различается. На Среднем Каспии господ-

ствуют ветры северо-западного и юго-восточных направлений со среднегодовой скоростью от 2 до 5 м/с [14; 15].

Над открытым морем преобладают ветры со скоростями до 10 м/с (65–80%), тогда как повторяемость штормовых ветров составляет 1,0–1,5%. Наибольшая повторяемость штормовых ветров наблюдается в направлении с северо-востока на юго-запад, создавая циркулирующие течения.

Крайне неравномерно распределены по акватории моря осадки [15]. Объясняется это особенностями орографии, которая определяет направление и интенсивность воздушного потока, и, как следствие, уровнем конденсации паров, что зависит от температуры воздуха и дефицита влажности.

Температура воды хорошо выражена в зимний период, когда в Северной части температура может достигать 0°C , а на юге – более 10°C . Летом поверхность нагревается до $28\text{--}32^{\circ}\text{C}$ и в этот период наблюдаются проявления апвеллингов. Начало апвеллинга приходится на июнь, однако наибольшей интенсивности он достигает в июле-августе. Как следствие, на поверхности воды наблюдается понижение температуры ($7\text{--}15^{\circ}\text{C}$).

Солевой состав вод Каспия зависит от материкового стока, испарения и т.д. В зоне влияния материкового стока воды содержат преимущественно карбонаты, сульфаты кальция, которые являются основными компонентами в химическом составе речных вод. Резко меняется солёность северной части от 0,1‰ в устьевых областях Волги и Урала до 10–11‰ на границе со Средним Каспием. В открытых районах моря солёность не превышает 15‰ [15].

Для моря важное значение имеют течения, имеющие сложную структуру. Формируют их, главным образом, ветры, плотность, особенности береговая линия и рельеф дна. Течения имеют скорость 15–30 см/с. Вдоль западных берегов Среднего и Южного Каспия в слое от поверхности до дна доминируют течения южного направления [14; 16].

Целью нашей статьи является изучение температурных аномалий на западном Каспии на основе материалов космических съемок для обнаружения явления апвеллинга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Источники данных и методика исследования апвеллинга

Поиск и подбор данных производился из достоверных источников, таких как государственные информационные ресурсы или международные источники данных. Материалами для работы послужили космические снимки с метеорологических и океанологических спутников за летний сезон 2017 г., а также данные наземных гидрологических измерений. Работа основывается на стандартных методах и методиках, изложенных в работах зарубежных и отечественных исследователей.

Методика выявления апвеллинга основывалась на аналогичных исследованиях, изложенных в нижеприведенных работах [10–13]. Для обнаружения явления в первую очередь использовались температурные показатели при резком понижении

среднесуточной температуры более чем на 2°C. Подтверждался этот факт по космическим снимкам и наземным данным.

Классификация апвеллинга производилась по критериям продолжительности, интенсивности и масштабу. При продолжительности он делится на короткий (менее 3-х суток), нормальный (4-6 суток) и длительный (более 7). Интенсивность определялась по разности температурных показателей в последние сутки до его появления и минимальной температурой во время самого апвеллинга. В случае фиксации разности менее 3°C апвеллинг считается слабым, 3-5°C – средним, более 5°C – сильным.

Если при фиксировании падения температуры в одном пункте наблюдения апвеллинг считается локальным, одновременно в 2-х пунктах – субрегиональным и в 3 и более пунктах – региональным.

Материалы наземных гидрометеорологических наблюдений

Наземные данные получены в ходе гидрометеорологических наблюдений на постах в прибрежной зоне, а в открытом море данные измерены на судах.

Эти данные сосредоточены в государственном информационном фонде – Единой государственной системе информации об обстановке в мировом океане (ЕСИМО).

Поиск возможен в следующих тематических разделах: температура воды; температура воздуха; соленость; скорость ветра; высота волн; уровень моря и содержание кислорода. Эти данные разделены для прибрежной зоны и открытого моря в виде статистики и трендов.

Из массива данных произведен поиск показателей для Среднего Каспия с 2010 по 2018 гг. и выгружен в формате *.csv. На их основе была создана автономная база пространственных данных в среде ArcGIS. В качестве ключевого поля установлен идентификатор станций, по которому производилась нормализация с тематическими данными: среднесуточная температура и соленость (на станциях наблюдения Махачкала, Изберг и Дербент), сведения об уровне моря (на станциях Махачкала и о. Тюлений).

Станции наблюдений на дагестанском побережье приведены на рис. 1 [12].



Рисунок 1. Станции наблюдения на Дагестанском побережье (Россия) [12]

Figure 1. Observation stations on the Dagestan coast (Russia) [12]

База геопространственных данных организована с возможностью расширения путем добавления новых данных, например, гидрохимических параметров (pH, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов).

Данные дистанционного зондирования

Космические снимки получены из специализированных центров Ocean Color NASA (данные съемочных систем MODIS), Earth Science Data Systems (ESDS) NASA и SATIN [5; 17; 18]. Эти данные организованы по-разному, отражая различные пространственные, временные и параметрические группировки. В общем случае эти службы производят сбор, обработку, калибровку, проверку, архивацию и распространение продуктов, связанных с океаном, из большого числа оперативных спутниковых миссий дистанционного зондирования, которые предоставляют данные о цвете океана, температуре и солености поверхности моря для международных исследований с 1996 года.

В каталоге Ocean Color NASA представлены несколько вариантов данных разных уровней обработки. В разделе уровень 0 (Level 0) содержатся необработанные данные, полученные непосредственно с сенсора MODIS. Работа с этими данными достаточно трудоемкая.

Данные уровня 1A (Level1A) проходят некоторую предварительную обработку, например, привязываются ко времени и снабжаются аннотацией с вспомогательной информацией, включая радиометрические и калибровочные коэффициенты, параметры географической привязки (например, данные эфемерид платформы). Именно этот факт делает уровень 1A предпочтительным уровнем архивных данных. Прошедшие радиометрическую коррекцию снимки относятся к уровню 1B (Level1B).

Второй уровень данных (Level2) составляют продукты, полученные из данных предыдущего уровня. Как правило, это геофизические переменные с тем же разрешением, что и исходные данные уровня 1. Эти переменные сгруппированы в несколько наборов продуктов (например, цвет океана или температура).

Данные уровня 3 – это производные геофизические переменные, которые были агрегированы на четко определенную пространственную сетку в течение определенного периода времени (например, ежедневно, 8 дней, ежемесячно и т.д.).

Данные уровня 4 представляют собой выходные данные модели или результаты анализа данных более низкого уровня (например, переменных, полученных из нескольких измерений).

Были отобраны данные 2 и 3 уровней, полученные с помощью спутников Terra и Aqua в интервале с 10.30 до 14.00 (MSK). Поиск производился на летний период с учетом облачности. Было отобрано более 200 сцен, пригодных для дальнейшей работы [9].

Технология обработки данных дистанционного зондирования

Обработка данных заключалась в геометрической коррекции и синтезе каналов в программе SeaDAS. Данная программа разработана для целей дешифрирования снимков при океанологических исследованиях. Зало-

женные в программу алгоритмы позволяют идентифицировать продукты MODIS и подбирать для них параметры коррекции.

Для получения тепловых полей использовались каналы в инфракрасном диапазоне с пространственным разрешением в 1 км и точностью температуры 0,3-0,5°C.

Обработанные космические снимки и файлы с геофизическими параметрами имеют пространственную привязку в проекции WGS-84, что позволяет их легко адаптировать в ранее созданную базу геопространственных данных.

В базу геоданных внесено 95 изображений с температурными полями.

По внесенным в базу геоданным наземных наблюдений производилось создание серий интерполяционных карт, по которым производится верификации спутниковых данных, что показало незначительное отклонение показателей, полученных наземным и спутниковыми методами.

ГИС-проект имеет в своей структуре 3 блока.

В первый блок включены базовые пространственные слои, куда входят наборы векторной батиметрической карты Каспийского моря и космический снимок высокого пространственного разрешения. Также предусмотрена возможность подключения посредством WMS-подключения базовых слоев глобального охвата, предоставляемых ArcGIS Online.

Второй блок состоит из слоев наземных наблюдений. Данные организованы в атрибутивных таблицах с возможностью пространственного анализа и моделирования. По этим данным создается растровые привязанные карты измеренных величин методом кригинга.

Следующий блок данных – тематические данные, полученные со спутника и обработанные в программе SeaDAS. Они имеют ту же пространственную привязку, что и предыдущие слои и могут быть интегрированы в базу данных. По этим данным в последующем производились картометрические работы по определению характеристик апвеллинга (площадей, интенсивности и т.д.).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фактом апвеллинга является наблюдение резкого понижения температуры вод в летнее время. Первые заметные понижения показателей температуры на 2°C в дагестанской части Западного Каспия в рассматриваемый год проявляются в начале июня. В то время, когда температура в открытом море и восточной части Каспия быстро прогревается, на западном побережье в зоне шириной около 50 км сохраняется температура ниже на 4-5°C. Такая разность температур наблюдается до 21 июня, после чего этот показатель между западным и восточным побережьем составляет 1-2°C. По спутниковым данным в июне диапазон температур для акватории Каспия составляет 17-27°C (рис. 2).

Резкое понижение температуры начинается с 7 июня в районе Махачкалы. Температура, зафиксированная спутниковыми радиометрами, здесь составляла 22°C. В следующие сутки она опускается до 21,5°C, достигнув показателя 20°C 9 числа. В последующие дни в прибрежной части сохраняется температура 20-21°C, а на расстоянии около 50 км от берега температура резко поднимается на 3°C.

К 16 июня значение температуры воды достигает 22°C, а на небольших локальных участках к югу от станции Изберг и к северу от Махачкалы до устья р. Сулак температура держится на уровне 21°C. На общем фоне прогревания воды до 24°C в последующие дни на участке к северу от Махачкалы температура устойчиво сохраняется на уровне 21,5–22°C (рис. 3).

Значительное понижение температуры с 24–25°C до 21,5–22°C на площади более 15 тыс. км² наблюдается 22 июня. Масса воды с такими показателями начинается вдоль побережья от района о-ва Лопатин на севере до станции Изберг, а затем уходит клином в юго-восточном направлении, не доходя до Дербента. В Дербенте и южнее температура держится на уровне 23–24°C и сохраняется на фоне последующего понижения температуры в центральной части Среднего Каспия до 21°C, что зафиксировано съемочными системами 25 июня.

После этой даты на побережье с юга до ст. Изберг температура начинает повышаться до 23,5–24°C. А к северу от Махачкалы зафиксирована температура в диапазоне 21,5–22°C, которая сохраняется до 3 июля.

К 5 июля температурное поле выравнивается и составляет 24°C, прогреваясь в некоторых участках побережья до 25°C (рис. 4). Постепенное повышение температуры на всей западной части акватории происходит до 10 числа. 11 июня в районе устья р. Сулак происходит резкое снижение с 25°C до 23°C, а на участке Из-

берг-Дербент понижение происходит в полосе шириной 15 км с 25°C до 23,5°C. К 13 июля в районе Дербента вода прогревается до 24°C, а севернее от ст. Изберг температура 23,5°C держится еще несколько дней. После 26 июля на всем участке Западного Каспия температура колеблется в пределах 25,5–26°C.

До 7 августа продолжается повышение температуры до 27–28°C, периодически колеблясь на разных участках на 0,5°C (рис. 5). Понижение температуры на снимках заметно проявляется на локальных участках к 11–12 августа (район ст. Изберг, устье р. Нового Терека). К 16 августа в 80-километровой зоне от берега температура плавно доходит до 26°C. 20 августа заметно понижение температурных показателей, в районе о-ва Лопатин за сутки происходит понижение температуры на 1,5°C, а к 24 августа на этом участке температура составляет 24,5°C. Резкое понижение температуры на 1,5–2°C с 27,5–28°C происходит 27 августа практически повсеместно. В то же время температура воды севернее о-ва Лопатин понижается до 24°C, и к 29 августа доходит до района Махачкалы. Одновременно замечено понижение температуры на 1,5°C в устье р. Самур. К началу 2 сентября температура воды между станцией Махачкала и устьем р. Самур падает до 22,5°C. После этой даты температура медленно понижается и сохраняется на этом уровне.

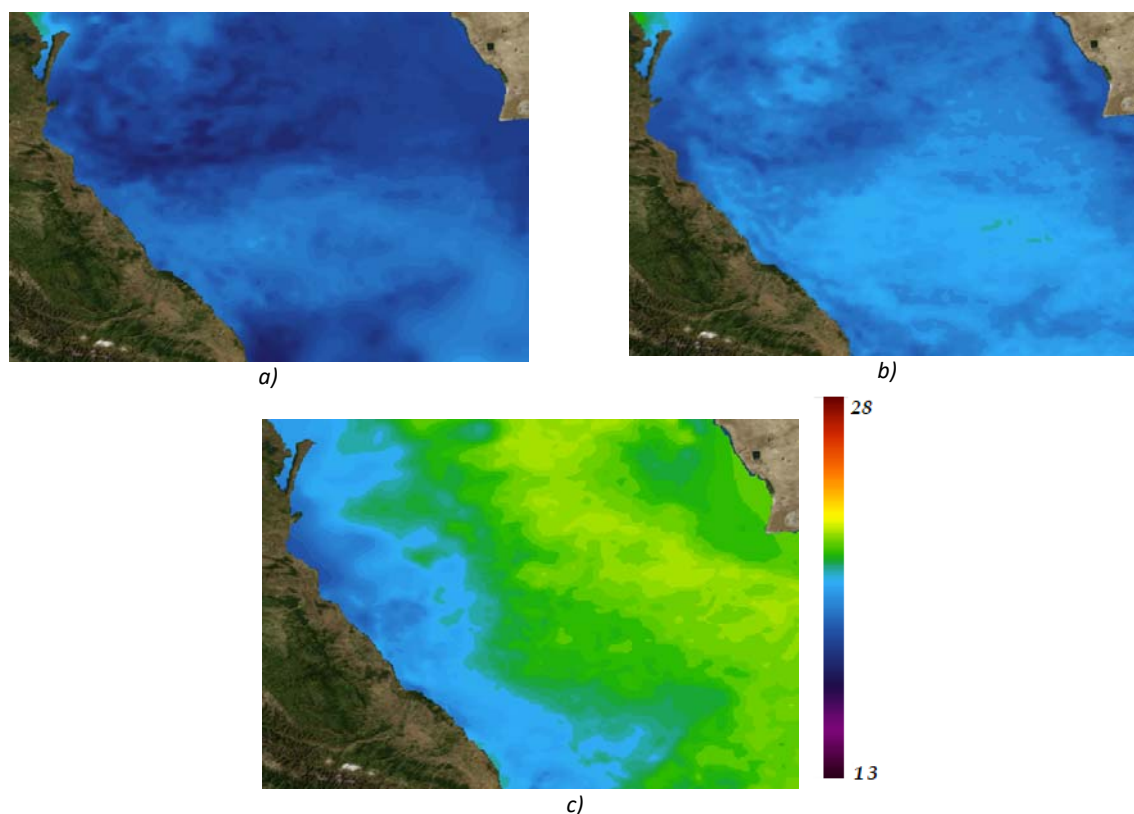


Рисунок 2. Фрагменты карт температурных полей: а – 7 июня; б – 9 июня; с – 11 июня

Figure 2. Sections of map of temperature fields: а – 7 June; б – 9 June; с – 11 June

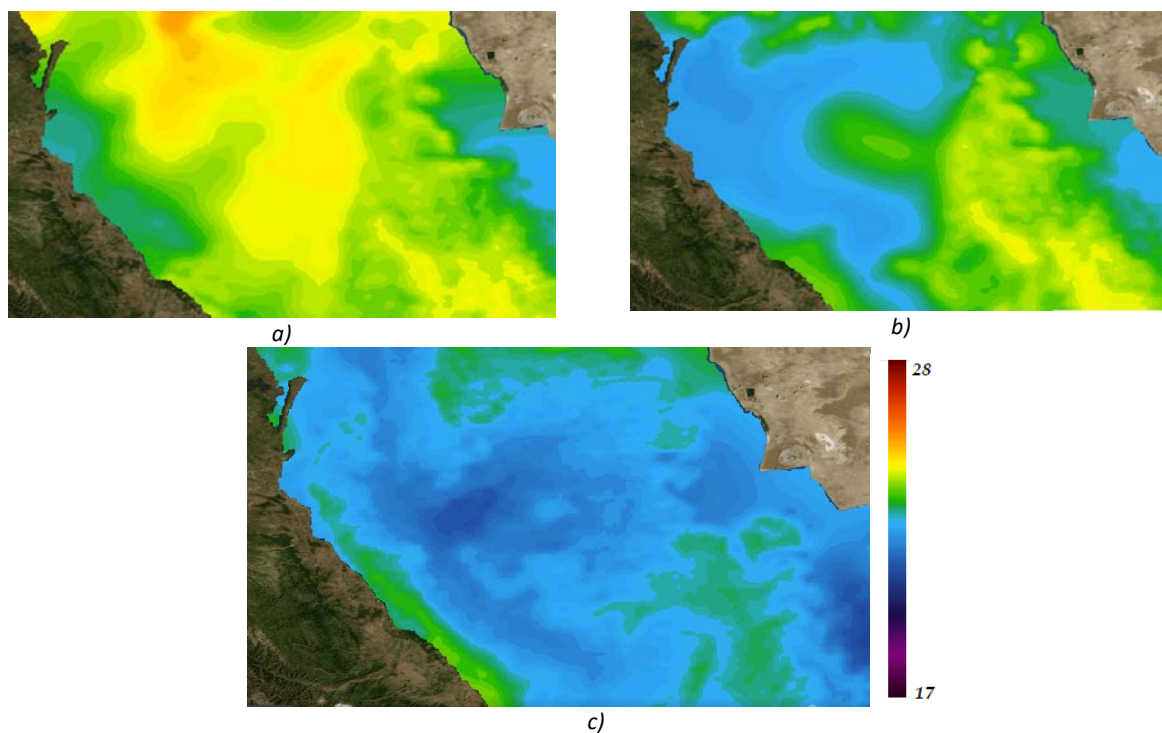


Рисунок 3. Фрагменты карт температурных полей: а – 21 июня; б – 25 июня; с – 3 июля
Figure 3. Sections of map of temperature fields: a – 21 June; b – 25 June; c – 3 July

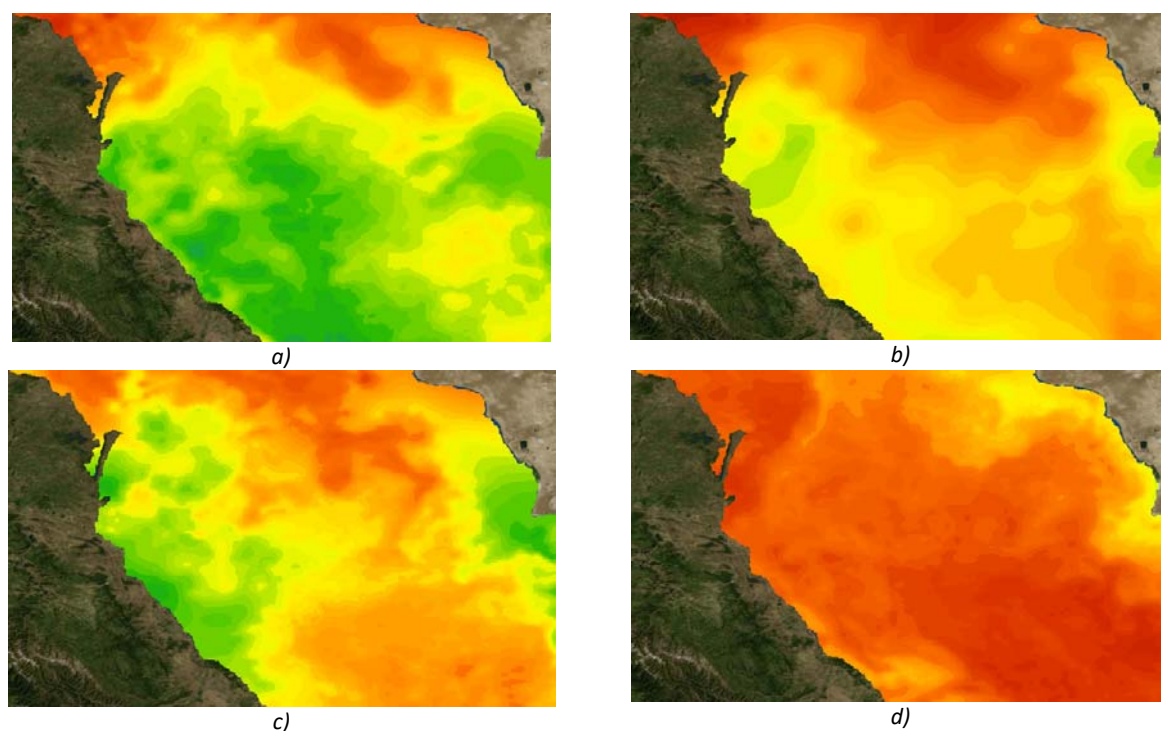


Рисунок 4. Фрагменты карт температурных полей: а – 5 июля; б – 10 июля; с – 3 июля; д – 26 июля
Figure 4. Sections of map of temperature fields: a – 5 July; b – 10 July; c – 3 July; d – 26 July

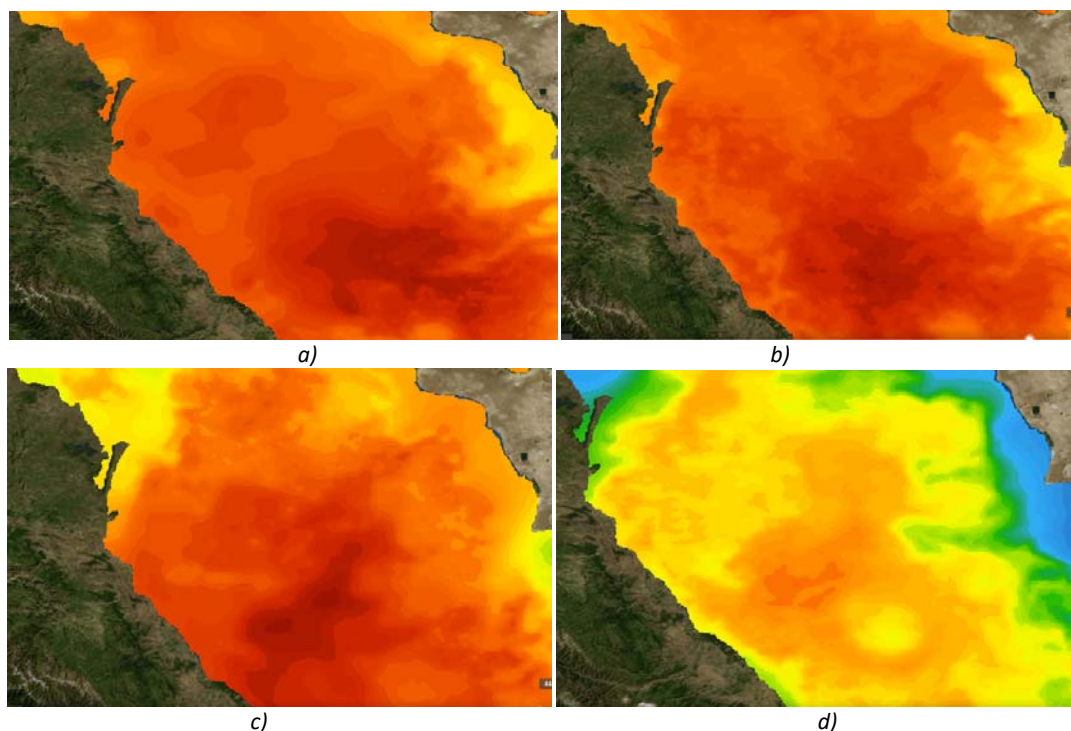


Рисунок 5. Фрагменты карт температурных полей: а – 7 августа; б – 12 августа; с – 20 августа; д – 29 августа
Figure 5. Sections of map of temperature fields: a – 7 August; b – 12 August; c – 20 August; d – 29 August

Анализ и оценка интенсивности проявления апвеллинга с помощью ГИС-проекта

Выявление сроков, размеров и интенсивности апвеллингов за исследуемый период производится с привлечением в дополнение к ранее обработанным космическим снимкам данных наземных наблюдений, сведенных в базу геоданных. По этим данным в исследуемый

период в западной части Среднего Каспия подъем холодных и обогащенных биогенными элементами глубинных вод наблюдался 3 раза.

Первый случай апвеллинга проявляется 9-17 июня. В это время зафиксированная минимальная температура в районе Махачкалы составляет 14°C при повышении солёности до 12‰ (рис. 6).

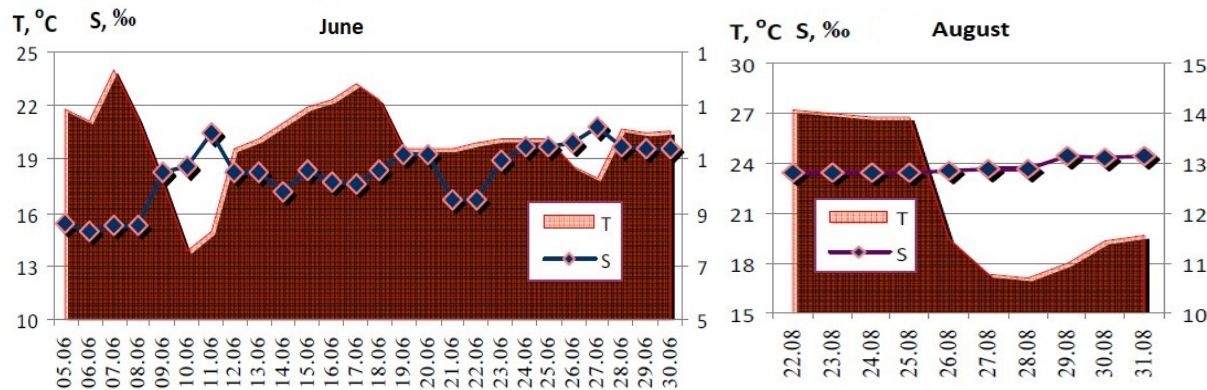


Рисунок 6. График среднесуточных значений солёности и температуры в районе станции Махачкала (по данным Росгидромета)

Figure 6. Diagram of daily average salinity and temperature values in the area of the Makhachkala station (according to Roshydromet data)

По космическим снимкам замечено, что этот апвеллинг начался в районе о-ва Лопатина на три дня раньше, чем на ст. Махачкала и впоследствии (9 июня) охватил площадь 1500 км². Здесь апвеллинг сохранялся вплоть до 16 июня. По интенсивности он относится к категории сильный, а по продолжительности – длительный. Так как более слабый апвеллинг был замечен в этот же период (12 июня) у ст. Дербент с минимальной темпе-

ратурой 18°C, то можно утверждать, что явление имеет региональный масштаб. Также в поверхностном слое этой массы воды зафиксировано постепенное увеличение содержания растворенного кислорода и величины рН. Максимальные значения этих показателей составляет 9,70 мг/л – растворенного кислорода и 8,64 рН. Следующий апвеллинг, наблюдавшийся с 19 июня по 1 июля, был средней интенсивности, но отличался про-

должительностью. Минимум среднесуточной температуры за это время составил 17,9°C. Падение температуры вначале апвеллинга составило 2,8°C при повышении солёности на 1‰ (рис. 6). Площадь поверхности акватории с данными показателями составила 253 км², а 26 числа достигла максимума – 454 км². По охвату акватории этот апвеллинг относится к субрегиональному. Гидрохимические показатели также изменились – 20 июня было зафиксировано высокое содержание растворенного кислорода.

Третий случай апвеллинга в исследуемой области зафиксирован в конце августа (26 августа). Этот апвеллинг характеризуется снижением температуры воды на 7,4°C, что у берега составила 17,1°C (рис. 6). Апвеллинг длился до 1 сентября. Данный апвеллинг является сильным и длительным.

Для данного апвеллинга не характерен сильный скачок солёности (на 0,32‰), как в предыдущих случаях. Площадь акватории, на котором проявился апвеллинг, составила около 500 км².

Гидрохимическое состояние воды отличается ростом содержания растворенного кислорода и величины pH накануне апвеллинга. Растворенный кислород достиг максимума в 8 мг/л к 26 августа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апвеллинг оказывает существенное влияние на пространственное распределение и структуру морских экосистем, что выявляется посредством многофакторного анализа гидрофизических и гидрохимических показателей на основе геоинформационного подхода.

Анализ литературы по данному направлению показал повсеместное использование космических снимков, а также возможности и ограничения их применения в исследовании апвеллинга.

Работа по подбору материалов космических систем, пригодных для проведения подобных работ. Это обуславливает необходимость разработки алгоритмов интеграции данных с этих спутников. Для выявления самих гидрофизических показателей эффективными оказались способы алгебры изображений, что позволило выявить многие параметры, недоступные для прямого визуального дешифрирования.

Для Каспийского моря ввиду его больших размеров характерна пространственная неоднородность океанологических параметров. Это можно проследить по результатам обработки космических снимков и их верификации по наземным данным. В то время как для Восточной части Среднего Каспия апвеллинг за изучаемый сезон являлся устойчивым явлением, сохраняя аномальные температуры весь период, то в западной части он носит периодический и разномасштабный характер. Всего по наземным данным выделены и подтверждены по спутниковым данным 3 апвеллинга.

Значительные трудности составили пропуски в данных как на космических снимках, обусловленных облачностью, так и на наземных станциях наблюдений.

В целом проделанная работа не подтвердила именно дрейфовую природу апвеллинга на западном Каспии, что говорит о необходимости проведения долгосрочного изучения материалов космической съемки и наземных наблюдений. Выполнение такой работы

возможно на базе многофакторного геоинформационного моделирования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотруднику Лаборатории картографии Института географии РАН Баширу М. Курамагомедову за консультацию при написании статьи.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to Bashir M. Kuramagomedov, staff member of the Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography of M.V. Lomonosov Moscow State University, for assistance in writing the article.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Океанографическая энциклопедия, 1974, С. 20-22. URL: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html> (Дата обращения: 10.01.2020)
2. Жуков Л.А. Общая океанология. Л: Гидрометеиздат, 1976. 376 с.
3. Gaines S., Airame S. Upwelling. URL: <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02quest/background/upwelling/upwelling.html> (дата обращения: 15.05.2020)
4. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С. А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва: ИКИ РАН, 2011. 480 с.
5. Ocean Color Web. URL: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> (дата обращения: 01.02.2020)
6. Костяной А.Г. Спутниковый мониторинг климатических параметров океана. Часть 2 // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. Т. 2. С. 63-85.
7. Кравцова В.И., Тутубалина О.В., Балдина Е.А. Гиперспектральная система MODIS: обзор областей применения // Межуниверситетский аэрокосмический центр при Географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. URL: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acentr/int_sem4/modis_appl.htm (дата обращения: 10.02.2020)
8. Earth Science Data Systems (ESDS) Program. URL: <https://earthdata.nasa.gov/esds> (Дата обращения: 01.04.2020)
9. JPL MUR MEaSUREs Project. 2015. GHRSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1). Ver. 4.1. PO.DAAC, CA, USA. URL: <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOB-v4.1> (Дата обращения: 10.02.2020) DOI: 10.5067/GHGM-4FJ04
10. Курамагомедов Б.М., Монахова Г.А., Гаджиев А.А., Ахмедова Г.А. Опыт использования геоинформационных технологий в исследованиях апвеллинга в Каспийском море // Юг России: экология, развитие. 2014. Т. 9. N 4. С. DOI: 10.18470/1992-1098-2014-4-121-125
11. Гурова Е.С., Иванов А.Ю. Особенности проявления гидродинамических структур в юго-восточной части Балтийского моря по данным спектрорадиометров MODIS и космической радиолокации // Исследование Земли из космоса. 2011. N 4. С. 41-54.

12. Монахова Г.А., Курамагомедов Б.М., Расулова М.М., Бекшокова П.А. Геонформационные системы в изучении особенностей апвеллинга у западного побережья среднего Каспия // Юг России: экология, развитие. 2012. Т. 7. N 3. С. 116-119. DOI: 10.18470/1992-1098-2012-3-116-119
13. Гинзбург А. И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М., Шермет Н.А. Структура апвеллинга у западного побережья Среднего Каспия (по спутниковым наблюдениям) // Исследование Земли из космоса. 2005. N 4. С. 76-85.
14. Нестеров Е.С. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. Москва: Триада лтд, 2016. 378 с.
15. Электронный атлас Каспийского моря / Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2015. URL: <http://www.geogr.msu.ru/casp/> (дата обращения: 19.01.2020)
16. Электронный справочник по природной среде Каспия / Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. URL: http://www.esimo.ru/atlas/new/Kasp/1_1.html (дата обращения: 13.01.2020)
17. SATIN: каталог данных / Лаборатория спутниковой океанографии РГГМУ. URL: <http://satin.rshu.ru/> (дата обращения: 02.04.2020)
18. Worldview Earth Data NASA. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения: 15.05.2020)

REFERENCES

1. *Okeanograficheskaya entsiklopediya* [Oceanographic encyclopedia]. 1974, pp. 20-22. Available at: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html> (accessed 10.01.2020) (In Russian)
2. Zhukov L.A. *Obshchaya okeanologiya* [General Oceanology]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 376 p. (In Russian)
3. Gaines S., Airame S. Upwelling. Available at: <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02quest/background/upwelling/upwelling.html> (accessed 15.05.2020)
4. Lavrova O.Yu., Kostyanoy A.G., Lebedev S. A., Mityagina M.I., Ginzburg A.I., Sheremet N. A. *Kompleksnyi sputnikovyi monitoring morei Rossii* [Integrated satellite monitoring of the seas of Russia]. Moscow, Space Research Institute RAS Publ., 2011, 480 p. (In Russian)
5. Ocean Color Web. Available at: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> (accessed 01.02.2020)
6. Kostyanoy A.G. Satellite monitoring of climatic parameters of the ocean. Part 2. Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and applied climatology]. 2017, no. 2, pp. 63-85. (In Russian)
7. Kravtsova V.I., Tutubalina O.V., Baldina E.A. *Giperspektral'naya sistema MODIS: obzor oblasti primeneniya* [Hyperspectral system MODIS: an overview of applications]. Interuniversity Aerospace Center at the Faculty of Geography, Moscow State University of M.V. Lomonosov. Available at:

- http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/int_sem4/modis_appl.htm (accessed 10.02.2020) (In Russian)
8. Earth Science Data Systems (ESDS) Program. Available at: <https://earthdata.nasa.gov/esds> (accessed 01.04.2020)
9. JPL MUR MEaSUREs Project. 2015. GHRSSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1). Ver. 4.1. PO.DAAC, CA, USA Available at: <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOB-v4.1> (accessed 10.02.2020). DOI 10.5067/GHGM-4FJ04
10. Kuramagomedov B.M., Monakhova G.A., Gadzhiev A.A., Akhmedova G.A. The experience of using of the geoinformation technologies in the Investigation of upwelling in the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 121-125. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2014-4-121-125
11. Gurova E. S., Ivanov A. Yu. Appearance of Sea Surface Signatures and Current Features in the South East Baltic Sea on the MODIS and SAR images. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Research of the Earth from space]. 2011, vol. 9, no. 4. pp. 41-54. (In Russian)
12. Monakhova G.A., Kuramagomedov B.M., Rasulova M.M., Bekshokova P.A. Geoinformation systems in the study of the peculiarities of the upwelling at the western coast of the middle Caspian. *South of Russia: ecology, development*, 2012, vol. 7, no. 3, pp. 116-119. (In Russian) DOI 10.18470/1992-1098-2012-3-116-119
13. Ginzburg A.I., Kostyanoy A.G., Soloviev D.M., Sheremet N.A. The structure of upwelling near the western coast of the Middle Caspian (according to satellite observations). *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Research of the Earth from space]. 2005, no. 4, pp. 76-85. (In Russian)
14. Nesterov E.S. *Vodnyi balans i kolebaniya urovnya Kaspiiskogo morya. Modelirovanie i prognoz* [Water balance and fluctuations in the level of the Caspian Sea. Modeling and forecasting]. Moscow, Triada Ltd. Publ., 2016, 378 p. (In Russian)
15. *Elektronnyi atlas Kaspiiskogo morya. Geograficheskii fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova* [Electronic atlas of the Caspian Sea. Faculty of Geography, Moscow State University named after M.V. Lomonosov]. 2015. Available at: <http://www.geogr.msu.ru/casp/> (accessed 19.01.2020)
16. *Elektronnyi spravochnik po prirodnoi srede Kaspiya. Edinaya gosudarstvennaya sistema informatsii ob obstanovke v Mirovom okeane* [Electronic reference book on the natural environment of the Caspian. Unified state information system on the situation in the World Ocean]. Available at: http://www.esimo.ru/atlas/new/Kasp/1_1.html (accessed 13.01.2020)
17. SATIN: katalog dannyykh / Laboratoriya sputnikovoi okeanografii RGGMU [SATIN: data catalog / Laboratory of Satellite Oceanography, Russian State Hydrometeorological University]. Available at: <http://satin.rshu.ru/> (accessed 02.04.2020)
18. Worldview Earth Data NASA. Available at: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (accessed 15.05.2020)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Абдулмажид А. Багомаев и Надира О. Гусейнова написали рукопись. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Abdulmedzhid A. Bagomaev and Nadira O. Guseynova wrote the manuscript. Both 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

Абдулмеджид А. Багомаев / Abdulmedzhid A. Bagomaev <https://orcid.org/0000-0001-5043-6345>
Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

Original article / Оригинальная статья
УДК 582.28
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-75-98

Synopsis of the macrofungi (*Basidiomycota*) on wood of fruit trees in the Central Black Earth Region of Russia

Sergey V. Volobuev, Sergej Yu. Bolshakov and Natalia V. Shakhova

Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Principal contact

Sergey V. Volobuev, Candidate of Sciences (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Systematics and Geography of Fungi, Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences; 2 Professora Popova St, Saint Petersburg, Russia 197376.

Tel. +78123725469

Email sergvolobuev@binran.ru

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

How to cite this article

Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu., Shakhova N.V. Synopsis of the macrofungi (*Basidiomycota*) on wood of fruit trees in the Central Black Earth Region of Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 75-98. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-75-98

Received 25 May 2020

Revised 20 July 2020

Accepted 25 August 2020

Abstract

Aim. To summarise and analyse data on the species diversity, distribution and substrate spectra of wood-inhabiting basidial macromycetes growing on fruit trees in the Belgorod, Voronezh, Kursk, Lipetsk, Oryol and Tambov Regions.

Material and Methods. The work involved a critical examination of literature sources, LE, OHHI, and VU herbaria. We undertook field researches in 2019–2020, identified specimens collected based on light microscopy techniques and isolated the basidial fungi in a pure culture.

Results. Data on 97 species of basidial macrofungi from 68 genera associated with *Malus*, *Pyrus* and *Prunus* wood in the Central Black Earth Region are summarised. *Antrodia serpens* and *Ceriporia torpida* are newly known to Russia. 65 new dikaryotic strains for 22 species of *Agaricomycetes* have been introduced into the LE-BIN. A total of 65 species are associated with *Malus*, 34 species with *Pyrus* and 29 species with *Prunus*. Five species (*Lyomyces crustosus*, *Stereum hirsutum*, *Trametes hirsuta*, *T. ochracea* and *T. versicolor*) grow on all three genera of host. These species specialise in fruit trees include *Sarcodontia crocea* and *Phellinus pomaceus*.

Conclusion. Pathogenic activity has been clearly observed for 32 species of fungi found on trunks and branches of living trees, causing necrosis and trunk rot. Furthermore, it is recommended that regular phytopathological monitoring of orchards should be carried out, taking the group of xylotrophic fungi into account.

Key Words

Agriculture, European Russia, fruit trees, fungal distribution, orchard, phytopathogens, wood-decaying fungi.

Обзор макромицетов (*Basidiomycota*), развивающихся на древесине плодовых деревьев в условиях Центрального Черноземья России

Сергей В. Волобуев, Сергей Ю. Большаков, Наталия В. Шахова

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

Контактное лицо

Сергей В. Волобуев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории систематики и географии грибов, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН; 197376 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2.

Тел. +78123725469

Email sergvolobuev@binran.ru

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

Формат цитирования

Волобуев С.В., Большаков С.Ю., Шахова Н.В. Обзор макромицетов (*Basidiomycota*), развивающихся на древесине плодовых деревьев в условиях Центрального Черноземья России // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 75-98. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-75-98

Получена 25 мая 2020 г.

Прошла рецензирование 20 июля 2020 г.

Принята 25 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Обобщить и проанализировать сведения о видовом составе и субстратной приуроченности деревообитающих базидиальных макромицетов, развивающихся на древесине плодовых деревьев в условиях Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Орловской и Тамбовской областей.

Материал и методы. В ходе работы критически изучены литературные источники и коллекционные фонды LE, OHHI, VU. Проведены собственные полевые исследования в 2019-2020 гг., микроскопическая идентификация образцов, а также выделение базидиальных грибов в чистую культуру.

Результаты. Обобщены сведения о 97 видах базидиальных макромицетов из 68 родов, встречающихся на территории Центрального Черноземья на древесине яблони, груши и косточковых культур (*Prunus* spp.). Впервые для России зарегистрированы виды *Antrodia serpens* и *Ceriporia torpida*. В Коллекцию культур базидиомицетов БИН РАН (LE-BIN) введено 65 новых дикариотических штаммов для 22 видов агарикомицетов. В общей сложности 65 видов грибов связаны с древесиной *Malus*, 34 вида – с древесиной *Pyrus* и 29 видов – с древесиной *Prunus*. Пять видов макромицетов (*Lyomyces crustosus*, *Stereum hirsutum*, *Trametes hirsuta*, *T. ochracea* и *T. versicolor*) растут на всех трех родах плодовых деревьев. К видам, специализирующимся на фруктовых деревьях, относятся *Sarcodontia crocea* и *Phellinus pomaceus*.

Заключение. Патогенная активность достоверно отмечена для 32 видов базидиомицетов, обнаруженных на стволах и ветвях живых деревьев, вызывающих некроз и стволую гниль. В дальнейшем необходимо проводить регулярный фитопатологический мониторинг садовых насаждений с учетом группы ксилотрофных грибов.

Ключевые слова

Сельское хозяйство, Европейская Россия, плодовые деревья, распространение грибов, фруктовые сады, фитопатогены, дереворазрушающие грибы.

INTRODUCTION

Wood-decaying basidial fungi are crucial components in forest ecosystems. These organisms also play an important role in agricultural lands, as they induce necrosis and rotten plant diseases that lead to weakening, withering, suppression of flowering or death of trees. As a result, there is a decrease in yields, which has a negative impact on orchard productivity and in extreme cases may require the re-establishment of fruit plantations. Orchards, as monoculture stands, are particularly threatened by fungal phytopathogens: this situation is currently intensified by increasing global plant trade and the effects of climate change [1].

Russian phytopathological studies on agricultural plants generally focus on diseases caused by micromycetes [2; 3], while among polypores which cause trunk rot only common or particularly dangerous species are mentioned [4-6]. A similar situation also exists in the foreign literature where there are many investigations related to microfungi – endophytes and phytopathogens, for instance, [7-9]. At the same time, only a few publications are known which study the species diversity of *Agaricomycetes* associated with the wood of fruit trees [10-12]. The species of basidiomycete macrofungi that develop on fruit trees are often listed in more general studies [13; 14].

The total number of basidial fungi species growing on the wood of fruit trees can be estimated as approximately 200. In particular, the monograph "Poroid fungi of Europe" [15] contains data on findings of 110 species on *Malus*, *Pyrus* and *Prunus* wood. On the scale of the former USSR, the most comprehensive list of fungi on fruit cultures (78 species of higher basidiomycetes) can be obtained from the monograph of I. S. Popushoy [4]. Special studies of corticioid fungi on the wood of fruit trees in Belarus were undertaken by E. O. Yurchenko, who identified 58 species developing on *Malus* [16; 17].

In Russia, targeted researches to reveal the species diversity of macrofungi on fruit trees were undertaken in Krasnodar Territory [18; 19], Belgorod [20], Ryazan [21], Orenburg Regions [22]. However, similar investigations have not been done for most regions of European Russia.

The Central Black Earth Region (CBER), also known as the Central Chernozem Region or Chernozemie (the literal meaning of chernozem is a black-coloured soil containing a high percentage of humus) is one of the most important Russian agricultural regions. Belgorod, Kursk, Lipetsk, Oryol, Tambov, and Voronezh Regions are considered to be sectors of the CBER. Orchard agroecosystems are widely represented here, including both large horticultural plantations and numerous private home-stand plots of seed and stone fruit trees and shrubs.

In the 1990s, large areas of orchards lost proper horticultural and phytosanitary care, which led to a significant deterioration of fruit trees and the spread of a special group of phytopathogenic fungi – wood-decaying, or xylotrophic, *Agaricomycetes*. The focus of phytopathologists is often omitted in the study of wood-destroying fungi which also cause pathogenesis in fruit trees. The development of xylotrophic fungi is a definitely more prolonged process, resulting in chronic trunk rots

[23], mainly associated with the pathogenic activity of certain species of aphyllophoroid fungi.

At the same time, there are no detailed summaries for the CBER regions on xylotrophic species of basidial macrofungi on fruit trees, including the principal ones – *Malus domestica* Borkh., *Pyrus communis* L., *Prunus cerasus* L. and *P. domestica* L.

Special investigations of poroid fungi, including polypores in orchards, were carried out in the CBER at the beginning of the 20th century [24], which laid the basis for monitoring this group of phytopathogens. In subsequent years, data on the distribution of fungal pathogens in trunk and root rot of fruit trees have been extremely scattered in the literature, mainly as a result of studies of fungal species diversity in certain regions in different types of habitat [25-27].

The aim of this study was to summarise the available data and results of our own field research on basidial macrofungi on fruit trees in the CBER, to determine the species diversity and to reveal the key features of their distribution and ecology.

MATERIAL AND METHODS

This study focuses on members of the subdivision of *Agaricomycotina* (*Basidiomycota*), mainly polyporoid and corticioid fungi, as well as some of the agaricoid species that develop their basidiocarps on wood of seed and stone fruit trees.

Among these plant hosts, we consider the most widely distributed representatives – apple tree (*Malus domestica*, as well as *M. baccata* (L.) Borkh., *M. praecox* (Pall.) Borkh., *M. × prunifolia* (Willd.) Borkh., *M. sylvestris* (L.) Mill.), pear (*Pyrus communis*, as well as *P. pyrausta* (L.) Burgsd.), apricot, wild cherry, cherry plum, cherry, plum, thorn (*Prunus armeniaca* L., *P. avium* L., *P. cerasifera* Ehrh., *P. cerasus*, *P. domestica* and *P. spinosa* L.).

Analysis of available data was carried out, including scientific publications by researchers of the last century [24; 28-34], as well as modern literature [20; 25; 26; 35-46] and collections of mycological herbaria of LE (Komarov Botanical Institute of RAS, St Petersburg, Russia), OHHI (Oryol State University named after I. S. Turgenev, Russia), VU (Galichya Gora Reserve, Voronezh State University, Russia).

In 2019-2020, we carried out field surveys of orchards and garden plantations of seed and stone fruit trees in the following localities: Belgorod Region (Korochansky District, vicinity of Popovka village; Shebekinsky District, vicinity of Titovka village), Kursk Region (Fatezhsky District, vicinity of Rzhava village; Zolotukhinsky District, vicinity of Oklino village), Lipetsk Region (Krasninsky District, vicinity of Znamenka village), Oryol Region (Glazunovsky District, vicinity of Lovchikovo village; Mtsensky District, vicinity of Volya village; Orlovsky District, vicinity of Zhilina village).

Ex situ isolation of basidial fungi was carried out by traditional methods of solid-phase culturing: by seeding of basidiospores or by placing small fragments of basidiocarps on an agarized AW media (4% ale-wort "Severnaya Pivovarnya", pH 5.8 and 2% w/v agar Difco), with the addition of kanamycin water solution (final concentration in the medium – 0.5 mg/ml) in order to prevent

bacterial contamination. Dikaryotic strains were deposited in the Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection (LE-BIN, St. Petersburg, Russia) [47] and are stored using the subculture method, the disk method (in distilled water at 4°C) and the cryopreservation method at –80°C [48]. Identification of fungi, as well as macro- and micromorphological features of isolates were characterized by cultural and morphological parameters using common method and terminology [49]. Notes were made for every species on AW media: the color, general aspect, growth rate and growth mode of the hyphae, the presence/absence of asexual reproduction structures, particular smell. The growth of strains was characterized by the radius of the colony (mm) by 7, 14, 21 and 28 days, estimating the growth rate by the rate of cup overgrowth: fast growth (F) – 1 week, medium (M) – 2-3 weeks and slow (S) – 4 weeks or more. Microscopic plates were analyzed with an Axio Imager A1 (Carl Zeiss, Germany) microscope.

RESULTS

An annotated list of basidial macrofungi species that develop on the wood of fruit trees in the CBER is presented below. The collection and identification of specimens was carried out by the authors, unless otherwise stated. Classification of taxa of above a genus level has been adopted in accordance with the current system of Basidiomycota [50].

AGARICOMYCETES

AGARICALES

Crepidotaceae

Crepidotus calolepis (Fr.) P. Karst.

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 305025, voucher for the strain LE-BIN 4430, OHHI 1401.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous wood causing a white rot, and it is extremely rare that the species can be found on living trees. We collected the specimens of *C. calolepis* on fallen branches and on a living trunk of *Malus domestica*. In the CBER there known findings of this species on *Acer* spp. and *Populus tremula*.

Cyphellaceae

Chondrostereum purpureum (Pers.) Pouzar

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Orlovsky District, Dobryi, *Malus domestica*, 05.05.2019, coll. T.A. Tsutsupa, LE 314794. **Tambov Region**, Tambovsky District, Krasnosvobodnoye, *Prunus domestica*, 28.07.1928, coll. V.N. Bondartseva-Monteverde, det. A.S. Bondartsev, LE 36853. **Voronezh Region**, Gribanovsky District, Tellermanovskoye Experimental Forestry, *P. domestica*, 13.08.1912 [30]. The species is common and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: *Ch. purpureum* is a pathogen of deciduous trees, continuing to grow as a saprotroph after the death of the host. It rarely grows on coniferous wood. The species infects living trees damaged by frost and develops a characteristic change in the leaf epidermis called «silver leaf» [3; 51]. It was recorded on living branches and trees of *Malus domestica* and *Prunus domestica*. In the CBER this species also occurs on *Acer negundo*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Tilia cordata*.

Cystostereaceae

Crustomyces expallens (Bres.) Hjortstam

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., 06.11.2015, LE 311616, LE 311624, *Pyrus* sp., 06.11.2015, OHHI 1326 [41].

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. According to our data, *C. expallens* occurs on dry and fallen branches of *Malus* sp., as well as on fallen branches of *Pyrus* sp. In the CBER this species also occurs on *Salix* sp. in Oryol Region.

Fistulinaceae

Fistulina hepatica (Schaeff.) With.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area. **Kursk Region**, Gorshechensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Barkalovka area; Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area; Manturovsky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Bukreyevy Barmy area; Medvensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Kazatsky area [33]. The species is quite common and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: this species is a pathogen almost exclusively growing on *Quercus robur*. It causes a brown rot. In the CBER it also very rarely found on *Betula pendula*, *Frangula alnus*. According to Ryabova and Ignatenko [33] *F. hepatica* was recorded on dry stumps and trunks of *Malus* sp. and *Pyrus* sp.

Hymenogastraceae

Flammula alnicola (Fr.) P. Kumm.

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, det. L.B. Kalinina, LE 314780, voucher for the strain LE-BIN 4362 [46].

STRAINS: LE-BIN 4362 (ex basidiocarp), *M. domestica*. – The aerial mycelium is yellow, becoming yellow-cream in colour with age. Reverse bleached. Growing colony edge is pressed. Mycelial mat has zonal development. The colony has floccose texture: small hyphal tufts, standing out from the agar. Without any special odor. Growth rate – M. The hyphal system is monomitic. The mycelium has thin-walled hyphae 1.5-2.5 µm in diameter. Branched generative hyphae, differentiated with septate and rare clamp connections, 3.5-4.8 µm in diameter. Arthroconidia sometimes were observed at the ends of the hyphae. Crystals were observed in pure culture.

ECOLOGY: *F. alnicola* was recorded on a dead crumbling stump of *Malus domestica*.

Lycoperdaceae

Apioperdon pyriforme (Schaeff.) Vizzini

(=*Lycoperdon pyriforme* Schaeff.)

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area. **Kursk Region**, Gorshechensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Barkalovka area; Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area; Manturovsky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Bukreyevy Barmy area; Medvensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Kazatsky area [33].

ECOLOGY: this species is a saprotroph on a wide range of deciduous wood. In particular, it was revealed on dry branches of *Malus* sp. and *Pyrus* sp. [33].

Lyophyllaceae

***Hypsizygus marmoreus* (Peck) H.E. Bigelow**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Orlovsky District, Zhilina, *Malus domestica*, 23.08.2019, LE 314782, voucher for the strain LE-BIN 4379 [46].

STRAINS: LE-BIN 4379 (ex basidiocarp), *M. domestica*. – The aerial mycelium is white and downy. Reverse unchanged. Growing colony edge is raised. The colony has a cottony-woolly texture: rather long, single mycelial hyphae spreading in all directions. Has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system monomitic. The mycelium consists of straight thin-walled hyphae d 1.8–2.8 µm. Rhombic crystals (1.5) 2.0 × 2.5 (3.5) µm were observed for the tested strain in pure cultures.

ECOLOGY: the species was recorded on a living trunk of *Malus domestica*.

Mycenaceae

***Mycena galericulata* (Scop.) Gray**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Lgovsky District, Vereyki, *Pyrus* sp., 21.09.1998, LE 209371 [35].

ECOLOGY: the species was recorded on a rotten stump of *Pyrus* sp.

Physalacriaceae

***Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorskle area, *Prunus cerasus* [31].

ECOLOGY: the species was recorded on a rotten stump of *Prunus cerasus*.

Pluteaceae

***Pluteus inquilinus* Romagn.**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, det. L.B. Kalinina, LE 314784 [46].

ECOLOGY: the species was recorded on fallen branches of *Malus domestica*.

***Volvariella bombycina* (Schaeff.) Singer**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Yeletsky District, Yelets, *Malus domestica*, 23.07.1994, VOR 2946-A [25].

ECOLOGY: the species was recorded in a hollow of an old living *Malus domestica*.

Pterulaceae

***Radulomyces confluens* (Fr.) M.P. Christ.**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Fatezhsky District, Rzhava, *Prunus domestica*, 15.08.2020, LE 305045. The species is a very common in the SBER.

ECOLOGY: *R. confluens* is a saprotroph on wood but occasionally it can grow on still living branches of trees and bushes. We found it on a dead dry standing tree of *Prunus domestica*. In the CBER *R. confluens* was also collected on *Acer* sp., *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Cara-gana arborescens*, *Corylus avellana*, *Euonymus* sp., *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Ulmus* sp., as well as *Pinus sylvestris*.

Schizophyllaceae

***Schizophyllum commune* Fr. (=S. alneum (L.) J. Schröt.)**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorskla area, *Malus domestica* [31]. **Kursk Region**, Fatezhsky District, Fatezh,

M. domestica, 01.09.1903 [28]. **Oryol Region**, Orlovsky District, Luzhki, *M. domestica*, 03.05.2008, coll. N. I. Grechikhina, OHHI 450 [26]. **Voronezh Region**, Voronezh, *M. domestica* and *Prunus domestica*, 20.07.1912, 19.08.1912 [30]. This species is abundant and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on wood or occasionally grows as a pathogen. According to our data, *S. commune* occurs on dead dry standing and fallen trunks of *Malus domestica* and *Prunus domestica*. In the CBER this species also occurs on *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Tilia cordata*, *Ulmus* sp., as well as on *Pinus sylvestris*.

Psathyrellaceae

***Coprinopsis atramentaria* (Bull.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo (=Coprinus atramentarius (Bull.) Fr.)**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Lgovsky District, Lgov, *Malus domestica*, 23.10.1998, LE 209320 [35].

ECOLOGY: the species was recorded at the base of a trunk of *Malus domestica*.

***Psathyrella spadicea* (P. Kumm.) Singer**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Zadonsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Morozova Gora area, *Malus* sp., 19.10.2006, coll. and det. L.A. Sarycheva, VU 4081 [25; 42].

ECOLOGY: the species was recorded at the base of a trunk of *Malus* sp.

ATHELIALES

Atheliaceae

***Athelia alnicola* (Bourdot & Galzin) Jülich**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 314718 [41].

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous and coniferous wood and debris. It was recorded on fallen trunks of *Prunus spinosa*.

***Athelia arachnoidea* (Berk.) Jülich**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 314717 [41].

ECOLOGY: the species is a lichenicolous fungus, growing on the bark of a wide range of deciduous trees over the films of epiphytic algae and talli of different lichens. It was recorded on a fallen trunk of *Prunus spinosa*. In the CBER *A. arachnoidea* is also known only in Lipetsk Region on lichens on *Acer negundo*, *Acer platanoidea* and *Quercus robur* [44].

BOLETALES

Coniophoraceae

***Coniophora puteana* (Schumach.) P. Karst. – Fig. 1, D.**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Kolpnyansky District, Aleksandrovka, *Pyrus* sp., 05.10.2012, LE 292096 [37]; Orlovsky District, Zhilina, *Pyrus communis*, 23.08.2019, LE 305018.

ECOLOGY: *C. puteana* is a saprotroph on coniferous and deciduous wood, causing brown rot. Often grows as a house-rot fungus, causing damage in buildings. Occasionally it grows as a pathogen. It was recorded on dry standing *Pyrus* sp. and on a fallen trunk of *Pyrus com-*

munis. In the CBER the species is a common and occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, as well

as on *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and dead basidiocarps of *Fomes fomentarius*.

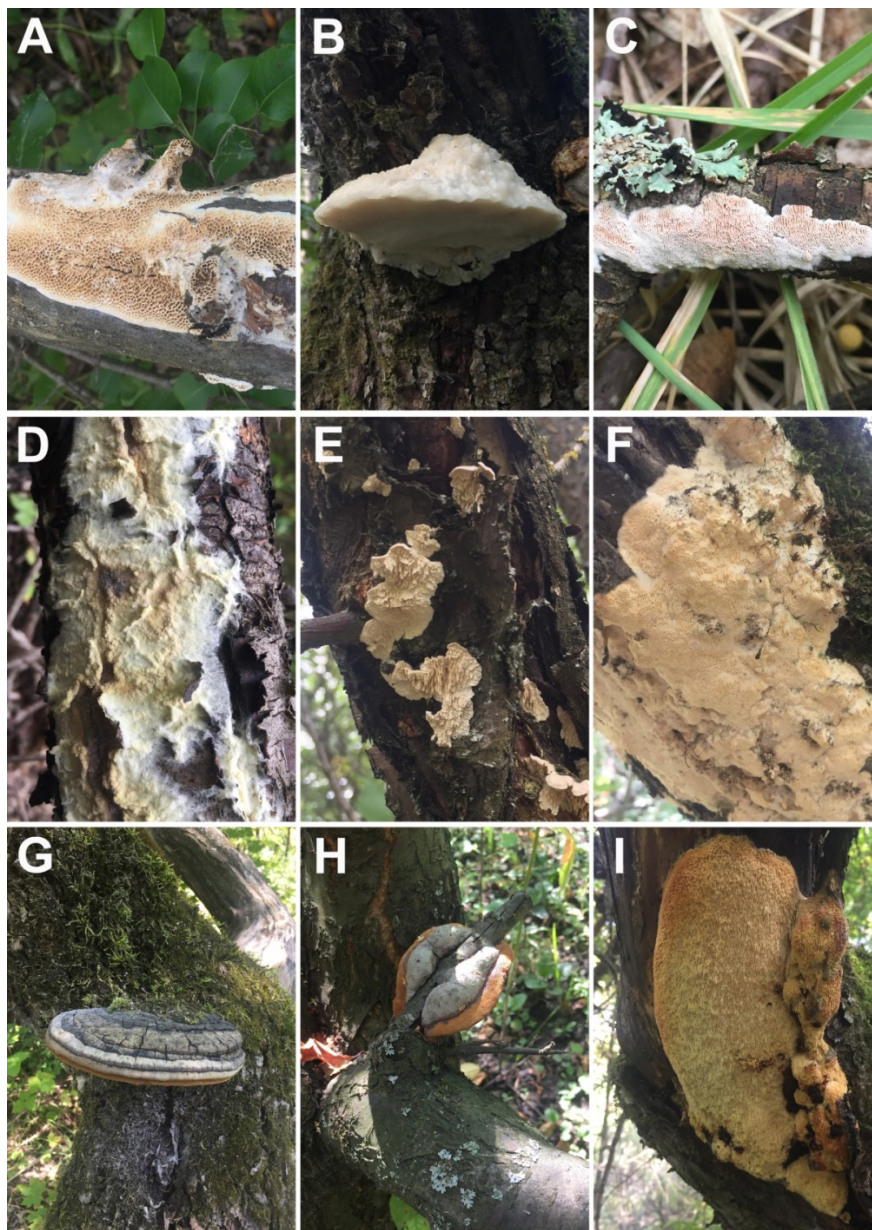


Figure 1. Basidiocarps of macrofungi associated with fruit trees: A – *Antrodia serpens*, B – *Aurantiporus fissilis*, C – *Ceriporia torpida*, D – *Coniophora puteana*, E – *Irpex lacteus*, F – *Oxyporus corticola*, G – *Phellinus alni*, H – *Ph. pomaceus*, I – *Sarcodontia crocea*

Рисунок 1. Базидиомы макромицетов, ассоциированных с древесиной плодовых пород: А – *Antrodia serpens*, В – *Aurantiporus fissilis*, С – *Ceriporia torpida*, D – *Coniophora puteana*, E – *Irpex lacteus*, F – *Oxyporus corticola*, G – *Phellinus alni*, H – *Ph. pomaceus*, I – *Sarcodontia crocea*

CANTHARELLALES

Hydnaceae

Sistotrema brinkmannii (Bres.) J. Erikss.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Korochansky District, Popovka, *Malus domestica*, 19.08.2019, LE 314115 [20]. **Kursk Region**, Zolotukhinsky District, Oklino, *M. domestica*, 15.08.2020, LE 305049. The species is abundant and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous and coniferous wood. It was recorded on dry branches of

Malus domestica. In the CBER it also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, as well as on dead basidiocarps of *Datronia mollis* and *Fomes fomentarius*.

Sistotrema oblongisporum M.P. Christ. & Hauerslev

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, det. I.V. Zmitrovich, LE 314948 [41].

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous (rarely coniferous) wood. It was recorded on a fallen branch of *Prunus spinosa*. In the CBER it also occurs on *Betula pendula*, *Populus tremula* and *Prunus padus*.

GLOEOPHYLLALES

Gloeophyllaceae

Gloeophyllum trabeum (Pers.) Murrill

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Korochansky District, Popovka, *Pyrus communis*, 19.08.2019, LE 314114, voucher for the strain LE-BIN 4339 [20].

STRAINS: LE-BIN 4339 (ex basidiocarp), *P. communis*. – Colour of mycelium is white becoming ochre with age. Reverse does not change. Growing colony edge is raised. Mycelial mat is thick, felted, aerial mycelium woolly. It has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system dimitic. Marginal hyphae 2.0–4.5 µm wide. Skeletal hyphae d 1.5–3.0 (6.0) µm.

ECOLOGY: *G. trabeum* is a saprotroph on a wide range of deciduous and coniferous wood. It is an important cause of damage in buildings. It causes a brown rot. It was recorded on a fallen trunk of *Pyrus communis*. In the CBER the species commonly grows on timber wood and *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* and *Quercus robur*.

HYMENOGYNETALES

Hymenochaetaceae

Fomitiporia punctata (P. Karst.) Murrill

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., 06.11.2015, LE 311651 [41]. The species is a common and widely distributed in CBER.

ECOLOGY: *F. punctata* is a pathogen on wide range of deciduous trees, causing a white rot. It was recorded on a dry branch of a living *Malus* sp. In the CBER the species occurs on *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Caragana arborescens*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sambucus racemosa* and *Sorbus aucuparia*.

Fuscoporia contigua (Pers.) G. Cunn.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Pyrus* sp., 06.11.2015, LE 311660 [41].

ECOLOGY: *F. contigua* is a saprotroph on deciduous wood, causing a white rot. According to our data it was found on a fallen branch of a *Pyrus* sp. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Corylus avellana*, *Prunus padus*, *Quercus robur* and *Tilia cordata*.

Hydnoporia tabacina (Sowerby) Spirin, Miettinen & K.H. Larss.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Shebekinsky District, Titovka, *Malus sylvestris*, 18.08.2019, LE 314157 [45]. **Oryol Region**, Orlovsky District, Zhilina, *Pyrus communis*, 15.08.2019, LE 305019.

ECOLOGY: *H. tabacina* is a saprotroph on deciduous wood, causing white rot. It was recorded on dry branches of *Malus sylvestris* and *Pyrus communis*. In the CBER this species mostly grows on *Corylus avellana* and also occurs on *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Prunus padus* and *Quercus robur*.

Inocutis rheades (Pers.) Fiasson & Niemelä

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Peredovik, *Prunus domestica*, 01.05.2008, OHHI 52 [36].

ECOLOGY: *I. rheades* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was recorded on living trees of *Prunus domestica*. In the CBER this species generally occurs on *Populus tremula* and is also recorded on *Alnus glutinosa* and *Quercus robur*.

Inonotus hispidus (Bull.) P. Karst.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., 06.11.2015, LE 311630 [41]; Korochansky District, Popovka, *Malus domestica*, 19.08.2019, LE 314118, voucher for the strain LE-BIN 4345 [20]. **Voronezh Region**, Gribanovsky District, Tellermanovskoye Experimental Forestry, *Malus* sp. [32].

STRAINS: LE-BIN 4345 (ex basidiocarp), *M. domestica*. – The aerial mycelium is ochre becoming yellowish-brown with age. Reverse darkened. Growing colony edge is raised and thick and dense. Mycelial mat is dense, tall, unclear-zoned, has a felty texture: cottony mycelium becomes matted. It has no special odour. Growth rate – F. Hyphal system monomitic. Marginal hyphae d 3.0–6.0 µm wide, often thick-walled. Much-branched short lateral hyphae absent. Pigmented hyphae were sometimes observed in the tested strain. Crystals were observed in pure cultures.

ECOLOGY: *I. hispidus* is a pathogen on deciduous trees, attacking sapwood. It causes a white rot. According to our data this species occurs on living *Malus domestica*. In the CBER this species is also recorded only on *Fraxinus excelsior* in Voronezh Region.

Phellinus alni (Bondartsev) Parmasto – Fig. 1, G.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Korochansky District, Popovka, *Malus domestica*, 19.08.2019, LE 314117, voucher for the strain LE-BIN 4344 [20, as *Ph. pomaceus*]. **Kursk Region**, Fatezhsky District, Igino, *M. domestica*, 27.05.1906 [29, as *Fomes fulvus* (Scop.) Gillet]; Kursk, *M. domestica*, 01.06.1906 [28, as *Fomes ignarius* (L.) Fr.]; Zolotukhinsky District, Oklino, *M. domestica*, 15.08.2020, LE 314805, voucher for the strain LE-BIN 4412. **Oryol Region**, Mtsensky District, Spasskoye-Lutovinovo, *M. domestica*, 01.05.2008, OHHI 106 [36, as *Ph. tuberculosus*], Volya, *M. domestica*, 14.08.2019, LE 314796; Orlovsky District, Zhilina, *M. domestica*, 23.08.2019, LE 314795, voucher for the strain LE-BIN 4380. **Voronezh Region**, Rylsky District, Semenovskoye, *M. domestica*, 05.06.1915, coll. L.A. Lebdeva, det. A.S. Bondartsev as *Ph. pomaceus*, LE 30168.

STRAINS: LE-BIN 4344 (ex basidiocarp), *M. domestica*, LE-BIN 4380 (ex basidiocarp), *M. domestica*, LE-BIN 4412 (ex basidiocarp), *M. domestica*. – The central part of the colonies is coloured yellowish-brown; colony growth area remains white. Reverse dark brown but area under the centre of a colony's growth remains white. Growing colony edge is raised and is thick and dense, fringed, consisting of randomly growing hyphae. Outline colonies is wavy. Mycelial mat dense, tall, clear-zone, ragged, uneven, woolly, has a cotton-like texture. The colony has a crustose texture with age: hyphae forming a solid, hard dark brown crust. It has no special odour. Growth rate – S. Hyphal system monomitic. Aerial hyphae d 1.5–2.9 µm. Submerged hyphae up d 3.5 to 4.5 µm, sometimes with swellings.

ECOLOGY: *Ph. alni* is a pathogen on deciduous trees. It causes a white rot. According to our data, this species

occurs on living *Malus domestica*. In the CBER this species is recorded only on *Alnus glutinosa*.

All specimens of *Ph. pomaceus* collected from *Malus domestica* were reidentified as *Ph. alni* according to Tomšovský *et al.* [52] and our data of molecular study (unpubl.).

***Phellinus pomaceus* (Pers.) Maire** (= *Ph. tuberculosus* Niemelä) – Fig. 1, H.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorskle area, *Prunus cerasus*, *P. domestica*, 31.07.1939, *P. insititia*, *P. spinosa*, 08.08.1939 [31, as *Polyporus fulvus* (Scop.) Fr.]; Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *P. spinosa*, 06.11.2015, LE 311635 [41], unspecified locality – [Kursk Governorate, Belgorodsky, Korochansky, Novooskolsky, Starooskolsky Uyezds], *P. cerasus*, *P. domestica*, 06-07.1906 [29, as *Fomes igniarius* (L.) Fr.]; Korochansky District, Popovka, *P. cerasus*, 19.08.2019, LE 314797, voucher for the strain LE-BIN 4340. **Kursk Region**, Fatezhsky District, Fatezh, *P. cerasus*, *P. domestica*, 27.05.1906, Igino, *P. domestica*, 27.05.1906 [29, as *Fomes igniarius* (L.) Fr.], Rzhava, *P. domestica*, 15.08.2020, LE 314801, voucher for the strain LE-BIN 4409, LE 314802, voucher for the strain LE-BIN 4410; Kursky District, Bolshoye Lukino, *P. cerasus*, *P. domestica*, 06.1906 [29, as *Fomes igniarius* (L.) Fr.], Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area, *P. spinosa*, 22-23.05.1999 [34]; Oboyansky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Zorinsky area, *P. spinosa*, 14.09.1999 [34]; Oktyabrsky District, Bol'shoye Umrikhino, Starkovo, *P. cerasus*, *P. domestica*, 06.1906 [29]; Shchigrovsky District, Nizhny Terebuzh, *P. cerasus*, *P. domestica*, 13.06.1906 [29]; Kursk, *P. cerasus*, *P. domestica*, *M. domestica*, 01.05.1905, 06.1906 [28, as *Polyporus igniarius* (L.) Fr.], *P. spinosa*, 01.07.1902, 01.05.1904, LE 30140, LE 30104 [24], *P. domestica*, 28.07.1908, LE 30151, all coll. and det. A.S. Bondartsev. **Lipetsk Region**, Usmansky District, Voronozhsky Nature Reserve, *P. spinosa*, 27.07.2016 [43]; Zadonsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Galichya Gora area, *P. spinosa*, 03.07.1996, VU 3108 [25], Morozova Gora area, *P. cerasifera*, 21.07.2020, coll. and det. L.A. Sarycheva, VU 4954. **Oryol Region**, Mtsensky District, Peredovik, *P. domestica*, 02.05.2008, OHHI 110 [36]; Orlovsky District, Luzhki, *P. domestica*, 08.06.2008, OHHI 104, 03.05.2009, OHHI 447, all coll. N.I. Grechikhina [26], Zhilina, *P. armeniaca*, 15.08.2019, LE 314804, *P. avium*, 23.08.2019, LE 314798, voucher for the strain LE-BIN 4372, *P. cerasus*, 13.08.2019, LE 314803, *P. domestica*, 15.08.2019, OHHI 1459, 23.08.2019, LE 305042, voucher for the strain LE-BIN 4373, LE 305043, voucher for the strain LE-BIN 4375, LE 314799, voucher for the strain LE-BIN 4374, LE 314800, voucher for the strain LE-BIN 4376. **Voronezh Region**, Gribanovsky District, Tellermanovskoye Experimental Forestry, *P. cerasus*, 13.08.1912 [30, as *Fomes igniarius* (L.) Fr.].

STRAINS: LE-BIN 4340 (ex basidiocarp), *P. cerasus*, LE-BIN 4372 (ex basidiocarp), *P. avium*, LE-BIN 4373 (ex basidiocarp), *P. domestica*, LE-BIN 4374 (ex basidiocarp), *P. domestica*, LE-BIN 4375 (ex basidiocarp), *P. domestica*, LE-BIN 4376 (ex basidiocarp), *P. domestica*, LE-BIN 4409 (ex basidiocarp), *P. domestica*, LE-BIN 4410 (ex basidiocarp), *P. domestica*. – The central part of the colonies is coloured yellowish-brown, colony growth area remains white. Reverse unchanged (in some strains reverse dark brown un-

der the centre of the colonies). Growing edges of colonies range from flat, thin and transparent to raised, thick and dense, fringed, consisting of feathery hyphae. Mycelial mat dense, tall, unclear-zone, ragged, uneven, woolly, has a cotton-like or woolly texture. It has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system monomitic. The mycelium consists of straight, smooth, sometimes tortuous, hyphae 2.6-6.1 µm in diameter with widely spaced septa, and thin hyphae d (1.2) 2.2-4.0 µm wide, straight and curved, occasionally anastomosing. Some hyphae are thickened with pigmented pale yellow to ochre rusty walls.

ECOLOGY: *Ph. pomaceus* is a common pathogen of *Prunus* trees, causing a white rot. According to our data this species occurs on living and dry standing *Prunus armeniaca*, *P. cerasifera*, *P. cerasus*, *P. domestica*, *P. insititia* and *P. spinosa* mostly at the base of branches. In CBER the species also occurs on *Prunus padus* [34].

Also, this species occurs on living trees of *Malus domestica*. According to Tomšovský *et al.* [52] these findings should be attributed to *Ph. alni*. Our investigations (this study, see above) confirm this idea.

Oxyporaceae

***Oxyporus corticola* (Fr.) Ryvarden** – Fig. 1, F.

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 314806, voucher for the strain LE-BIN 4360.

STRAINS: LE-BIN 4360 (ex basidiospores), *M. domestica*. – The aerial mycelium is white becoming cream coloured with age. Reverse unchanged. Growing colony edge is raised to appressed, hyphae distant. The colony has a cottony texture: rather long, single mycelial hyphae spreading in all directions. It has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system monomitic. The mycelium consists of well branching hyphae d 1.5-5.0 with frequent partitions. Hyphal swellings and anastomosis were observed for the tested strain.

ECOLOGY: *O. corticola* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was recorded on living *Malus domestica*. In the CBER the species also occurs on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix fragilis* and *Sorbus aucuparia*, as well as on *Picea abies* and dead basidiocarps of *Phellinus tremulae*.

Oxyporus obducens (Pers.) Donk

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Spasskoye-Lutvinovo, *Malus domestica*, 29.09.2010, LE 284580 [36].

ECOLOGY: *O. obducens* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was found on living *Malus domestica*. In the CBER the species is also registered on *Acer platanoides*, *Frangula alnus*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Sambucus racemosa*.

Oxyporus populinus (Schumach.) Donk

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 305037. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *M. domestica*, 21.08.2019, LE 314807, voucher for the strain LE-BIN 4352; Mtsensky District, Volya, *M. domestica*, 22.08.2019, LE 314816; Orlovsky District, Zhilina, *M. domestica*, 15.08.2019. The species is one of the most common and widely distributed in CBER.

STRAINS: LE-BIN 4352 (ex basidiocarp), *M. domestica*. – The aerial mycelium is white. Reverse unchanged. Growing colony edge is from raised to appressed, hyphae distant. The colony has a cottony texture: rather long, single hyphae spreading in all directions. It has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system monomitic. The mycelium consists of straight, smooth, rarely branching hyphae – d 1.5–4.5 µm, often arranged with partitions, with thickened walls.

ECOLOGY: *O. populinus* is a pathogen of wide range of deciduous trees, causing a white rot. According to our data it was recorded on living *Malus domestica*. In the CBER the species occurs on wide range of hosts such as *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Caragana arborescens*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra*, *P. tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia* and *Ulmus* sp.

Rickenellaceae

Peniophorella praetermissa (P. Karst.) K.H. Larss.

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenska, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 314808. **Oryol Region**, Dolzhansky District, Malinovka, *Malus* sp., 04.10.2012, LE 292046 [37]; Glazunovsky District, Lovchikovo, *M. domestica*, 21.08.2019, LE 305040. The species is common in the CBER.

ECOLOGY: *P. praetermissa* is a saprotroph on deciduous and coniferous wood. It occurs on dry branches of *Malus domestica*. In the CBER the species also recorded on *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Populus tremula* and *Tilia cordata*, as well as on *Larix decidua* and *Pinus sylvestris*.

Peniophorella pubera (Fr.) P. Karst.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 311619 [41]. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *Malus domestica*, 21.08.2019, LE 305041. The species is common in the CBER.

ECOLOGY: *P. pubera* is a saprotroph on deciduous, less often on coniferous wood. It was found on a fallen trunk of *Prunus spinosa* and on a dry dead standing tree of *Malus domestica*. In CBER the species also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Tilia cordata*, as well as on *Picea abies* and *Pinus sylvestris*, as well as on dead basidiocarps of *Fomes fomentarius*.

Schizoporaceae

Basidioradulum radula (Fr.) Nobles

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Znamensky District, Orlovskoye Polesye National Park, Yelyonka, *Malus* sp., 17.10.2012, LE 298482 [38].

ECOLOGY: *B. radula* is a saprotroph on deciduous, less often on coniferous, wood or occasionally grows as a pathogen. Usually it grows on erect and hanging branches and young trunks. In the CBER the species was recorded only on dry standing *Malus* sp.

Lyomyces crustosus (Pers.) P. Karst.

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., *Pyrus* sp., *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 311657, OHHI 1325 [41]. **Oryol Region**, Kolpnyansky District, Aleksandrovka, *Pyrus* sp., 05.10.2012, OHHI 727 [37]; Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 305036; Orlovsky District, Zhilina, *Pyrus communis*, 15.08.2019, LE 305035; Oryol, regional natural monument, Balka Neprets, *Malus* sp.,

16.08.2012, LE 298999 [26]. The species is common and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: *L. crustosus* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It rarely develops on coniferous wood. According to our data the species occurs on fallen branches and trunks of *Malus domestica*, on dry branches in living trees and dry standing trees of *Pyrus communis* and on fallen branches and trunks of *Prunus spinosa*. Usually it grows on dead dry branches still hanging or fallen to the ground. In the CBER this species occurs on wide range of hosts, such as *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Caragana arborescens*, *Corylus avellana*, *Crataegus* sp., *Euonymus verrucosus*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Tilia cordata* and *Ulmus* sp., as well as on *Larix decidua* and *Pinus sylvestris*.

Lyomyces erastii (Saaren. & Kotir.) Hjortstam & Ryvarden

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 14.08.2019, LE 305034.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous and coniferous wood. It was recorded on dry branches of *Malus domestica*. In CBER it also revealed on *Acer negundo*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Ulmus* sp.

Xylodon rimosissimus (Peck) Hjortstam & Ryvarden

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *Malus domestica*, 21.08.2019, LE 305054.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous wood and rarely on conifers. Basidiocarps of *X. rimosissimus* were collected on fallen branches of *Malus domestica*. In the CBER this species was only known on *Picea abies* and *Quercus robur*.

Hymenochaetales genera incertae sedis

Fibricium rude (P. Karst.) Jülich

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 311626, OHHI 1334 [41].

ECOLOGY: *F. rude* is a saprotroph on coniferous and deciduous wood. It was found on fallen trunks of *Malus* sp. and *Prunus spinosa*. In the CBER the species also occurs on *Acer platanoides*, *Crataegus* sp. and *Quercus robur*.

Trichaptum bifforme (Fr.) Ryvarden

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenska, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 314809, voucher for the strain LE-BIN 4405.

STRAINS: LE-BIN 4405 (ex basidiospores), *M. domestica*. – The aerial mycelium is white and downy. Reverse unchanged. Growing colony edge is raised. Outline of colonies is wavy. A colony has a cottony-woolly texture: rather long, single mycelial hyphae spreading in all directions. It has no special odour. Growth rate – M. The mycelium has thin-walled hyphae d 1.0–2.5 µm with rare sprouting clamps 3.0–4.0 µm in diameter.

ECOLOGY: *T. bifforme* is a saprotroph on poorly decayed deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It was found on a fallen trunk of *Malus domestica* infected by *Sarcodontia crocea*. This species also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur* and *Sorbus aucuparia*, as well as on dead basidiocarps of *Fomes fomentarius*.

POLYPORALES**Dacryobolaceae*****Postia balsamea* (Peck) Jülich**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Yeletsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Vorgolskoye area, *Pyrus* sp., 01.10.2016, LE 313918 [44].

ECOLOGY: *P. balsamea* is a saprotroph on coniferous or more rarely on deciduous wood. It causes a brown rot. It was found on a fallen log of *Pyrus* sp. In the CBER this species is also recorded only on *Quercus robur* in Oryol Region [37].

***Postia lactea* (Fr.) P. Karst.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 314815. **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *M. domestica*, 22.08.2019, LE 314810, voucher for the strain LE-BIN 4394, LE 305044.

STRAINS: LE-BIN 4394 (ex basidiospores), *M. domestica*. – The aerial mycelium is cream. Reverse unchanged. Growing colony edge is pressed. Outline colonies fringed. Mycelial mat has an approximately zonal development. The colony has a mealy, powdery aspect. It has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system monomitic. The mycelium consists of straight, smooth, rarely branching hyphae 1.9–5.3 µm in diameter.

ECOLOGY: *P. lactea* is a saprotroph with weak pathogenic activity on deciduous or coniferous wood. It causes a brown rot. It was found on fallen branches and dry standing trees of *Malus domestica*, as well as on living apple trees. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Euonymus* sp., *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia* and *Ulmus* sp., as well as on *Picea abies* and *Pinus sylvestris*.

***Postia subcaesia* (A. David) Jülich**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area, *Pyrus communis*, 12.09.1999 [34].

ECOLOGY: *P. subcaesia* is a saprotroph on deciduous wood. It causes a brown rot. It was found on *Pyrus communis*. In the CBER this species also occurs on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Prunus padus*, *Quercus robur* and *Salix* sp.

Fomitopsidaceae***Antrodia serpens* (Fr.) P. Karst. – Fig. 1, A.**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 314811, voucher for the strain LE-BIN 4364.

STRAINS: LE-BIN 4364 (ex basidiospores), *M. domestica*. – The aerial mycelium is white, becoming a creamy gray colour with age. Reverse unchanged. Growing colony edge is pressed. Outline colonies fringed. The colony has plumose texture: mycelial tufts with long groups of hyphae radiating from the central axis. It has no special odour. Growth rate – M. The mycelium has thin-walled hyphae d (1.5) 1.7–2.5 (2.7) µm. Branched generative hyphae, differentiated with septate and rare clamp connections, 3.5–4.8 µm in diameter. Arthroconidia sometimes were observed at the ends of the hyphae.

ECOLOGY: *A. serpens* is a saprotroph on deciduous wood. It causes a brown rot. It was found on the dry dead branch of a living tree of *Malus domestica*.

***Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 314812, voucher for the strain LE-BIN 4361; Orlovsky District, Dobryi, *Prunus domestica*, 05.05.2019, coll. T.A. Tsutsupa; Zhilina, *Prunus avium*, 23.08.2019, LE 314813, voucher for the strain LE-BIN 4370. The species is abundant and widely distributed in the CBER.

STRAINS: LE-BIN 4361 (ex basidiocarp), *M. domestica*, LE-BIN 4370 (ex basidiocarp), *P. avium*. – The aerial mycelium is white and downy. Reverse unchanged. Growing colony edge is raised. The colony has a cottony-woolly texture: rather long, single mycelial hyphae spreading in all directions. It has no special odour. Growth rate – M. The hyphal system trimitic. The aerial mycelium has branched generative hyphae (d (1.5) 2.0–3.0 (4.0) µm) with septa and clamp connections (3.5) 5.0–5.8 (6.5) µm in diameter and thick-walled skeletal and binding hyphae (d 2.5–3.5 (4.5) µm), while the submerged mycelium consists of hyaline and branched hyphae (d (1.2) 1.5–2.5 (3.0) µm).

ECOLOGY: *F. pinicola* is a saprotroph on deciduous and coniferous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a brown rot. We recorded it on living trees of *Prunus avium* and *P. domestica*, as well as on a fallen trunk of *Malus domestica*. In the CBER this species is also revealed on *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Quercus robur* and *Tilia cordata*, as well as *Picea abies* and *Pinus sylvestris*.

Hyphodermataceae***Hyphoderma mutatum* (Peck) Donk**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 314817, voucher for the strain LE-BIN 4401. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *M. domestica*, 21.08.2019, LE 305033; Orlovsky District, Zhilina, *M. domestica*, 23.08.2019, LE 305032.

STRAINS: LE-BIN 4401 (ex basidiospores), *M. domestica*. – The aerial mycelium is white, becoming a creamy colour with age. Reverse bleached. Growing colony edge is pressed. Outline colonies fringed. The colony has a plumose texture: mycelial tufts with long groups of hyphae radiating from the central axis. It has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system monomitic. The mycelium has thin-walled hyphae d 1.5–3.0 µm with rare sprouting clamps 3.5–5.5 µm in diameter. Crystals were observed in pure cultures.

ECOLOGY: *H. mutatum* is a saprotroph on deciduous wood. It was recorded on fallen branches and dry dead branches of a living tree of *Malus domestica* infected by *Sarcodontia crocea*. In CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia* and *Tilia cordata*.

Irpicaceae***Byssomerulius corium* (Pers.) Parmasto**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Shebekinsky District, Titovka, *Malus sylvestris*, 18.08.2019, LE 314147 [45]. **Oryol Region**, Orlovsky District, Luzhki, *M. domestica*, 31.05.2009, coll. N.I. Grechikhina, OHHI 445 [26]. The species is common in the CBER.

ECOLOGY: *B. corium* is a saprotroph on deciduous wood and occasionally grows as a pathogen. It was found on living trees of *Malus domestica* and on dry branches of

M. sylvestris. In the CBER this species also occurs on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata*, *Ulmus glabra* and *U. laevis*.

***Candelabrochaete septocystidia* (Burt) Burds.**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 305027.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous wood. It was recorded on a dry standing tree of *Malus domestica*. In CBER it also revealed only on *Quercus robur* [26].

***Ceriporia purpurea* (Fr.) Donk**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., 06.11.2015, LE 311633 [41]. **Oryol Region**, Mtsensky District, Peredovik, *Pyrus communis*, 14.06.2009, LE 284602 [36].

ECOLOGY: *C. purpurea* is a saprotroph on deciduous wood. It causes a white rot. We found it on a fallen branch of *Malus* sp. and on dry standing *Pyrus communis*. In the CBER this species is also recorded on *Acer platanoides*, *Populus tremula*, *Quercus robur* and *Salix* sp.

***Ceriporia torpida* Spirin & Miettinen – Fig. 1, C.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 314819, voucher for the strain LE-BIN 4403, LE 314820, voucher for the strain LE-BIN 4407. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *M. domestica*, 21.08.2019, LE 305028, LE 314818, voucher for the strain LE-BIN 4356.

STRAINS: LE-BIN 4356 (ex basidiospores), *M. domestica*, LE-BIN 4403 (ex basidiospores), *M. domestica*, LE-BIN 4407 (ex basidiospores) and *M. domestica*. – The aerial mycelium is white (becomes a greyish-cream colour with age). Reverse unchanged. Growing colony edge is immersed. The colony has a cottony texture: rather long, single mycelial hyphae spreading all directions. It has no special odour. Growth rate – M. Hyphal system monomitic. The mycelium has thin-walled and branched hyphae d 2.2–4.8 µm forming frequent curling. Lateral branching hyphae d 0.6–1.3 µm were observed for the tested strain.

ECOLOGY: *C. torpida* is a saprotroph on deciduous wood. It causes a white rot. We found it on dry standing trees and dry dead branches of living trees of *Malus domestica* attacked by *Sarcodontia crocea*.

***Ceriporia viridans* (Berk. & Broome) Donk**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 305030; Orlovsky District, Zhilina, *M. domestica*, 15.08.2019, LE 305029.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous and coniferous wood. It causes a white rot. It was recorded on dry branches and on a dry standing tree of *Malus domestica*. In CBER it also revealed on *Acer platanoides*, *Populus tremula* and *Quercus robur*.

***Irpex lacteus* (Fr.) Fr. – Fig. 1, E.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Korochansky District, Popovka, *Prunus cerasus*, 19.08.2019, LE 314822, voucher for the strain LE-BIN 4341. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *Malus domestica*, 01.08.2011, LE 298965 [26]; Orlovsky District, Zhilina, *Prunus armeniaca*, 15.08.2019, OHHI 1406, *P. avium*, 15.08.2019, OHHI 1414, *P. cerasus*, 13.08.2019, LE 314821; Oryol, regional natural monument, Balka Neprets, *M. domestica*,

16.08.2012, LE 298998 [26]. The species is common and widely distributed in the CBER.

STRAINS: LE-BIN 4341 (ex basidiospores), *P. cerasus*.

– The aerial mycelium is white. Reverse bleached. Growing edge of the colonies is high. Mycelial mat is cottony woolly: rather long, small hyphal tufts, standing out from the agar in all directions. It has no special odour. Growth rate – F. Hyphal system monomitic. Aerial hyphae of 1.5–4.0 µm wide, thin-walled. Interlocking hyphae sometimes present, never abundant.

ECOLOGY: *I. lacteus* is predominantly a saprotroph on deciduous wood but occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. According to our data this species occurs on living branches and fallen trunks of *Malus domestica* and on living branches and trunks of *Prunus armeniaca*, *P. avium* and *P. cerasus*. In the CBER this species is also recorded on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata* and *Ulmus* sp.

***Raduliporus aneirinus* (Sommerf.) Spirin & Zmitr.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 314823, voucher for the strain LE-BIN 4404.

ECOLOGY: *R. aneirinus* is a saprotroph on deciduous wood. It causes a white rot. We collected basidiocarps of this species on dry branches of living trees of *Malus domestica*. In the CBER this species also recorded on *Populus tremula*.

Laetiporaceae

***Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Kursk, *Pyrus communis*, 15.09.1906 [29], 20.09.1906, LE 26870, 01.07.1911, LE 26852, all coll. and det. A.S. Bondartsev. **Oryol Region**, Oryol, *Malus domestica*, 24.05.2020.

ECOLOGY: *L. sulphureus* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. Causes a brown rot. It was found on living *Pyrus communis* as well as on stumps of *Malus domestica*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Quercus robur* and *Salix* sp.

Meruliaceae

***Aurantiporus fissilis* (Berk. & M.A. Curtis) H. Jahn ex Ryvarden – Fig. 1, B.**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Kursk, *Malus domestica*, 05.07.1906, LE 27362, 20.07.1907, LE 27349, LE 27379 [29, as *Polyporus spumeus* (Sowerby) Fr.] (redet. in [24]), 20.09.1927, LE 27376, 16.08.1950, coll. Shumakova, LE 27352 [24]. **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *M. domestica*, 22.08.2019, LE 305026; Znamensky District, Orlovskoye Polesye National Park, Yelyonka, *M. domestica*, 17.07.2011, LE 298528 [38].

ECOLOGY: *A. fissilis* is a pathogen and saprotroph on deciduous wood, causing a white rot. According to our data, it occurs on living and dry standing trees of *Malus domestica*. In the CBER this species is usually associated with *Populus tremula* and is also recorded on *Fraxinus excelsior* and *Salix* sp. *M. domestica*, in our opinion, is the second most preferred substrate.

***Phlebia rufa* (Pers.) M.P. Christ.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 314825. **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *M. domestica*,

14.08.2019, LE 314824. The species is common in the CBER.

ECOLOGY: *Ph. rufa* is a saprotroph on deciduous, more rarely on coniferous wood, or occasionally grows as a pathogen. It was recorded on the living trunks and dry dead branches of *Malus domestica*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Tilia cordata*, as well as on *Picea abies* and *Pinus sylvestris*.

***Phlebia tremellosa* (Schrad.) Nakasone & Burds.**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *Malus domestica*, 21.08.2019, LE 314826; Mtsensky District, Volya, *M. domestica*, 22.08.2019, OHHI 1460.

ECOLOGY: *Ph. tremellosa* is a saprotroph on deciduous, less often on coniferous wood, or occasionally grows as a pathogen. We recorded it at the base of living trunks and on living trees of *Malus domestica*. In the CBER this species is also revealed in *Betula pendula*, *Juglans* sp., *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Sorbus aucuparia*.

***Sarcodontia crocea* (Schwein.) Kotl. (=Hydnum schiedermayeri Heufl.; *Sarcodontia setosa* (Pers.) Donk) – Fig. 1, l.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorskle area, *Malus domestica*, 13-14.08.1940 [31], *Pyrus communis*, 18.08.2011, LE 302180 [39]; Korochansky District, Popovka, *M. domestica*, 19.08.2019, LE 314119, voucher for the strain LE-BIN 4343, LE 314120, voucher for the strain LE-BIN 4346, LE 314827, voucher for the strain LE-BIN 4342 [20; 53]. **Kursk Region**, Fatezhsky District, Fatezh, *M. domestica*, 15.07.1903 [28]; Kursk, *M. domestica*, 10.08.1903 [28]; Zolotukhinsky District, Oklino, *M. domestica*, 15.08.2020, LE 305010, voucher for the strain LE-BIN 4411. **Lipetsk Region**, unspecified locality – [Tambov Governorate, Romanovskoye forestry], *M. domestica*, 10.11.1919, coll. and det. S.I. Vanin, LE 23643; Krasninsky District, Znamenka, *M. domestica*, 12.08.2020, LE 305011, voucher for the strain LE-BIN 4398, LE 305012, voucher for the strain LE-BIN 4399, LE 305013, voucher for the strain LE-BIN 4400, LE 305014, voucher for the strain LE-BIN 4402, LE 305015, voucher for the strain LE-BIN 4408, LE 305046, voucher for the strain LE-BIN 4406, LE 305047, voucher for the strain LE-BIN 4414. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *M. domestica*, 10.08.2011, LE 298955 [26], 21.08.2019, LE 314828, voucher for the strain LE-BIN 4347, LE 314829, voucher for the strain LE-BIN 4348, LE 314830, voucher for the strain LE-BIN 4349, LE 314831, voucher for the strain LE-BIN 4350 [53], LE 314832, voucher for the strain LE-BIN 4351, LE 314833, voucher for the strain LE-BIN 4353, LE 314834, voucher for the strain LE-BIN 4355 [53], LE 314835, voucher for the strain LE-BIN 4357, LE 314836, voucher for the strain LE-BIN 4396; Mtsensky District, Spasskoye-Lutovinovo, *M. domestica*, 22.07.2013, LE 299010 [26], Volya, *M. domestica*, 22.08.2019, LE 305000, voucher for the strain LE-BIN 4358, LE 305001, voucher for the strain LE-BIN 4359, LE 305002, voucher for the strain LE-BIN 4363, LE 305003, voucher for the strain LE-BIN 4365 [53], LE 305004, voucher for the strain LE-BIN 4367 [53], LE 305005, voucher for the strain LE-BIN 4395; Orlovsky Dis-

trict, Zhilina, *M. domestica*, 23.08.2019, LE 305006, voucher for the strain LE-BIN 4378 [53], LE 305007, voucher for the strain LE-BIN 4382, LE 305008, voucher for the strain LE-BIN 4383, LE 305009, voucher for the strain LE-BIN 4393; Verkhovsky District, Turovka, *M. domestica*, 12.08.2012, LE 298790 [54]; unspecified locality – [Oryol Governorate], *M. domestica*, 17.08.1916, coll. A.S. Bondartsev, det. T.L. Nikolajeva, LE 23644. **Voronezh Region**, Nizhnedevitsky District, Goncharovka, *M. domestica*, 01.08.1912; Ostrogozhsky District, Sinelnikovo, *M. domestica*, 13.07.1912; Semiluksky District, Zemlyansk, *M. domestica*, 28.07.1912 [30]. The species is abundant and widely distributed in orchards in the CBER.

STRAINS: ex basidiospores – LE-BIN 4342, 4343, 4346, 4348, 4349, 4351, 4353, 4357, 4359, 4363, 4365, 4378, 4382, 4383, 4393, 4396, ex basidiocarps – LE-BIN 4347, 4350, 4355, 4358, 4367, 4395, 4398, 4399, 4400, 4402, 4406, 4408, 4411, 4414, all strains from *M. domestica*. – The aerial mycelium is white or creamy (with age can become from dark-creamy to lemon-yellow and pink orange). Reverse unchanged (less often bleached). Growing colony edge pressed. Outline of colonies ranges from fringed (sometimes broken) to wavy and occasionally smooth. Mycelial mat most commonly has an approximately zonal (sometimes immersed) development. The colony most often has a floccose or floccose-cottony texture with small hyphal tufts, standing out from the agar (less often plumose texture). Odour is very intense; strong, sweetish-fruity. Growth rate – S (less often M). Hyphal system monomitic. The mycelium most commonly has thin-walled and branched hyphae ($d = 1.5$ (4.0)-2.7 (6.0) μm) sometimes forming anastomosis. Branched generative hyphae, differentiated with septate and clamp connections, 3.5 (6.5)-4.5 (9.5) μm in diameter. Occasionally there were observed chlamydospores broadly ellipsoid (width – 4.0 (5.0)-5.5 (6.6) μm , length – 10.0 (15.0)-17.0 (24.0) μm) or globose chlamydospores (10.0-16.0 μm in diameter). Detailed descriptions of some strains are presented in Shakhova and Volobuev [53].

ECOLOGY: *S. crocea* is the most abundant pathogen of *Malus* trees. It was found on living and dry standing trees of *Malus domestica*. We also found it once on dry standing *Pyrus communis* [39]. In the CBER this species is also recorded only on *Acer platanoides* in Oryol Region [55].

***Scopuloides rimosa* (Cooke) Jülich**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 305048.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on wood of deciduous trees, rarely on coniferous wood. It was recorded on fallen branches of *Malus domestica*. In the CBER *S. rimosa* is also registered on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, and on dead basidiocarps of *Phylloporia ribis*.

Phanerochaetaceae

***Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Korochansky District, Korocha, *Pyrus* sp., 06.08.1915, coll. L.A. Lebedeva, det. A.S. Bondartsev, LE 26208 [20]. **Oryol Region**, Orlovsky District, Luzhki, *Malus* sp., 03.05.2009, coll. N.I. Grechikhina, OHHI 449 [26]. The species is abundant and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: *B. adusta* is a saprotroph on mostly deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It occurs on fallen, dry standing and living trunks of *Malus* sp. and *Pyrus* sp. In the CBER this species also occurs on a wide range of deciduous hosts – on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra*, *P. tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Tilia cordata* and *Ulmus* sp., as well as on *Pinus sylvestris* and timber wood.

***Bjerkandera fumosa* (Pers.) P. Karst.**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Oboyansky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Zorinsky area, *Pyrus communis*, 14.09.1999 [34]. **Lipetsk Region**, *Malus* sp. [25; 42]. The species is common in the CBER.

ECOLOGY: *B. fumosa* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was recorded on stumps of *Pyrus communis* and on the wood of *Malus* sp. In the CBER this species is also found on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Tilia cordata* and *Ulmus* sp.

***Hapalopilus rutilans* (Pers.) Murrill (=H. nidulans (Fr.) P. Karst.)**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area. **Kursk Region**, Gorshechensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Barkalovka area; Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area; Manturovsky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Bukreyevy Barmy area Medvensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Kazatsky area [33].

ECOLOGY: *H. rutilans* is a saprotroph on deciduous wood, causing a white rot. It was found on trunks and stumps of *Pyrus* sp. and *Malus* sp. In the CBER the species was found on *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Caragana arborescens*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia* and *Tilia cordata*.

***Phanerochaete calotricha* (P. Karst.) J. Erikss. & Ryvarden**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 311656 [41].

ECOLOGY: *Ph. calotricha* is a saprotroph on deciduous or coniferous wood. It was recorded on a fallen branch of *Prunus spinosa*. In the CBER this species is also recorded on *Corylus avellana*, *Prunus padus* and *Rosa* sp.

***Phanerochaete galactites* (Bourdot & Galzin) J. Erikss. & Ryvarden**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 314947 [41].

ECOLOGY: *Ph. galactites* is a saprotroph on deciduous or coniferous wood. It was found on a fallen trunk of *Prunus spinosa*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Prunus padus* and *Quercus robur*.

***Phanerochaete jose-ferreirae* (D.A. Reid) D.A. Reid**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Verkhovsky District, Turovka, *Malus* sp., 12.08.2012, LE 298800 [54].

ECOLOGY: *Ph. jose-ferreirae* is a saprotroph on deciduous wood. It was found on dry branches of *Malus* sp. In

CBER this species also occurs on *Quercus robur*, *Prunus padus* and *Salix* sp.

***Phanerochaete livescens* (P. Karst.) Volobuev & Spirin**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., 06.11.2015, LE 311628 [41]. **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *M. domestica*, 12.08.2020, LE 305016.

ECOLOGY: *Ph. livescens* is a saprotroph on deciduous wood. It was found on fallen branches of *Malus* sp. and on dry dead standing *Malus domestica*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Corylus avellana* and *Quercus robur*.

***Phanerochaete velutina* (DC.) P. Karst.**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Verkhovsky District, Turovka, *Pyrus* sp., 11.08.2012, LE 298834 [54].

ECOLOGY: *Ph. velutina* is a saprotroph on deciduous and coniferous wood. It was found on the bark of living *Pyrus* sp. In the CBER this species occurs on *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur* and *Tilia cordata*, as well as *Picea abies* and *Pinus sylvestris*.

***Porostereum spadiceum* (Pers.) Hjortstam & Ryvarden**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Znamenka, *Malus domestica*, 12.08.2020, LE 305022.

ECOLOGY: *P. spadiceum* is a saprotroph on deciduous wood. It was recorded on dry branches of *Malus domestica*. In the CBER this species also occurs on *Acer negundo*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Quercus robur* and *Tilia cordata*.

Polyporaceae

***Cerioporus leptcephalus* (Jacq.) Zmitr. (=Polyporus varius (Pers.) Fr.)**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorskle area, *Pyrus communis*, 19.08.2011 [39].

ECOLOGY: *C. leptcephalus* is a saprotroph on deciduous wood, causing a white rot. It was recorded on dry branches of *Pyrus communis*. In the CBER this species occurs on *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Tilia cordata*, as well as on *Picea abies*.

***Cerioporus squamosus* (Huds.) Qué.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Zadonsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Morozova Gora area, *Malus* sp., 02.08.2007, coll. and det. L.A. Sarycheva, VU 4110 [25; 42].

ECOLOGY: *C. squamosus* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was found at the base of a living *Malus* sp. trunk. In CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Tilia cordata*, *Ulmus glabra* and *U. laevis*.

***Dichomitus campestris* (Qué.) Domański & Orlicz**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., 06.11.2015, LE 311617 [41]. **Kursk Region**, Fatezhsky District, Rzhava, *Pyrus communis*, 15.08.2020, LE 305031.

ECOLOGY: *D. campestris* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was recorded on dry branches of living *Malus* sp. and *Pyrus communis*. In the CBER this species also occurs on *Corylus avellana*, *Prunus padus* and *Quercus robur*.

***Fomes fomentarius* (L.) Fr.**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Kursk, *Prunus domestica*, 01.06.1905 [29]. The species is abundant and widely distributed in CBER.

ECOLOGY: *F. fomentarius* is a pathogen and saprotroph on deciduous wood or more rarely on coniferous wood. It causes a white rot. It was recorded on stumps of *Prunus domestica*. In the CBER this species occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Robinia pseudoacacia*, *Salix caprea*, *Tilia cordata* and *Ulmus* sp., as well as *Pinus sylvestris*.

***Funalia trogii* (Berk.) Bondartsev & Singer**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Orlovsky District, Dobryi, *Prunus armeniaca*, 05.05.2019, coll. T.A. Tsutsupa, LE 305051. The species is a widespread in CBER.

ECOLOGY: *F. trogii* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. The species was collected on a living tree of *Prunus armeniaca*. In the CBER it also known on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Alnus* sp., *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra*, *P. tremula*, *Quercus robur*, *Salix* sp.

***Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Yeletsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Vorgolskoye area, *Malus* sp., 29.08.2020, coll. and det. L.A. Sarycheva, VU 4953. The species is a common and widespread in CBER.

ECOLOGY: *G. applanatum* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It was recorded on stumps of *Malus* sp. In the CBER this species occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Populus* sp., *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Tilia cordata*, *Ulmus* sp., *Ulmus campestris* and *Ulmus glabra*.

***Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, *Malus* sp. [25].

ECOLOGY: *G. lucidum* is a saprotroph on coniferous and deciduous wood. It causes a white rot. It was recorded on stumps of *Malus* sp. In the CBER this species also occurs on *Alnus glutinosa*, *Quercus robur* and *Larix decidua*.

***Lentinus substrictus* (Bolton) Zmitr. & Kovalenko (= *Polyporus ciliatus* Fr.)**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area, *Pyrus communis*, 26.05.2001, coll. T.N. Barsukova, LE 303253 [40]. **Lipetsk Region**, Zadonsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Morozova Gora area, *Prunus cerasus*, 21.10.2002, coll. and det. L.A. Sarycheva, VU 3730 [25].

ECOLOGY: *L. substrictus* is a saprotroph on deciduous or rarely on coniferous wood. Causes a white rot. It was recorded on fallen *Pyrus communis* and on stumps of *Prunus cerasus*. In the CBER this species occurs on *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata* and on timber wood.

***Polyporus tuberaster* (Jacq. ex Pers.) Fr.**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Oboyansky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Zorinsky area, *Pyrus communis*, 15.09.1999 [34].

ECOLOGY: *P. tuberaster* is a saprotroph on deciduous wood. It causes a white rot. It was recorded on fallen branches of *Pyrus communis*. In the CBER this species also

occurs on *Acer negundo*, *Corylus avellana*, *Quercus robur* and *Salix* sp.

***Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorsklye area, *Malus domestica*, 18.08.2011, LE 302193 [39]; Korochansky District, Popovka, *M. domestica*, 19.08.2019, LE 314116 [20]. **Kursk Region**, Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area, *Pyrus communis*, 12.09.1999 [34]; Shchigrovsky District, Shchigry, *M. domestica*, 15.08.1911, LE 19155. **Oryol Region**, Mtsensky District, Spasskoye-Lutovinovo, *Malus* sp., 01.05.2008, OHHI 180 [36]; Orlovsky District, Dobryi, *M. domestica*, 19.05.2019, LE 314814, Zhilina, *Pyrus communis*, 13.08.2019, LE 305017, *Prunus armeniaca*, *P. avium*, *P. cerasus*, 15.08.2019. The species is abundant and widely distributed in CBER.

ECOLOGY: *T. hirsuta* is a saprotroph on deciduous or more rarely on coniferous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was revealed on living and dry standing trunks of *Malus domestica* and *Prunus avium*, on living trees of *Pyrus communis* and *Prunus armeniaca* and on dry branches of living *Prunus cerasus*. In the CBER this species also occurs on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata*, *Viburnum opulus* and on timber wood.

***Trametes ochracea* (Pers.) Gilb. & Ryvarden**

DISTRIBUTION: **Kursk Region**, Oboyansky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Zorinsky area, *Pyrus communis*, 27.10.1999 [34]. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *Malus domestica*, 21.08.2019, strain LE-BIN 4354; Mtsensky District, Peredovik, *Malus* sp., 31.07.2008, OHHI 173 [36]; Orlovsky District, Dobryi, *M. domestica*, 05.05.2019, OHHI 1462, Luzhki, *Pyrus* sp., 05.10.2008, coll. N.I. Grechikhina, OHHI 437 [26], Zhilina, *Prunus armeniaca*, 23.08.2019, LE 305020, voucher for the strain LE-BIN 4377, *P. cerasus*, 15.08.2019. The species is abundant and widely distributed in the CBER.

STRAINS: LE-BIN 4354 (ex basidiospores), *M. domestica*, LE-BIN 4377 (ex basidiospores), *P. armeniaca*. – The aerial mycelium is white. Reverse bleached. Growing colony edge is appressed to raised, hyphae rather distant. Outline of colonies from smooth to wavy. The colony has a felty-farinaceous texture with cottony, which has become packed. Odour is very intense, mushroom-like (some strains are without any special odour). Growth rate – (M) F. Hyphal system dimitic. Generative hyphae (1.3) 1.5-3.5 (6.0) μm wide. Generative hyphae, differentiated with rare clamp connections, (4.5) 5.0-6.5 (9.5) μm in diameter. Skeletal hyphae 1.5-4.5 μm wide, rarely branched.

ECOLOGY: *T. ochracea* is a saprotroph on deciduous or very rarely on coniferous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was found on stumps of *Malus* sp., on branch and dry standing trunks of *Pyrus communis* and on living trees of *Malus domestica*, *Prunus armeniaca* and *P. cerasus*. In the CBER this species occurs on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Salix caprea* and *Ulmus* sp., as well as *Picea abies*.

***Trametes pubescens* (Schumach.) Pilát**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Orlovsky District, Luzhki, *Prunus domestica*, 30.03.2007, coll. V.A. Nikolaev, OHHI 170 [26].

ECOLOGY: *T. pubescens* is a saprotroph on deciduous wood. It causes a white rot. It was recorded on a saw-cut trunk of *Prunus domestica*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus* and *Quercus robur*.

***Trametes versicolor* (L.) Lloyd**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorskle area, *Pyrus communis*, 28.04.1938 [31]. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *Malus domestica*, 21.08.2019; Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, strain LE-BIN 4366; Orlovsky District, Zhilina, *Prunus avium*, 13.08.2019, *P. cerasus*, 23.08.2019, strain LE-BIN 4371.

STRAINS: LE-BIN 4366 (ex basidiocarp), *M. domestica*, LE-BIN 4371 (ex basidiospores), *Prunus cerasus*. The aerial mycelium is white. Reverse unchanged (some strains have bleached reverse). Growing colony edge is appressed, hyphae rather distant. Outline colonies from smooth to fringed. The colony has a cottony-felty texture: wooly mycelium, which becomes matted. Some strains have a zonate texture. It has no special odour. Growth rate – F. Hyphal system monomitic. The mycelium consists of generative hyphae 2.3–4.5 (6.5) µm in diameter. Generative hyphae, differentiated with rare clamp connections, (3.3) 5.0–9.5 µm in diameter. Encrusted hyphae sometimes were observed in the tested strain in pure cultures.

ECOLOGY: *T. versicolor* is a saprotroph on deciduous or rarely on coniferous wood or occasionally grows as a pathogen. It causes a white rot. It was recorded on the living trunks of *Malus domestica*, on rotten fallen trunks of *Pyrus communis* and on living trunks of *Prunus avium* and *P. cerasus*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix caprea*, *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata* and *Ulmus laevis*.

***Tyromyces chioneus* (Fr.) P. Karst. (= *Tyromyces albellus* (Peck) Bondartsev & Singer)**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area. **Kursk Region**, Gorshechensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Barkalovka area; Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area; Manturovsky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Bukreyevy Barmy area Medvensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Kazatsky area [33].

ECOLOGY: *T. chioneus* is a saprotroph on deciduous or more rarely on coniferous wood. It causes a white rot. It was recorded on *Malus* sp. and *Pyrus* sp. In the CBER this species is also found on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Quercus robur* and *Salix* sp.

Steccherinaceae***Steccherinum fimbriatum* (Pers.) J. Erikss.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 311659 [41].

ECOLOGY: *S. fimbriatum* is a saprotroph on deciduous and less often on coniferous wood. It was found on fallen branches of *Malus* sp. and on fallen branches of

Prunus spinosa. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Tilia cordata*, as well as on *Picea abies* and *Pinus sylvestris*.

***Steccherinum ochraceum* (Pers. ex J.F. Gmel.) Gray**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, OHHI 1330 [41].

ECOLOGY: *S. ochraceum* is a saprotroph on deciduous and rarely on coniferous wood. It was recorded on fallen branches and trunks of *Prunus spinosa*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur* and *Salix* sp., as well as on *Pinus sylvestris* and on dead basidiocarps of *Fomes fomentarius*.

Polyporales genera incertae sedis***Spongipellis spumea* (Sowerby) Pat.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Krasninsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Plyushchan' area, *Malus* sp., 29.09.2016, coll. and det. L.A. Sarycheva, VU 4720 [42]. Unspecified locality – [Tambov Governorate], *Malus* sp., 28.07.1915, LE 26929.

ECOLOGY: *S. spumea* is a pathogen and saprotroph on deciduous wood. It causes a white rot. It was found on living *Malus* sp. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Tilia cordata* and *Ulmus* sp.

A.S. Bondartsev noted [24] that he had previously misidentified *Aurantiporus fissilis* from fruit trees in the Kursk Governorate as *S. spumea*. In our opinion, the above references of *S. spumea* actually refer to *A. fissilis* but unfortunately there was no possibility to study the specimens.

RUSSULALES**Peniophoraceae*****Peniophora cinerea* (Pers.) Cooke**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Shebekinsky District, Titovka, *Pyrus communis*, 18.08.2019, LE 314156, voucher for the strain LE-BIN 4336 [45]. **Kursk Region**, Fatezhsky District, Rzhava, *Pyrus communis*, 15.08.2020, LE 305038; Kursky District, Kursk, *Pyrus* sp., 25.05.1908, coll. and det. A.S. Bondartsev, LE 35326. **Oryol Region**, Orlovsky District, Zhilina, *Pyrus communis*, 13.08.2019, LE 305039; Verkhovskiy District, Turovka, *Malus* sp., 12.08.2012, LE 298786 [54]. The species is abundant and widely distributed in the CBER.

STRAINS: LE-BIN 4336 (ex basidiospores), *P. communis*. – The aerial mycelium is white becoming creamy-beige with age. Reverse unchanged. Growing colony edge is pressed. Mycelial mat is felty: wooly mycelium, which has become matted. It has no special odour. Growth rate – F. Hyphal system monomitic. Aerial hyphae of 1.5–3.0 µm wide, thin-walled. Submerged hyphae from 2.5 to 4.5 µm wide. Crystals were observed for the tested strain in pure cultures. Generative hyphae, differentiated with rare clamp connections, d 3.5–6.0 µm.

ECOLOGY: *P. cinerea* is a saprotroph on a wide range of deciduous wood, occasionally growing as a pathogen. It was recorded on dry standing trees of *Malus* sp. and on dry branches of *Pyrus communis*. Usually grows on still hanging or dead branches recently fallen to the ground. In

the CBER this species also occurs on *Acer campestre*, *A. platanoides*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Frangula alnus*, *Fraxinus excelsior*, *Juglans* sp., *Lonicera xylosteum*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix* sp., *Tilia cordata* and *Ulmus campestris*.

***Peniophora incarnata* (Pers.) P. Karst.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Shebekinsky District, Titovka, *Prunus armeniaca*, 18.08.2019, LE 314158, voucher for the strain LE-BIN 4337 [45]. **Oryol Region**, Kolpnyansky District, Aleksandrovka, *Pyrus* sp., 05.10.2012, LE 292082 [37]. The species is common and widely distributed in the CBER.

STRAINS: LE-BIN 4337 (ex basidiospores), *P. armeniaca*. – The aerial mycelium is white becoming is orange or red to reddish-brown with age. Reverse unchanged. Growing colony edge is pressed. Mycelial mat is floccose: small hyphal tufts, standing out from the agar or from the aerial mycelium. It has no special odor. Growth rate – F. Hyphal system monomitic. Aerial hyphae of 1.5–4.0 µm wide, thin-walled. Crystals were observed in the tested strain in pure cultures. Generative hyphae, differentiated with rare clamp connections, d 5.0–7.5 µm.

ECOLOGY: *P. incarnata* is a saprotroph on wide range of deciduous wood, occasionally growing as a pathogen. It was recorded on fallen *Pyrus* sp., and on dry branches of *Prunus armeniaca*. Usually it grows on still attached branches. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Amelanchier* sp., *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Sorbus aucuparia* and *Ulmus* sp.

***Peniophora nuda* (Fr.) Bres.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Korochansky District, Popovka, *Pyrus communis*, 19.08.2019, LE 314113 [20].

ECOLOGY: *P. nuda* is a saprotroph on deciduous wood, occasionally growing as a pathogen. It was recorded on dry branches of *Pyrus communis*. Usually it grows on still attached branches. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur* and *Ulmus* sp.

***Peniophora violaceolivida* (Sommerf.) Massee**

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Kolpnyansky District, Aleksandrovka, *Pyrus* sp., 05.10.2012, LE 292113 [37].

ECOLOGY: *P. violaceolivida* is a saprotroph on deciduous wood. It was recorded on fallen *Pyrus* sp. In the CBER this species also occurs on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Betula pendula*, *Caragana arborescens* and *Fraxinus excelsior*.

Stereaceae

***Acanthophysellum minor* (Pilát) Sheng H. Wu, Boidin & C.Y. Chien**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Yeletsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Voronov Kamen' area, *Pyrus* sp., 01.10.2016, LE 313964 [44]. This record is the only known in Russia.

ECOLOGY: *A. minor* is a saprotroph on deciduous wood. It was recorded on a hanging dead trunk of *Pyrus* sp.

***Stereum hirsutum* (Willd.) Pers.**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Borisovsky District, Belogorye Nature Reserve, Les na Vorskle area, *Prunus cerasus*, 13.05.1938, *P. domestica*, 31.10.1938, *P. insititia*, 08.08.1939 [31]; Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus domestica*, *Pyrus communis* [33]. **Kursk Region**, Fatezhsky District, Rzhava,

Prunus domestica, 15.08.2020, LE 305053; Gorshechensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Barkalovka area; Kursky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Streletsky area; Manturovsky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Bukreyevy Barmy area Medvensky District, Tsentralno-Chernozyomny Nature Reserve, Kazatsky area, *Malus domestica*, *Pyrus communis* [33]. **Oryol Region**, Glazunovsky District, Lovchikovo, *Malus domestica*, 21.08.2019, OHHI 1461; Orlovsky District, Dobryi, *Prunus domestica*, 05.05.2019, LE 305021, coll. T.A. Tsutsupa, Zhilina, *P. cerasus*, 13.08.2019, *P. domestica*, 15.08.2019, LE 305052. **Voronezh Region**, Gribanovsky District, Tellermanovskoye Experimental Forestry, *P. cerasus*, *P. domestica*, 13.08.1912; Khokholsky District, Gremyachye, *P. cerasus*, *P. domestica*, 04.08.1912; Ostrogozhsky District, Uryv-Pokrovka, *P. cerasus*, *P. domestica*, 12.08.1912; Ramonsky District, Bolshaya Vereyka, *P. cerasus*, *P. domestica*, 30.07.1912 [30]. The species is abundant and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: *S. hirsutum* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It was found on dry standing trunks of *Malus domestica*, *Prunus cerasus* and *Pyrus communis*, on living trunks and dry branches and trunks of *Prunus domestica* and on dry branches of *P. insititia*. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Frangula alnus*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Prunus padus*, *Quercus robur*, *Salix caprea*, *Tilia cordata* and *Ulmus campestris*.

***Stereum rugosum* Pers.**

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, *Pyrus* sp. [25; 42].

ECOLOGY: *S. rugosum* is a saprotroph on deciduous wood or occasionally grows as a pathogen. It was recorded on dry dead standing and fallen trunks of *Pyrus* sp. In the CBER this species is also occurs on *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Quercus robur* and *Sambucus racemosa*.

***Stereum subtomentosum* Pouzar**

DISTRIBUTION: **Kursk Oblast**, Kursk, *Prunus* sp., 01.05.1905 [28, as *Stereum ochroleucum* (Fr.) Quél.]. The species is abundant and widely distributed in the CBER.

ECOLOGY: *S. subtomentosum* is a saprotroph on deciduous wood. It was recorded on *Prunus* sp. In the CBER this species also occurs on *Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Tilia cordata*.

THELEPHORALES

Telephoraceae

***Tomentellopsis echinospora* (Ellis) Hjortstam**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Malus* sp., 06.11.2015, LE 311631 [41]. The species is known from the CBER only by this record.

ECOLOGY: *T. echinospora* is an ectomycorrhizal fungus developing basidiocarps on deciduous and coniferous wood. It was recorded on a fallen branch of *Malus* sp.

***Tomentellopsis pulchella* Kõljalg & Bernicchia**

DISTRIBUTION: **Belgorod Region**, Gubkinsky District, Belogorye Nature Reserve, Yamskaya Steppe area, *Prunus spinosa*, 06.11.2015, LE 311620 [41]. This record is the only known in Russia.

ECOLOGY: *T. pulchella* forms ectomycorrhizae as well as develops basidiocarps on surface of woody substrate. It was recorded on a fallen trunk of *Prunus spinosa*.

TRECHISPORALES

Hydnodontaceae

Subulicystidium perlongisporum Boidin & Gilles

DISTRIBUTION: **Oryol Region**, Mtsensky District, Volya, *Malus domestica*, 22.08.2019, LE 305050.

ECOLOGY: the species is a saprotroph on deciduous wood. It was collected on bark of a living *Malus domestica*. The species is registered in the CBER for the first time.

DACRYMYCETES

DACRYMYCETALES

Dacrymycetaceae

Calocera cornea (Batsch) Fr.

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Zadonsky District, Galichya Gora Nature Reserve, *Pyrus communis*, 23.07.2020, coll. and det. L.A. Sarycheva, VU 4955.

ECOLOGY: *C. cornea* is a saprotroph on deciduous wood. It was recorded on living trunks of *Pyrus communis*. In the CBER this species also occurs on *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Betula pendula*, *Prunus padus*, *Quercus robur* and *Salix* sp.

Dacrymyces stillatus Nees

DISTRIBUTION: **Lipetsk Region**, Zadonsky District, Galichya Gora Nature Reserve, Morozova Gora area, *Malus sylvestris*, 30.05.1994, VU 2908 [25, as *Dacrymyces deliquescens* (Bull.) Duby].

ECOLOGY: *D. stillatus* is a saprotroph on coniferous and deciduous wood. It was recorded on fallen branches of *Malus sylvestris*. In the CBER this species also occurs on *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Salix* sp. and *Sorbus aucuparia*.

DISCUSSION

As a result of the analysis of available data, we obtained information on 97 species of basidial macrofungi from 68 genera associated with *Malus*, *Pyrus* and *Prunus* wood in

the CBER. Thirty-two species were known before our own research started in 2008 [26]. Two species – *Antrrodia serpens* and *Ceriporia torpida* – have been registered for the first time in Russia.

The first verifiable find of *A. serpens* from Oryol Region clarifies the eastern limits of the species distribution range in the European part of Russia. According to the recent research based on type material and using molecular techniques [56], this species has for a long time been confused with close species of *A. albida* [15] – the latter is now synonymous with *A. heteromorpha*. The earlier records of *A. serpens sensu* Bondartsev [24] do not correspond to a modern understanding of the taxon and need to be revised for herbarium materials.

Ceriporia torpida is new to Russia and significantly extends the boundaries of the previously established range away to the south-east. Until the present study this species was only known from Finland (holotype, on dead *Trametes* sp. on *Salix caprea*) and the Czech Republic (fallen branch of *Fagus sylvatica*). The species has been described as a result of the taxonomic study of the *Ceriporia purpurea* group [57] and therefore the existing records of *C. purpurea* in the CBER need to be revised.

The maximum number of macrofungi species associated with the wood of fruit trees is known for Oryol Region – 47 species, followed by Belgorod Region – 40, Lipetsk Region – 26, Kursk Region – 24, Voronezh Region – 7, and Tambov Region – 2 species.

The largest number of fungal species (65) inhabits *Malus* woods, 34 species *Pyrus* woods and 29 species *Prunus* woods. The distribution among representatives of the genus *Prunus* is as follows: six species (*Funalia trogii*, *Irpex lacteus*, *Peniophora incarnata*, *Phellinus pomaceus*, *Trametes hirsuta*, *T. ochracea*) were registered on *P. armeniaca*, five species (*Fomitopsis pinicola*, *Irpex lacteus*, *Phellinus pomaceus*, *Trametes hirsuta*, *T. versicolor*) on *P. avium*, one species (*Phellinus pomaceus*) on *P. cerasifera*, eight species on *P. cerasus*, nine species on *P. domestica* and twelve species on *P. spinosa*.

Table 1. Distribution of macrofungi species associated with the wood of fruit species by CBER regions

Таблица 1. Распределение видов макромицетов, ассоциированных с древесиной плодовых пород по регионам Центрального Черноземья

Region	All trees	On <i>Malus</i> spp.	On <i>Pyrus</i> spp.	On <i>Prunus</i> spp.
Total	97	65	34	29
Belgorod Region	40	21	14	16
Kursk Region	24	11	14	5
Lipetsk Region	26	20	4	2
Oryol Region	47	37	10	10
Tambov Region	2	1	0	1
Voronezh Region	7	4	0	4

Only two species were revealed in five regions (with the exception of Tambov Region) – *Phellinus pomaceus* and *Sarcodontia crocea*, the regularly occurring and the most important pathogens of *Prunus* spp. and *Malus* spp. respectively. Another four species were recorded in three-four regions: *Phellinus alni*, *Schizophyllum commune* and *Stereum hirsutum* – in four regions (except for Lipetsk and Tambov Regions), *Peniophora cinerea* and *Trametes hirsuta* – in three regions (except for Voronezh, Lipetsk and

Tambov Regions). The proportion of species common to four of the most studied regions is shown in Fig. 2.

Five species of macrofungi grow on all three genera of fruit trees – *Lyomyces crustosus*, *Stereum hirsutum*, *Trametes hirsuta*, *T. ochracea* and *T. versicolor*. These are common, widespread species that are regularly found on the wood of different tree species in the CBER. The proportion of species common to the three discussed genera of fruit trees is shown in Fig. 3.

Based on an analysis of the literature data that we could verify, among the fungi found during the studies *Antredia serpens*, *Candelabrochaete septocystidia*, *Ceriporia torpida*, *Hyphoderma mutatum*, *Phlebia rufa*, *Ph. tremellosa*, *Subulicystidium perlongisporum* and *Trichaptum biforme* were noted for fruit trees for the first time in the European part of Russia. At the same time *Candelabrochaete septocystidia* and *Subulicystidium perlongisporum* are little-known and rare species revealed in very few regions.

Most of the species registered are able to develop in a wide range of predominantly deciduous trees. The

species that specialize in fruit trees include *Sarcodontia crocea* and *Phellinus pomaceus*.

Sarcodontia crocea is in most cases strictly associated with *Malus*, much less with *Pyrus*, and was only once recorded on *Acer platanooides*. The species was recorded in all the horticultural plantations we surveyed on live, drying and dry *Malus* trees, affecting up to 100% of all trees within an orchard: this makes it one of the highly dangerous pathogens causing significant yield losses to fruit trees due to drying and death.

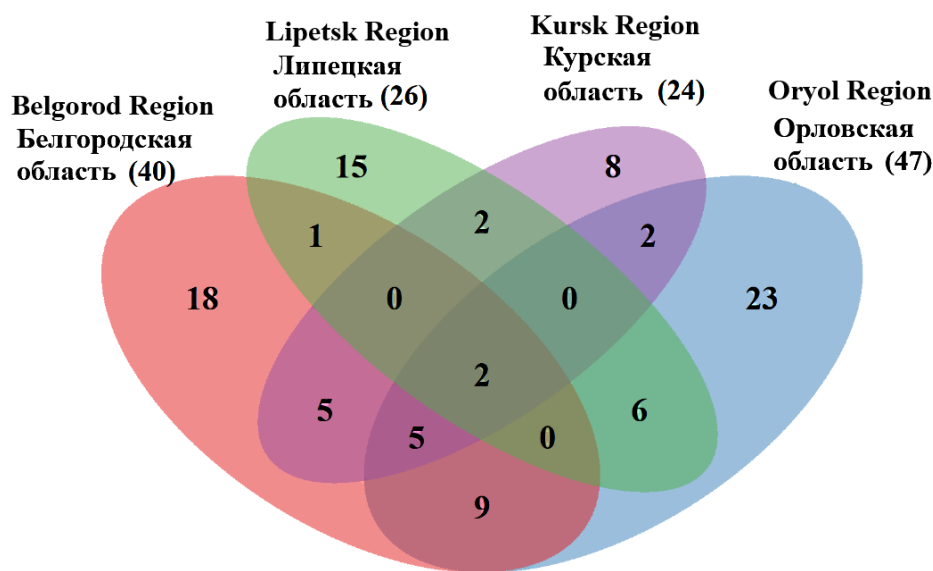


Figure 2. The share of macrofungi species associated with fruit trees, common to different regions of the CBER

Рисунок 2. Доля видов макромицетов, ассоциированных с древесиной плодовых пород, общих для различных регионов Центрального Черноземья

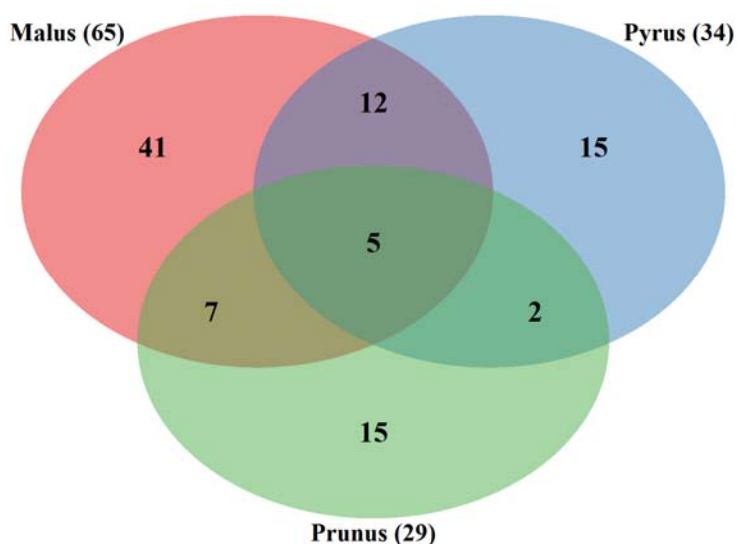


Figure 3. The share of macrofungi species associated with fruit trees, common to different plant genera

Рисунок 3. Доля видов макромицетов, ассоциированных с древесиной плодовых пород, общих для различных родов плодовых пород

Phellinus pomaceus is regularly recorded on living and dying plants of *Prunus* species, suggesting a narrow ecological niche. However, according to the literature, this spe-

cies is also associated with other fruit trees from the genera *Malus* and *Pyrus* [58], or even a wider range of host plants – up to 20 genera [15]. Available results of molecu-

lar studies [52] of the *Phellinus igniarius* s. l. species complex, to which this species belongs, also indicate the growth of *Ph. alni* and a single find of *Ph. igniarius* s. str. on *Malus* wood and the strict association of *Ph. pomaceus* with the genus *Prunus*. The results of the present study, which was carried out using molecular methods and ITS nrDNA analysis (unpublished data), confirm that in the CBER *Ph. pomaceus* develops exclusively on *Prunus* spp. trees, while *Ph. alni* grows on *Malus* spp.

The interesting finding published in the literature [33] is the discovery of *Fistulina hepatica*, which develops almost exclusively on *Quercus robur*, on *Malus* and *Pyrus*, although for this fungus it is known that in very rare cases it has also been found on other deciduous trees [15]. Unfortunately, we are not aware of the presence of specimens for this indication.

Pathogenic activity has been clearly marked for 32 species of fungi found on trunks and branches of living trees, causing necrosis and trunk rot. Five species were recorded on living branches and 31 species were registered on living trunks. The distribution of hosts is as follows: 22 pathogenic species – on *Malus*, 6 – on *Pyrus*, 11 – on *Prunus*. Of all the pathogens, only 14 have been observed exclusively on living trees: *Calocera cornea* (on *Pyrus communis*), *Ceriporus squamosus* (on *Malus* sp.), *Fu-nalia trogii* (on *Prunus armeniaca*), *Hypsizygus marmoreus* (on *Malus domestica*), *Inocutis rheades* (on *Prunus domestica*), *Inonotus hispidus* (on *Malus* spp.), *Laetiporus sulphureus* (on *Pyrus communis*), *Oxyporus obducens* (on *Malus* sp.), *O. populinus* (on *Malus domestica*), *Phanerochaete velutina* (on *Pyrus* sp.), *Phellinus alni* (on *Malus* spp.), *Psathyrella spadicea* (on *Malus* sp.), *Subulicystidium perlongisporum* (on *Malus domestica*), *Volvariella bombycina* (on *Malus domestica*).

Forty-two species were recorded on dry dead wood, including 29 species were recorded on dry branches in the crowns of living trees and 23 species on dry standing trunks. Only 18 species have been revealed exclusively on this type of substrate: *Antrrodia serpens* (on *Malus domestica*), *Apioperdon pyriforme* (on *Malus* sp., *Pyrus* sp.), *Basidirodulium radula* (on *Malus* sp.), *Candelabrochaete septocystidia* (on *Malus domestica*), *Ceriporus leptoccephalus* (on *Pyrus communis*), *Ceriporia viridans* (on *Malus domestica*), *Dichomitus campestris* (on *Malus* sp., *Pyrus communis*), *Fomitiporia punctata* (on *Malus* sp.), *Hydnoporia tabacina* (on *Malus sylvestris*, *Pyrus communis*), *Hyphoderma mutatum* (on *Malus domestica*), *Lyomyces erastii* (on *Malus domestica*), *Peniophora nuda* (on *Pyrus communis*), *Peniophorella praetermissa* (on *Malus* spp.), *Phanerochaete jose-ferreirae* (on *Malus* sp.), *Porostereum spadiceum* (on *Malus domestica*), *Raduliporus aneirinus* (on *Malus domestica*), *Radulomyces confluens* (on *Prunus domestica*), *Sistotrema brinkmannii* (on *Malus domestica*).

A total of 48 species develop on dead wood (dead fallen branches, fallen trunks, stumps), of which 31 species develop exclusively on this type of substrate.

Most of the species revealed cause a white rot. At least nine species (*Antrrodia serpens*, *Coniophora puteana*, *Fistulina hepatica*, *Fomitopsis pinicola*, *Gloeophyllum trabeum*, *Laetiporus sulphureus*, *Postia balsamea*, *P. lactea*, and *P. subcaesia*) belong to fungi causing a brown rot.

On fallen trunks and branches, species that are not saprotrophs have also been found by chance – the ecto-

mycorrhizal *Tomentellopsis echinospora* (on *Malus* sp.) and *Tomentellopsis pulchella* (on *Prunus spinosa*) as well as the lichenicolous *Athelia alnicola* (on *Prunus spinosa*).

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Dr. L.A. Sarycheva (Galichya Gora Reserve, Voronezh State University) and Dr. T.A. Tsutsupa (I.S. Turgenev Oryol State University) who kindly provided specimens and helped with herbarium data for our investigation. The study was supported by a Grant of the President of the Russian Federation (MK-3216.2019.11).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят к.б.н. Л.А. Сарычеву (заповедник «Галичья гора», Воронежский государственный университет) и к.б.н. Т.А. Цуцупу (Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева) за любезно предоставленные образцы и помощь с некоторыми гербарными данными. Работа выполнена в рамках Гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК–3216.2019.11).

REFERENCES

- Altizer S., Ostfeld R.S., Johnson P.T.J., Kutz S., Harvell C.D. Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework. *Science*, 2013, vol. 341, iss. 6145, pp. 514-519. DOI: 10.1126/science.1239401
- Peresyppkin V.F. *Sel'skokhozyaistvennaya fitopatologiya* [Agricultural phytopathology]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989, 480 p. (In Russian)
- Golovin S.E., Romanchenko T.I. *Vozbuditeli mikoznogo usykhaniya, kornevykh i prikornevykh gnilei plodovykh kul'tur: diagnostika, mery bor'by* [Causative agents of mycotic drying, root and root rot of fruit crops: diagnostics, control measures]. Moscow, ARHIBAN Publ., 2020, 192 p. (In Russian)
- Popushoy I.S. *Mikoflora plodovykh derev'ev SSSR* [Mycoflora of fruit trees of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1971, 465 p. (In Russian)
- Khokhryakov M.K., Dobrozrakova T.L., Stepanov K.M., Letova M.F. *Opredelitel' boleznei rastenii* [The keybook of plant diseases]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2003, 592 p. (In Russian)
- Prakh S.V., Mishchenko I.G. *Bolezni i vrediteli kosto-chkovykh kul'tur i mery bor'by s nimi* [Diseases and pests of stone fruit crops and measures to control them]. Krasnodar, SKZNIISiV Publ., 2013, 198 p. (In Russian)
- Cloete M., Fourie P.H., Damm U., Crous P.W., Mostert L. Fungi associated with die-back symptoms of apple and pear trees, a possible inoculum source of grapevine trunk disease pathogens. *Phytopathologia Mediterranea*, 2011, vol. 50, pp. S176-S190.
- Hortová B., Novotný D. Endophytic fungi in branches of sour cherry trees: a preliminary study. *Czech Mycology*, 2011, vol. 62, iss. 1, pp. 77-82. DOI: 10.33585/cmy.63107
- Gramaje D., Agustí-Brisach C., Pérez-Sierra A., Moralejo E., Olmo D., Mostert L., Damm U., Armengol J. Fungal trunk pathogens associated with wood decay of almond trees on Mallorca (Spain). *Persoonia - Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 2012, vol. 28, iss. 1, pp. 1-13. DOI: 10.3767/003158512X626155

10. Piątek M. Parasitic macrofungi (Basidiomycetes) on fruit shrubs and trees in the Tarnów town (S Poland). *Acta Mycologica*, 1999, vol. 34, iss. 2, pp. 329-344. DOI: 10.5586/am.1999.022
11. Kovacs G. Role of wood destroying fungi in orchards in Austria. International Conference on Integrated Fruit Protection. Proceedings of the meeting at Lleida, Spain, 22-26 October, 2000. Gent, IOBC/WPRS, 2001, pp. 325-329.
12. Fischer M., González García V. An annotated checklist of European basidiomycetes related to white rot of grapevine (*Vitis vinifera*). *Phytopathologia Mediterranea*, 2015, vol. 54, iss. 2, pp. 281-298. DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-16293
13. Markakis E.A., Kavroulakis N., Ntougias S., Koubouris G.C., Sergeantani C.K., Ligoixakis E.K. Characterization of fungi associated with wood decay of tree species and grapevine in Greece. *Plant Disease*, 2017, vol. 101, iss. 11, pp. 1929-1940. DOI: 10.1094/PDIS-12-16-1761-RE
14. Bien S., Damm U. Prunus trees in Germany – a hideout of unknown fungi? *Mycological Progress*, 2020, vol. 19, iss. 7, pp. 667-690. DOI: 10.1007/s11557-020-01586-4
15. Ryvarden L., Melo I. Poroid fungi of Europe. Oslo, Fungiflora, 2014, 455 p.
16. Yurchenko E.O. New and rare corticioid fungi (Corticaceae s.l.) of Belarus in consortia of genus *Malus* Mill. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2: Khimiya. Biologiya. Geografiya* [Bulletin of the Belarusian State University. Series 2: Chemistry. Biology. Geography]. 1998, iss. 1, pp. 31-35. (In Russian)
17. Yurchenko E.O. Corticioid fungi associated with apple-tree in Belarus: results of 12-years investigation. In: *Biologiya, sistematika i ekologiya gribov v prirodnkh ekosistemakh i agrofytotsenozakh. Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Minsk, 20-24 sentyabrya 2004 g.)* [Biology, systematics and ecology of fungi in natural and agricultural ecosystems. Proceedings of the International scientific conference, Minsk, 20-24 September, 2004]. Minsk, 2004, pp. 304-310.
18. Karpun N.N., Mikhailova Y.V. [Analyzing the complex of harmful organisms in agrocoenosis of southern fruit crops in humid Russian subtropics]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, vol. 130, pp. 321-334. (In Russian) DOI: 10.21515/1990-4665-130-024 Available at: <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/24.pdf> (accessed 10.05.2020)
19. Bulgakov T.S. Modern information about fungal pathogens on stone fruit crops in the western part of the Black Sea coast of Krasnodar Region. *Subtropical and Ornamental Horticulture*, 2019, vol. 70, pp. 178-189. (In Russian) DOI: 10.31360/2225-3068-2019-70-178-189
20. Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu., Shakhova N.V. Monitoring ksilotrofnnykh bazidiomitsetov – fitopatogenov semechkovykh plodovykh kul'tur v Belgorodskoi oblasti [Monitoring of xylophilous basidiomycetes – phytopathogens of fruit trees in the Belgorod Region]. *Materialy XXI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Biologicheskoe raznoobrazie Kavkaza i yuga Rossii», Magas, 15-18 noyabrya 2019* [Materials of the XXI International Scientific Conference “Biological Diversity of the Caucasus and South of Russia”, Magas, 15-18 November, 2019]. Magas, 2019, pp. 42-45. (In Russian)
21. Golovin S.E., Romanchenko T.I. Influence of fungi on distracting trees bark on longevity of seed orchards after restorative pruning of apple orchards with extra time of application. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Pomiculture and small fruits culture in Russia]. 2002, vol. 9, pp. 303-309. (In Russian)
22. Safonov M.A. [Fruit trees fungi of the Orenburg region]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2012, iss. 2, pp. 8-11. (In Russian) Available at: <http://www.vestospu.ru/archive/2012/stat/safonov.html> (accessed 03.05.2020)
23. Zmitrovich I.V., Firsov G.A., Bondartseva M.A., Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu. Wood-inhabiting basidiomycetes as tree pathogens at the Peter the Great Botanical Garden of Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Science: their diagnostics, biology, and distribution over the park territory. *Hortus Botanicus*, 2018, vol. 13, pp. 182-204. (In Russian) DOI: 10.15393/j4.art.2018.5082
24. Bondarzew A.S. *Trutovye griby Evropeiskoi chasti SSSR i Kavkaza* [The Polyporaceae of the European USSR and Caucasias]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1953, 1106 p. (In Russian)
25. Sarycheva L.A., Svetasheva T.Yu., Bulgakov T.S., Popov E.S., Malysheva V.F. *Mikobiota Lipetskoi oblasti* [Mycobiota of Lipetsk Region]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 2009, 287 p. (In Russian)
26. Volobuev S.V. *Afilloforoidnye griby Orlovskoi oblasti: taksonomicheskii sostav, rasprostranenie, ekologiya* [Aphylloroid fungi of the Oryol Oblast: taxonomical composition, distribution, ecology]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2015, 304 p. (In Russian)
27. Volobuev S.V., Bolshakov S.Yu. Aphylloroid fungi of the Middle Russian Upland. I. The history of study and some new data. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology]. 2016, vol. 50, iss. 6, pp. 335-346. (In Russian)
28. Bondarzew A.S. [Les parasites végétaux des plantes cultivées et sauvages, recueillis dans le giuvernement de Kursk en 1901, 1903-1905]. In: *Trudy Imperatorskago S.-Peterburgskago botanicheskago sada* [Acta Horti Petropolitani]. 1906, vol. 26, iss. 1, pp. 1-52. (In Russian)
29. Bondarzew A.S. Polypores – Polyporaceae, collected in Kursk Governorate during 1906 and 1907. *Lesnoy Zhurnal* [Forest Journal]. 1908, vol. 38, iss. 6, pp. 750-763. (In Russian)
30. Bondarzew A.S., Lebedeva L.A. [Fungal parasites of the Voronezh Governorate, collected in summer of 1912]. In: *Materialy po mikologicheskomu obsledovaniyu Rossii* [Materials on mycological examination of Russia]. Petrograd, M. Merkushev Publ., 1914, vol. I, pp. 1-98. (In Russian)
31. Brezhnev I.E. [Parasitic and saprophytic mycoflora of trees and shrubs in shelterbelts]. In: *Uchyonye zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific notes of the A.A. Zhdanov Leningrad State University]. 1950, vol. 134, pp. 70-129. (In Russian)
32. Vakin A.T. [Phytopathological condition of the oak forests of the Tellermanovsky Forest]. In: *Trudy Instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of the Institute of Forestry of the USSR Academy of Sciences]. 1954, vol. 16, pp. 5-109. (In Russian)

33. Ryabova V.P., Ignatenko O.S. [Materials on the macro-mycetes flora of the Tsentralno-Chernozemny Nature Reserve]. In: *Floristicheskiye issledovaniya v zapovednikakh RSFSR* [Floristic research in the reserves of the RSFSR]. Moscow, 1981, pp. 124-142. (In Russian)
34. Barsukova T.N. Xylotrophic fungi of the Central Chernozem Biosphere Reserve. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology]. 2000, vol. 34, iss. 5, pp. 1-7. (In Russian)
35. Baranov N.G. Materials on the investigation of agaricoid basidiomycetes of Kursk Region. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology]. 2002, vol. 36, iss. 5, pp. 15-23. (In Russian)
36. Volobuev S.V. Aphyllporaceous fungi of the I. S. Turgenyev State Museum-Reserve «Spasskoe-Lutovinovo» (Orel Region). *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology]. 2011, vol. 45, iss. 6, pp. 489-496. (In Russian)
37. Volobuev S.V. Aphyllporaceous fungi of forest ecosystems in the south-east of the Orel Region. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology]. 2013, vol. 47, iss. 4, pp. 209-217. (In Russian)
38. Volobuev S.V., Kotkova V.M., Bondartseva M.A. New data on aphyllporoid fungi of the «Orlovskoe Poles'e» National Park (Orel Region). *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology]. 2013, vol. 47, iss. 5, pp. 290-293. (In Russian)
39. Volobuev S., Logachev A., Mushnikov N., Okun M. New records of aphyllporoid fungi (Agaricomycetes, Basidiomycota) from the Les na Vorskla area of the Belgor'e Nature Reserve (Belgorod Region, Russia). *Folia Cryptogamica Estonica*, 2015, vol. 52, pp. 89-93. DOI: 10.12697/fce.2015.52.11
40. Volobuev S.V. Contribution to the aphyllporoid fungi biota of the Central Chernozem Nature Reserve (Kursk Region). *Byulleten' Bryanskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Bulletin of Bryansk Department of Russian Botanical Society]. 2015, iss. 2, pp. 3-6. (In Russian)
41. Bolshakov S.Yu., Volobuev S.V. New data on aphyllporoid fungi of the Yamskaya Steppe (Belgoroye Nature Reserve, Belgorod region). *Byulleten' Bryanskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Bulletin of Bryansk Department of Russian Botanical Society], 2016, iss. 2, pp. 18-25. (In Russian)
42. Sarycheva L.A. *Mikobiota zapovednika «Galich'ya gora»* [Mycobiota of the Galich'ya Gora Nature Reserve]. Voronezh, VSU Publ., 2016, 236 p. (In Russian)
43. Sarycheva L.A., Starodubtseva E.A., Sapelnikova E.A. [Mycobiota of the Voronezhsky Nature Reserve]. In: *Trudy Voronezhskogo zapovednika. Vypusk XXVIII* [Proceedings of the Voronezh State Reserve. Issue XXVIII]. Izhevsk, Print-2 Publ., 2017, pp. 7-75. (In Russian)
44. Volobuev S., Arzhenenko A., Bolshakov S., Shakhova N., Sarycheva L. New data on aphyllporoid fungi (Basidiomycota) in forest-steppe communities of the Lipetsk region, European Russia. *Acta Mycologica*, 2018, vol. 53, iss. 2, pp. 1112. DOI: 10.5586/am.1112
45. Volobuev S.V. To the study of aphyllporoid fungi (Agaricomycetes, Basidiomycota) in Shebekinsky District, Belgorod Region. *Diversity of Plant World*, 2019, iss. 3, pp. 21-25. DOI: 10.22281/2686-9713-2019-3-21-25
46. Bolshakov S.Yu., Kalinina L.B., Volobuev S.V., Rebriev Yu.A., Shiryayev A.G., Khimich Yu.R., Vlasenko V.A., Leostin A.V., Shakhova N.V., Vlasenko A.V., Dejdmata T., Ezhov O.N., Zmitrovich I.V. New species for regional mycobiotas of Russia. 5. Report 2020. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2020, vol. 54, iss. 6, pp. 404-413. DOI: 10.31857/S0026364820060033
47. Belova N.V., Psurtseva N.V., Gachkova N.V., Ozerskaya S.M. Conservation of basidiomycetes ex situ diversity in le culture collection (Komarov Botanical institute of Russian Academy of Sciences). *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology]. 2005, vol. 39, iss. 2, pp. 1-10. (In Russian)
48. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Revealing new active and biotechnologically perspective producers of oxidative and cellulolytic enzymes among pure cultures of xylotrophic Agaricomycetes from the Southern Non-Chernozem zone of the European part of Russia. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*, 2020, vol. 10, iss. 1, pp. 113-119. DOI: 10.5943/cream/10/1/12
49. Stalpers J.A. Identification of wood-inhabiting Aphyllporales in pure culture. *Studies in Mycology*, 1978, vol. 16, pp. 1-248.
50. He M.-Q., Zhao R.-L., Hyde K.D., Begerow D., Kemler M., Yurkov A., McKenzie E.H.C., Raspé O., Kakishima M., Sánchez-Ramírez S., Vellinga E.C., Halling R., Papp V., Zmitrovich I.V., Buyck B., Ertz D., Wijayawardene N.N., Cui B.-K., Schoutteten N., Liu X.-Z., Li T.-H., Yao Y.-J., Zhu X.-Y., Liu A.-Q., Li G.-J., Zhang M.-Z., Ling Z.-L., Cao B., Antonín V., Boekhout T., da Silva B.D.B., De Crop E., Decock C., Dima B., Dutta A.K., Fell J.W., Geml J., Ghobad-Nejhad M., Giachini A.J., Gibertoni T.B., Gorjón S.P., Haelewaters D., He S.-H., Hodkinson B.P., Horak E., Hoshino T., Justo A., Lim Y.W., Menolli N., Mešić A., Moncalvo J.-M., Mueller G.M., Nagy L.G., Nilsson R.H., Noordeloos M., Nuytink J., Orihara T., Ratchadawan C., Rajchenberg M., Silva-Filho A.G.S., Sulzbacher M.A., Tkáčec Z., Valenzuela R., Verbeken A., Vizzini A., Wartchow F., Wei T.-Z., Weiß M., Zhao C.-L., Kirk P.M. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota. *Fungal Diversity*, 2019, vol. 99, iss. 1, pp. 105-367. DOI: 10.1007/s13225-019-00435-4
51. Setliff E.C. The wound pathogen *Chondrostereum purpureum*, its history and incidence on trees in North America. *Australian Journal of Botany*, 2002, vol. 50, iss. 5, pp. 645-651. DOI: 10.1071/bt01058
52. Tomšovský M., Vampola P., Sedlák P., Byrtusová Z., Jankovský L. Delimitation of central and northern European species of the *Phellinus igniarius* group (Basidiomycota, Hymenochaetales) based on analysis of ITS and translation elongation factor 1 alpha DNA sequences. *Mycological Progress*, 2010, vol. 9, iss. 3, pp. 431-445. DOI: 10.1007/s11557-009-0653-x
53. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Culture characteristics and enzymatic activity of *Sarcodontia crocea* (Basidiomycota) strains collected from the Central Russian Upland. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2020, vol. 54, iss. 6, pp. 446-451. DOI: 10.31857/S0026364820060100
54. Volobuev S.V. Aphyllporoid fungi (Basidiomycota) of the «Verkhovskiy» State Nature Biological Sanctuary (Orel Region). *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 2014, vol. 48, pp. 121-129. (In Russian) DOI: 10.31111/nsnr/2014.48.121
55. Volobuev S.V., Bondartseva M.A. Aphyllporaceous fungi (Basidiomycota) of «Urochishche Golovkina Dubrava»

protected forest area (Orel Region). *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 2012, vol. 46, pp. 85-91. (In Russian) DOI: 10.31111/nsnr/2012.46.85

56. Spirin V., Vlasák J., Niemelä T., Miettinen O. What is *Antrodia* sensu stricto? *Mycologia*, 2013, vol. 105, iss. 6, pp. 1555-1576. DOI: 10.3852/13-039

57. Spirin V., Vlasák J., Rivoire B., Kout J., Kotiranta H., Miettinen O. Studies in the *Ceriporia purpurea* group (Polyporales, Basidiomycota), with notes on similar *Ceriporia* species. *Cryptogamie, Mycologie*, 2016, vol. 37, iss. 4, pp. 421-435. DOI: 10.7872/crym/v37.iss4.2016.421

58. Bondartseva M.A., Parmasto E. *Opredelitel' gribov SSSR: Poryadok afiloforovye; Vyp. 1. Semeistva gimno-khetovye, lakhnokladiiye, konioforovye, shchelelist-nikovye* [Clavis diagnostica fungorum URSS. Ordo Aphyllophorales. Fasc. 1. Familiae Hymenochaetaceae, Lachnocladiaceae, Coniophoraceae, Schizophyllaceae]. Leningrad, Nauka Publ., 1986, 192 p. (In Russian)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Altizer S., Ostfeld R.S., Johnson P.T.J., Kutz S., Harvell C.D. Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework // *Science*. 2013. V. 341. Iss. 6145. P. 514-519. DOI: 10.1126/science.1239401
- Пересыпкин В.Ф. Сельскохозяйственная фитопатология. М.: Агропромиздат, 1989. 480 с.
- Головин С.Е., Романченко Т.И. Возбудители микозного усыхания, корневых и прикорневых гнилей плодовых культур: диагностика, меры борьбы. М.: ВСТИСП, 2020. 192 с.
- Попушой И.С. Микофлора плодовых деревьев СССР. М.: Наука, 1971. 465 с.
- Хохряков М.К., Доброзракова Т.Л., Степанов К.М., Летова М.Ф. *Определитель болезней растений*. СПб.: Изд-во «Лань», 2003. 592 с.
- Прах С.В., Мищенко И.Г. Болезни и вредители косточковых культур и меры борьбы с ними. Краснодар: СКЗНИИСИВ, 2013. 198 с.
- Cloete M., Fourie P.H., Damm U., Crous P.W., Mostert L. Fungi associated with die-back symptoms of apple and pear trees, a possible inoculum source of grapevine trunk disease pathogens // *Phytopathologia Mediterranea*. 2011. V. 50. P. S176-S190.
- Hortová B., Novotný D. Endophytic fungi in branches of sour cherry trees: a preliminary study // *Czech Mycology*. 2011. V. 62. Iss. 1. P. 77-82. DOI: 10.33585/cmy.63107
- Gramaje D., Agustí-Brisach C., Pérez-Sierra A., Moralejo E., Olmo D., Mostert L., Damm U., Armengol J. Fungal trunk pathogens associated with wood decay of almond trees on Mallorca (Spain) // *Persoonia - Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 2012. V. 28. Iss. 1. P. 1-13. DOI: 10.3767/003158512X626155
- Piątek M. Parasitic macrofungi (Basidiomycetes) on fruit shrubs and trees in the Tarnów town (S Poland) // *Acta Mycologica*. 1999. V. 34. Iss. 2. P. 329-344. DOI: 10.5586/am.1999.022
- Kovacs G. Role of wood destroying fungi in orchards in Austria // *International Conference on Integrated Fruit Protection. Proceedings of the meeting at Lleida, Spain, 22-26 October, 2000* / ed. J. Avilla, F. Polesny. Gent: IOBC/WPRS, 2001. P. 325-329.
- Fischer M., González García V. An annotated checklist of European basidiomycetes related to white rot of grape-

vine (*Vitis vinifera*) // *Phytopathologia Mediterranea*.

2015. V. 54. Iss. 2. P. 281-298. DOI:

10.14601/Phytopathol_Mediterr-16293

13. Markakis E.A., Kavroulakis N., Ntougias S., Koubouris G.C., Sergeantani C.K., Ligoigakis E.K. Characterization of fungi associated with wood decay of tree species and grapevine in Greece // *Plant Disease*. 2017. V. 101. Iss. 11. P. 1929-1940. DOI: 10.1094/PDIS-12-16-1761-RE

14. Bien S., Damm U. *Prunus* trees in Germany – a hideout of unknown fungi? // *Mycological Progress*. 2020. V. 19. Iss. 7. P. 667-690. DOI: 10.1007/s11557-020-01586-4

15. Ryvarden L., Melo I. *Poroid fungi of Europe*. Oslo: Fungiflora, 2014. 455 p.

16. Юрченко Е.О. Новые и редкие виды кортициидных грибов (*Corticaceae* s. l.) Беларуси в консорциях рода *Malus* Mill. // *Вестник Белорусского государственного университета*. Серия 2: Химия. Биология. География. 1998. N 1. С. 31-35.

17. Yurchenko E.O. Corticioid fungi associated with apple-tree in Belarus: results of 12-years investigation // *Биология, систематика и экология грибов в природных экосистемах и агрофитоценозах*. Материалы международной научной конференции (Минск, 20-24 сентября 2004 г.). Минск: Право и экономика, 2004. С. 304-310.

18. Карпун Н.Н., Михайлова Е.В. Анализ комплекса вредных организмов в агроценозах южных плодовых культур во влажных субтропиках России // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2017. Т. 130. С. 321-334. DOI: 10.21515/1990-4665-130-024 URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/24.pdf> (дата обращения: 10.05.2020)

19. Булгаков Т. С. Современные сведения о грибных патогенах косточковых культур в западной части Черноморского побережья Краснодарского края // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2019. Т. 70. С. 178-189. DOI: 10.31360/2225-3068-2019-70-178-189

20. Волобуев С.В., Большаков С.Ю., Шахова Н.В. Мониторинг ксилотрофных базидиомицетов – фитопатогенов семечковых плодовых культур в Белгородской области // *Материалы XXI Международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и юга России»* (г. Магас, 15-18 ноября 2019 г.) / отв. ред. М. К. Дакиева. Магас, 2019. С. 42-45.

21. Головин С.Е., Романченко Т.И. Влияние дереворазрушающих грибов на долговечность деревьев яблони в связи с восстановительной обрезкой садов сверхнормативного срока использования // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2002. Т. 9. С. 303-309.

22. Сафонов М.А. Грибы, обитающие на древесине плодовых деревьев в Оренбургской области // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета*. Электронный научный журнал. 2012. N 2. С. 8-11. URL: <http://www.vestospu.ru/archive/2012/stat/safonov.html> (дата обращения: 03.05.2020)

23. Змитрович И.В., Фирсов Г.А., Бондарцева М.А., Волобуев С.В., Большаков С.Ю. Базидиомицеты – возбудители хронических гнилей деревьев Ботанического сада Петра Великого Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН: диагностика, биология, распределение по территории // *Hortus Botanicus*. 2018. N 13. С. 182-204. DOI: 10.15393/j4.art.2018.5082

24. Бондарцев А.С. Трутовые грибы Европейской части СССР и Кавказа. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 1106 с.
25. Сарычева Л.А., Светашева Т.Ю., Булгаков Т.С., Попов Е.С., Малышева В.Ф. Микобиота Липецкой области. Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2009. 287 с.
26. Волобуев С.В. Афиллофороидные грибы Орловской области: таксономический состав, распространение, экология. СПб.: Изд-во «Лань», 2015. 304 с.
27. Волобуев С.В., Большаков С.Ю. Афиллофороидные грибы Среднерусской возвышенности. 1. История изучения и некоторые новые данные // Микология и фитопатология. 2016. Т. 50. N 6. С. 335–346.
28. Бондарцев А.С. Растительные паразиты культурных и дикорастущих растений, собранные в Курской губернии летом 1901, 1903-1905 годов // Труды Императорского С.-Петербургского ботанического сада. 1906. Т. 26. N 1. С. 1-52.
29. Бондарцев А. С. Трутовики – Polyporaceae, собранные в Курской губернии в течение 1906 и 1907 годов // Лесной журнал. 1908. Т. 38. N 6. С. 750-763.
30. Бондарцев А.С., Лебедева Л.А. Грибные паразиты Воронежской губернии, собранные летом 1912 года // Материалы по микологическому обследованию России. Выпуск I. Петроград: Типография М. Меркушева, 1914. С. 1-98.
31. Брежнев И.Е. Паразитная и сапрофитная микофлора древесных и кустарниковых пород полезащитных лесных полос // Ученые записки Ленинградского государственного университета имени А. А. Жданова. 1950. Т. 134. С. 70-129.
32. Вакин А.Т. Фитопатологическое состояние дубрав Теллермановского леса // Труды Института леса АН СССР. 1954. Т. 16. С. 5-109.
33. Рябова В.П., Игнатенко О.С. Материалы по флоре макромицетов Центральнoчернозёмного заповедника // Флористические исследования в заповедниках РСФСР / отв. ред. В. А. Забродин. М., 1981. С. 124-142.
34. Барсукова Т.Н. Ксилотрофные грибы Центральнoчерноземного биосферного заповедника // Микология и фитопатология. 2000. Т. 34. N 5. С. 1-7.
35. Баранов Н.Г. Материалы к изучению агарикоидных базидиомицетов Курской области // Микология и фитопатология. 2002. Т. 36. N 5. С. 15-23.
36. Волобуев С.В. Афиллофоровые грибы государственного музея-заповедника И. С. Тургенева «Спаское-Лутовиново» (Орловская область) // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. N 6. С. 489-496.
37. Волобуев С.В. Афиллофоровые грибы лесных экосистем юго-востока Орловской области // Микология и фитопатология. 2013. Т. 47. N 4. С. 209-217.
38. Волобуев С.В., Коткова В.М., Бондарцева М.А. Новые сведения об афиллофороидных грибах национального парка «Орловское Полесье» (Орловская обл.) // Микология и фитопатология. 2013. Т. 47. N 5. С. 290-293.
39. Volobuev S., Logachev A., Mushnikov N., Okun M. New records of aphyllorphoroid fungi (Agaricomycetes, Basidiomycota) from the Les na Vorskle area of the Belgorod'e Nature Reserve (Belgorod Region, Russia) // Folia Cryptogamica Estonica. 2015. V. 52. P. 89-93. DOI: 10.12697/fce.2015.52.11
40. Волобуев С.В. Дополнение к биоте афиллофороидных грибов Центральнo-Черноземного заповедника (Курская область) // Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества. 2015. N 2. С. 3-6.
41. Большаков С.Ю., Волобуев С.В. Новые сведения об афиллофороидных грибах Ямской степи (заповедник «Белогорье», Белгородская область) // Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества. 2016. N 2. С. 18-25.
42. Сарычева Л. А. Микобиота заповедника «Галичья гора». Воронеж: ИД ВГУ, 2016. 236 с.
43. Сарычева Л. А., Стародубцева Е. А., Сапельникова Е. А. Микобиота Воронежского заповедника // Труды Воронежского государственного заповедника. Выпуск XXVIII / науч. ред. Е. А. Стародубцева. Ижевск: Принт-2, 2017. С. 7-75.
44. Volobuev S., Arzhenenko A., Bolshakov S., Shakhova N., Sarycheva L. New data on aphyllorphoroid fungi (Basidiomycota) in forest-steppe communities of the Lipetsk region, European Russia // Acta Mycologica. 2018. V. 53. Iss. 2. P. 1112. DOI: 10.5586/am.1112
45. Volobuev S.V. To the study of aphyllorphoroid fungi (Agaricomycetes, Basidiomycota) in Shebekinsky District, Belgorod Region // Разнообразие растительного мира. 2019. N 3. С. 21-25. DOI: 10.22281/2686-9713-2019-3-21-25
46. Bolshakov S.Yu., Kalinina L.B., Volobuev S.V., Rebriv Yu.A., Shiryayev A.G., Khimich Yu.R., Vlasenko V.A., Leostrin A.V., Shakhova N.V., Vlasenko A.V., Dejima T., Ezhov O.N., Zmitrovich I.V. New species for regional mycobiotas of Russia. 5. Report 2020 // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. N 6. С. 404-413. DOI: 10.31857/S0026364820060033
47. Белова Н.В., Псущева Н.В., Гачкова Е.Ю., Озерская С.М. Сохранение разнообразия базидиомицетов ex situ в специализированной коллекции культур LE (БИН) // Микология и фитопатология. 2005. Т. 39. N 2. С. 1-10.
48. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Revealing new active and biotechnologically perspective producers of oxidative and cellulolytic enzymes among pure cultures of xylophilic Agaricomycetes from the Southern Non-Chernozem zone of the European part of Russia // Current Research in Environmental & Applied Mycology. 2020. V. 10. Iss. 1. P. 113-119. DOI: 10.5943/cream/10/1/12
49. Stalpers J.A. Identification of wood-inhabiting Aphyllorphorales in pure culture // Studies in Mycology. 1978. V. 16. P. 1-248.
50. He M.-Q., Zhao R.-L., Hyde K. D., Begerow D., Kemler M., Yurkov A., McKenzie E. H. C., Raspé O., Kakishima M., Sánchez-Ramírez S., Vellinga E. C., Halling R., Papp V., Zmitrovich I. V., Buyck B., Ertz D., Wijayawardene N. N., Cui B.-K., Schoutteten N., Liu X.-Z., Li T.-H., Yao Y.-J., Zhu X.-Y., Liu A.-Q., Li G.-J., Zhang M.-Z., Ling Z.-L., Cao B., Antonín V., Boekhout T., da Silva B. D. B., De Crop E., Decock C., Dima B., Dutta A. K., Fell J. W., Geml J., Ghobad-Nejhad M., Giachini A. J., Gibertoni T. B., Gorjón S. P., Haelewaters D., He S.-H., Hodkinson B. P., Horak E., Hoshino T., Justo A., Lim Y. W., Menolli N., Mešić A., Moncalvo J.-M., Mueller G. M., Nagy L. G., Nilsson R. H., Noordeloos M., Nuytinck J., Orihara T., Ratchadawan C., Rajchenberg M., Silva-Filho A. G. S., Sulzbacher M. A., Tkalčec Z., Valenzuela R., Verbeken A., Vizzini A., Wartchow F., Wei T.-Z., Weiß M., Zhao C.-L., Kirk P. M. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota // Fungal Diversity. 2019. V. 99. Iss. 1. P. 105-367. DOI: 10.1007/s13225-019-00435-4

51. Setliff E.C. The wound pathogen *Chondrostereum purpureum*, its history and incidence on trees in North America // *Australian Journal of Botany*. 2002. V. 50. Iss. 5. P. 645-651. DOI: 10.1071/bt01058
52. Tomšovský M., Vampola P., Sedlák P., Byrtusová Z., Jankovský L. Delimitation of central and northern European species of the *Phellinus igniarius* group (Basidiomycota, Hymenochaetales) based on analysis of ITS and translation elongation factor 1 alpha DNA sequences // *Mycological Progress*. 2010. V. 9. Iss. 3. P. 431-445. DOI: 10.1007/s11557-009-0653-x
53. Shakhova N.V., Volobuev S.V. Culture characteristics and enzymatic activity of *Sarcodontia crocea* (Basidiomycota) strains collected from the Central Russian Upland // *Микология и фитопатология*. 2020. Т. 54. N 6. С. 446-451. DOI: 10.31857/S0026364820060100
54. Волобуев С.В. Афиллофороидные грибы (Basidiomycota) государственного природного биологического заказника «Верховский» (Орловская область) // *Новости систематики низших растений*. 2014. Т. 48. С. 121-129. DOI: 10.31111/nsnr/2014.48.121
55. Волобуев С.В., Бондарцева М.А. Афиллофоровые грибы (Basidiomycota) памятника природы «Урочище Головкина дубрава» (Орловская область) // *Новости систематики низших растений*. 2012. Т. 46. С. 85-91. DOI: 10.31111/nsnr/2012.46.85
56. Spirin V., Vlasák J., Niemelä T., Miettinen O. What is *Antrodia sensu stricto*? // *Mycologia*. 2013. V. 105. Iss. 6. P. 1555-1576. DOI: 10.3852/13-039
57. Spirin V., Vlasák J., Rivoire B., Kout J., Kotiranta H., Miettinen O. Studies in the *Ceriporia purpurea* group (Polyporales, Basidiomycota), with notes on similar *Ceriporia* species // *Cryptogamie, Mycologie*. 2016. V. 37. Iss. 4. P. 421-435. DOI: 10.7872/crym/v37.iss4.2016.421
58. Бондарцева М.А., Пармасто Э.Х. Определитель грибов СССР: Порядок афиллофоровые; Вып. 1. Семейства гименохетовые, лахнокладиевые, кониофоровые, щелелистниковые. Л.: Наука, 1986. 192 с.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey V. Volobuev conceived the idea, participated in the collection and processing of all type studied materials. Sergey Yu. Bolshakov participated in processing the herbaria and literature data. Natalia V. Shakhova obtained and characterized pure basidiomycete cultures. All authors wrote and revised the manuscript before its submission. 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.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей В. Волобуев, автор идеи, сбор и обработка всех типов исследованных материалов. Сергей Ю. Большаков, обработка гербарных и литературных данных. Наталия В. Шахова, получение и характеристика чистых культур базидиомицетов. Все авторы участвовали в написании и корректировке текста рукописи до его подачи в редакцию. Авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Sergey V. Volobuev / Сергей В. Волобуев <https://orcid.org/0000-0003-1217-5548>
Sergey Yu. Bolshakov / Сергей Ю. Большаков <https://orcid.org/0000-0002-6208-7792>
Natalia V. Shakhova / Наталия В. Шахова <https://orcid.org/0000-0002-8733-2168>

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.41
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-99-113

Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области)

Ольга В. Чернова¹, Ирина О. Алябина², Ольга С. Безуглова³, Юрий А. Литвинов³

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

³Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Контактное лицо

Ольга В. Чернова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН; 119071 Россия, г. Москва, Ленинский пр., 33.

Тел. +74959395587

Email ovcher@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8416-0746>

Формат цитирования

Чернова О.В., Алябина И.О., Безуглова О.С., Литвинов Ю.А. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 99-113. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-99-113

Получена 22 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 14 июля 2020 г.

Принята 5 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Оценить содержание и запасы гумуса в пахотных черноземах двух провинций почвенно-экологического районирования (Предкавказской и Южно-Русской) в пределах территории Ростовской области, а также перспективы оптимизации их гумусового состояния в современных условиях.

Материал и методы. В исследовании использована почвенная и общегеографическая информация, аккумулированная в Информационной системе Почвенно-географическая база данных Российской Федерации, база данных «Красная книга почв Ростовской области», а также переведенные в цифровую форму архивные данные почвенных обследований 1977-1995 гг. и данные последнего тура агрохимического мониторинга 2012-2017 гг.

Результаты. Показана стабилизация содержания гумуса в пахотных черноземах Предкавказской провинции на протяжении последних десятилетий, которая может объясняться снижением темпов дегумификации в условиях минимальной обработки почвы. В почвах Южно-Русской провинции среднее содержание гумуса снизилось приблизительно на 0,5% за тот же период, что может быть результатом высокой доли пропашных культур в структуре посевов в условиях эрозионноопасной территории. Современное среднее содержание гумуса в пахотных черноземах очень низкое, оно приближается к критическому уровню, ниже которого происходит снижение урожайности, несмотря на достаточное применение минеральных удобрений.

Заключение. Основные причины дегумификации почв региона – агрогенная минерализация гумуса при постоянном недостатке компенсирующих доз свежего органического материала, дефляция мелкозема с распаханых поверхностей и водная эрозия. В современных условиях для снижения интенсивности этих процессов требуется оптимизация структуры земельных угодий и структуры посевов с учетом специфических характеристик территорий.

Ключевые слова

Ростовская область, черноземы, дегумификация, запасы гумуса, мониторинг, землепользование.

The current state of the humus content of arable chernozems of the true steppes (the example of the Rostov region, Russia)

Olga V. Chernova¹, Irina O. Alyabina², Olga S. Bezuglova³ and Yurii A. Litvinov³

¹Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Principal contact

Olga V. Chernova, PhD, Senior Researcher, Severtsov Institute of Ecology and Evolution Russian Academy of Sciences; 33 Leninskiy pr., Moscow, Russia 119071. Tel. +74959395587
Email ovcher@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8416-0746>

How to cite this article

Chernova O.V., Alyabina I.O., Bezuglova O.S., Litvinov Yu.A. The current state of the humus content of arable chernozems of the true steppes (the example of the Rostov region, Russia). *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 99-113. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-99-113

Received 22 June 2020

Revised 14 July 2020

Accepted 5 September 2020

Abstract

Aim. To estimate the humus content and stocks of arable chernozems of two soil-ecological zones (Predcaucasia and Yuzhno-Russkaya) within the Rostov region, as well as the possibility of the optimization of the state of their humus under current conditions.

Material and Methods. The following data sources were used: soil and general geographic information accumulated in the Soil-geographic Database of the Russian Federation information system, the Red Book of the Rostov Region Soils database, digitised archived soil survey data of 1977-1995 and agrochemical monitoring data of 2012-2017.

Results. The stabilisation of the humus content of the arable chernozems of the Predcaucasian zone in recent decades has been demonstrated and can be explained by a decrease in the dehumification rate under minimal tillage. The average humus content in the soils of the Yuzhno-Russkaya zone decreased by approximately 0.5% during the same period, which may be caused by the high proportion of row-crops cultivated in an erosion-prone area. The current average humus content in arable chernozems is very low, it is close to the critical level, below which crop yield is decreased despite of sufficient mineral fertilizers using.

Conclusion. The main causes of soil dehumification in the region are agrogenic humus mineralization due to a constant deficit of compensating amounts of fresh organic matter, deflation of fine soil material from ploughed surfaces and water erosion. The optimisation of land use structure and crop structure, which takes into account the characteristics of these territories, is required to reduce the intensity of these processes under current conditions.

Key Words

Rostov region, chernozems, dehumification, humus stock, monitoring, land use.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время 30-50% земной поверхности изменено в результате различных видов антропогенного использования, оказывающего значительное, часто негативное, влияние на свойства почв [1 и др.]. Самый широко распространенный вид антропогенного воздействия – преобразование природных экосистем в сельскохозяйственные. Наиболее часто используемым критерием изменения качества почвы при таких преобразованиях выступают запасы органического углерода как интегральное отражение продукционной и углерод-депонирующей функций почвенного покрова. Известно, что используемые в сельском хозяйстве почвы содержат на 25-75% меньше органического вещества, чем их естественные аналоги [2]. В глобальном масштабе потери органического углерода из почвенного покрова планеты за 12 000 лет оседлой сельскохозяйственной деятельности оцениваются в 37, 75 и 116 Гт в верхних 30, 100 и 200-см слоях почв, соответственно [3]. Скорость современных потерь углерода в результате изменения характера землепользования составляет 1.6 ± 0.8 Гт (Пг) углерода в год [4]. Эти глобальные оценки характеризуются высокой неопределенностью, что обусловлено изменчивостью запасов почвенного углерода в различающихся по природным, экономическим и историко-культурным условиям регионах планеты, а также сложностью экстраполяции эмпирических данных. Поскольку разработка и реализация мероприятий по оптимизации землепользования осуществляется в приложении к конкретным территориям, к региональным оценкам предъявляются особые требования, позволяющие учесть природные и социально-экономические особенности регионов.

В максимальной степени сельскохозяйственным использованием изменены наиболее плодородные в естественном состоянии темноцветные почвы, более 80 % их площади на Земном шаре нарушено и преобразовано [5]. В России черноземы составляют основную часть пахотного фонда страны. Согласно расчетам, удельный вес черноземов в общей площади пашни России на 1996 г. составлял 52.6%, в том числе, черноземов обыкновенных – 15.1% [6]. Распашка черноземов превышает 70%, что значительно выше допустимого порога для экологически устойчивого состояния. Особенно высока распашанность черноземов европейской части страны, соответственно, процессы деградации почв, стимулированные земледельческой деятельностью, на этой территории выражены очень ярко. В Ростовской области, например, этот процент еще выше (74,4%), в то время как для степных ландшафтов он не должен превышать 65% [7].

Одной из основных форм антропогенной деградации почв является дегумусирование, которое проявляется в снижении содержания и ухудшении качества почвенного органического вещества, а также в уменьшении мощности гумусированной толщи. Оценить объем деградационных изменений гумусового состояния конкретной почвы непросто, поскольку в

большинстве случаев исходное состояние не известно, а выбор аналогичной ненарушенной (эталонной) почвы субъективен и достаточно сложен, особенно в условиях высокой антропогенной измененности территории. В большинстве случаев такие исследования проводятся на примере единичных объектов (разрезов, участков), а полученные результаты экстраполируются на обширные территории, в большей или меньшей степени аналогичные по природно-хозяйственным характеристикам. Преобладание таких подходов обусловлено малой доступностью архивной информации, в большинстве случаев не систематизированной, сохраняющейся на бумажных носителях, а во многих случаях и утерянной.

За последние годы применение информационных технологий для обработки данных и инвентаризации почв, осуществления мониторинга состояния почвенного покрова и принятия управленческих решений в целях рационального использования земельных ресурсов стало первостепенной задачей административных органов разного уровня и научного сообщества в области сельского хозяйства. В России создана и функционирует Информационная система на основе Почвенно-географической базы данных Российской Федерации (ИС ПГБД РФ), представляющая собой программное средство и Интернет-ресурс [8-9]. В ИС ПГБД объединяются разнородные (по тематике, масштабу, источнику и времени) данные, для работы с которыми используются технологии больших данных; подсистемы ИС ПГБД функционируют за счёт применения стандартов (GeoRSS, WFS, WMS, GeoJSON), основанных на структурированном гипертекстовом представлении пространственно-атрибутивной информации в сети Интернет, с использованием ГИС-серверов и SQL-серверов баз данных [8-11].

Формирование единого фонда данных в нашей стране осуществляется в соответствии с «Положением о государственном экологическом мониторинге и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга» (Постановление Правительства РФ от 9 августа 2013 г. № 681) на основе государственных информационных ресурсов с использованием современных информационных технологий, включая геоинформационные технологии. Государственный мониторинг земель сельскохозяйственного назначения находится в компетенции Министерства сельского хозяйства РФ, его осуществляют 110 центров и станций Агрохимической службы Минсельхоза РФ, расположенные на сельскохозяйственных землях страны. Формируемые Агрохимической службой информационные ресурсы о почвах состоят из: почвенных карт в границах хозяйств масштаба 1:5 000 – 1:25 000; баз данных регулярных почвенных обследований; архивных данных почвенных обследований за период более 50 лет. Интеграция этой информации в распределённую ИС ПГБД позволяет оперативно решать задачи мониторинга состояния почвенного покрова, государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения, управления зе-

мельными ресурсами на региональном и федеральном уровнях.

Одним из первых субъектов РФ, вовлеченных в ИС ПГБД РФ является Ростовская область. Работы по сбору и систематизации архивных материалов начались в 2002 г., в настоящее время массивы почвенной и общегеографической информации, характеризующие территорию Ростовской области, сосредоточены и обрабатываются в Южном федеральном университете, Государственном центре агрохимической службы «Ростовский» и в Почвенном дата-центре МГУ. Наличие большого количества цифровых данных, включенных в ИС ПГБД, позволило оценить состояние и динамику гумусированности пахотных почв Ростовской области.

Целью работы является:

- оценка гумусированности пахотных черноземов двух почвенно-экологических провинций – Предкавказской и Южно-Русской – зоны обыкновенных и южных черноземов степи в пределах территории Ростовской области;
- анализ динамики содержания и запасов гумуса в черноземах Ростовской области при сельскохозяйственном использовании;
- оценка перспектив сохранения и оптимизации гумусового состояния пахотных черноземов юга России в современных условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ростовская область характеризуется умеренно континентальным климатом с мягкой зимой и жарким летом, в направлении на юго-восток климат становится более континентальным. Среднегодовая температура воздуха в Ростове-на-Дону +9,9°C, климат засушливый с $K_{увл}=0,6-0,7$. Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными и южными с преобладанием карбонатных родов, к юго-востоку области они сменяются различными каштановыми почвами, часто солонцеватыми.

Сельскохозяйственное освоение территории современной Ростовской области началось в последние десятилетия XVIII в., к 70-м годам XIX в. пашнями было занято почти 20% площади, далее степень распаханности территории продолжала расти: в течение 40-50 лет – значительно, в последующем – более постепенно, и к 70-м гг. XX в. превысила 55% [12]. В настоящее время, согласно данным Росстата на 2019 г., сельскохозяйственные угодья занимают 87,3% территории, причем на пашню приходится 69,9% от этой площади, или 59% общей площади области. Для сравнения: в 1967 г. – 85, 68 и 58%, соответственно. В некоторых районах, например, в Зерноградском, к сельскохозяйственным землям относится более 90% площади, почти 90% которых используется под пашню. В области практически полностью распаханно все пространство, занятое южными и обыкновенными черноземами. Естественная растительность настоящих степей, покрывающая в прошлом большую часть территории, практически не сохранилась, остатки ее можно

встретить только по склонам и днищам отдельных балочных систем.

Наши исследования были сосредоточены на рассмотрении почвенного покрова двух провинций почвенно-экологического районирования (ПЭР) [13], относящихся к зоне обыкновенных и южных черноземов степи: Предкавказской черноземов обыкновенных и южных мицелярно-карбонатных мощных и сверхмощных малогумусных и Южно-Русской черноземов обыкновенных среднемощных малогумусных и южных средне- и маломощных малогумусных и слабогумусированных (рис. 1). Провинции несколько различаются по климатическим параметрам, характеристикам рельефа, почвообразующих пород и истории освоения; в Предкавказской провинции преобладают мощные и сверхмощные черноземы, а черноземы Южно-Русской провинции в большинстве характеризуются меньшей мощностью (средне- и маломощные).

В исследовании была использована следующая почвенная и общегеографическая информация, аккумулированная в ИС ПГБД РФ:

- векторные версии Почвенных карт Ростовской области М:1:500 000 (1939 и 1985 гг.), цифровая почвенная карта области, составленная на основе векторизованных карт административных районов (М:1:100 000); векторизованные почвенные карты отдельных хозяйств и районов (М:1:10 000, 1:25 000);
- занесенные в ПГБД РФ описания и аналитические характеристики опорных разрезов из отчетов регулярных почвенных обследований хозяйств Ростовской области, проведенных НИИ ЮжГИПРОзем в 1977-1995 гг.;
- информация о показателях почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области по 9 турам агрохимического обследования, выполненных в 1964-2020 гг.;
- база данных «Красная книга почв Ростовской области», созданная по результатам обследования почв особо охраняемых природных территорий (ООПТ);
- фрагмент Карты почвенно-экологического районирования Российской Федерации (М: 1:2 500 000) [13] на территорию Ростовской области.

Наряду с этим использовали фрагмент оцифрованной Карты геоморфологического районирования СССР (М: 1:8 000 000) и параметры рельефа геоморфологических районов на исследуемую территорию [14; 15].

Основные массивы использованной почвенной информации относятся к административным районам: Зерноградскому (Предкавказская провинция), Миллеровскому и Чертковскому (Южно-Русская провинция). Территории перечисленных районов характеризуются типичным для соответствующих провинций почвенным покровом и обеспечены максимальными объемами почвенной информации, переведенными в цифровую форму и пригодными для корректной обработки.

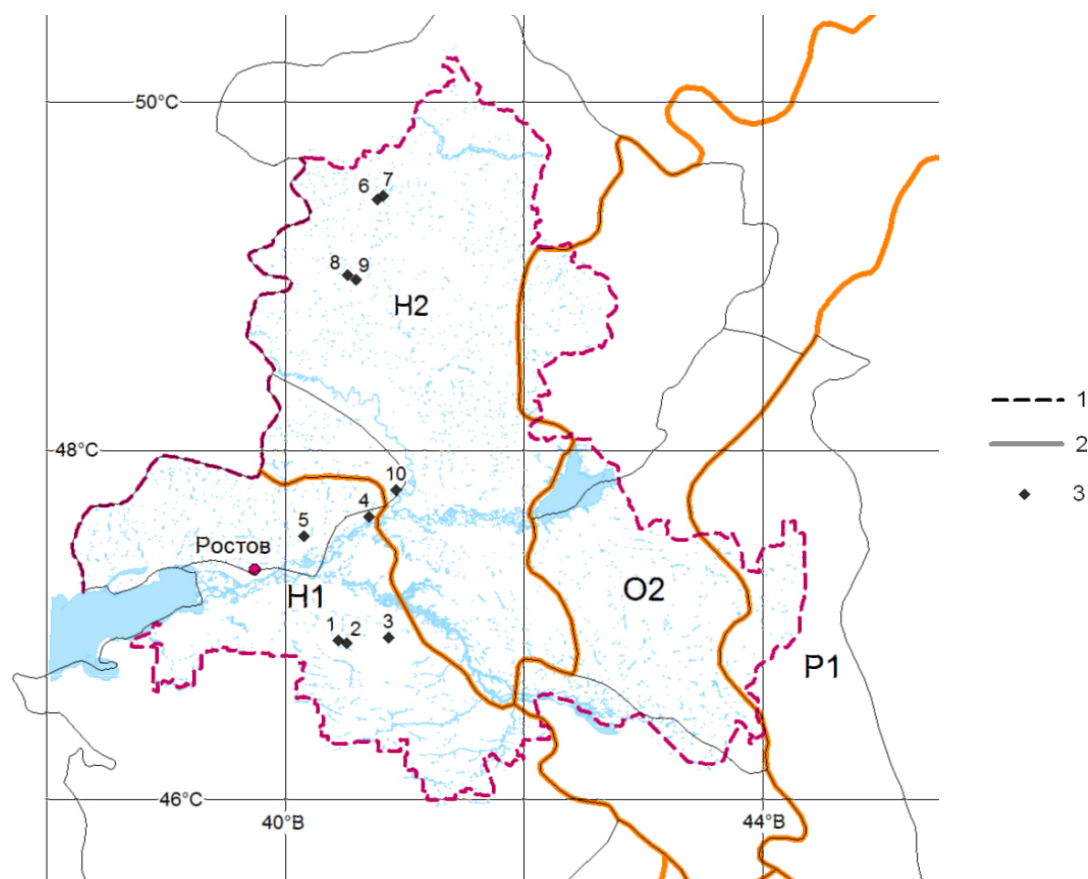


Рисунок 1. Фрагмент карты Почвенно-экологического районирования РФ на территорию Ростовской области и расположение разрезов черноземов в ООПТ

Условные обозначения: 1 – граница Ростовской области; 2 – границы провинций ПЭР: H1 – Предкавказская, H2 – Южно-Русская (полные названия провинций в тексте); 3 – разрезы черноземов ООПТ: обыкновенные легкогоглинистые: 1 – среднесмытый, 2 – слабосмытый (Хороли); 3 – обыкновенный тяжелосуглинистый слабосмытый (Разнотравно-типчаково-ковыльная степь); 4 – обыкновенный тяжелосуглинистый (Раздорские склоны); 5 – обыкновенный тяжелосуглинистый целинный (Персиановская степь); южные легкогоглинистые: 6 – среднесмытый, 7 – неполноразвитый (Разнотравно-типчаково-ковыльная степь); 8, 9 – южные легкогоглинистые целинные (Фоминская дача); 10 – слабообразованная супесчаная почва (Кундрюченские пески)

Figure 1. Section of map of soil-ecological zoning of the Russian Federation for the Rostov region and profiles of chernozem locations in nature-protected areas

Legend: 1 – border of Rostov region; 2 – boundary of the soil- geographical zones: H1 – Ciscaucasia, H2 – Yuzhno-Russkaya; 3 – chernozem profiles: ordinary clay chernozems: 1 – eroded, 2 – slightly eroded (Horoli); 3 – ordinary clay loamy slightly eroded chernozem (herbaceous-fescue-feather grass-steppe); 4 – ordinary clay loamy chernozem (Razdorskie skloni); 5 – ordinary clay loamy virgin chernozem (Persianovskaya zapovednaya step); southern loamy chernozems: 6 – medium-deep, 7 – poorly developed (herbaceous-fescue-feather grass-steppe); 8, 9 – southern clay virgin chernozems (Fominskaya dacha); primitive sandy loamy soil (Kundryuchenskie peski)

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гумусированность пахотных черноземов

Определение содержания органического углерода в пахотном слое почвы, мощность которого в Ростовской области составляет 25-27 см, входит в перечень обязательных анализов при ведении агрохимического мониторинга сельскохозяйственных земель. Обследования проводятся регулярно, очередной тур обследования обычно занимает 5 лет.

Проведенный анализ динамики усредненных показателей гумусированности почв по природно-сельскохозяйственным зонам Ростовской области показал, что начиная с 2000-х годов содержание гумуса практически не изменяется, по данным последнего тура обследований оно составляет 3,1% [16; 17]. Согласно классическим представлениям, распашка це-

линных почв сопровождается на начальном этапе усиленной минерализацией легкоразлагаемых компонентов почвенного органического вещества, приводя к резкому снижению его содержания в обрабатываемой почве. Со временем почва переходит в относительно стационарное состояние, когда процесс минерализации гумуса замедляется и устанавливается квазиравновесие в новых агроэкологических условиях. Авторы исследования связывают стабильность усредненных показателей содержания гумуса именно с достижением такого равновесия в существующих биоклиматических и производственных условиях.

Наши расчеты с использованием данных последнего тура агрохимического мониторинга показали, что содержание гумуса в пахотных горизонтах почв обеих провинций несколько выше, чем в среднем по

области (табл. 1). Гумусированность почв Южно-Русской провинции достоверно ниже и характеризуется более высокой изменчивостью по сравнению с Предкавказской, что может быть обусловлено как видовыми различиями доминирующих почв (в концепции Классификации и диагностики почв СССР, 1977 [18]) и большей гомогенностью почвенного покрова Предкавказской провинции, так и разной динамикой гумусирования в процессе сельскохозяйственного использования.

Далее оценено содержание гумуса в пахотных горизонтах почв опорных разрезов на основе аналитических данных из отчетов обследований почвенного покрова сельскохозяйственных земель, проводившихся в Ростовской области в 70-90-е годы XX в. (табл. 1). Отмечено сходство современных показателей гумусированности с данными 30-35-летней давности для почв Предкавказской провинции и заметное их снижение для Южно-Русской провинции (табл. 1).

Таблица 1. Описательная статистика содержания гумуса в пахотных горизонтах почв Предкавказской и Южно-Русской почвенно-экологических провинций

Table 1. Descriptive statistics of data on humus content of the arable soil horizons in Predcaucasia and Yuzhno-Russkaya soil-ecological zones

Провинции ПЭР, почвы Soil-ecological zones, soils		Среднее арифметическое $\pm$ ошибка среднего Mean $\pm$ Error of the mean	Размах значений Minimum – Maximum	Границы типичных значений (1-3 квантили) Lower quartile – Upper quartile	Стандартное отклонение Standard deviation	N Sample size	V, % Coefficients of variation
Последнее агрохимическое обследование (2012-2017 гг.) Recent agrochemical monitoring data (2012-2017)							
Предкавказская Ciscaucasia		4,2 $\pm$ 0,007	2,6–5,1	4,0–5,0	0,346	2563	8
Южно-Русская Yuzhno-Russkaya		3,6 $\pm$ 0,016	0,7–5,7	3,1–4,1	0,830	2832	23
Опорные разрезы почв без разделения (обследования 80-90-х годов XX в.) Reference soil profiles without division (survey data of the 80s-90s of the 20 th century)							
Предкавказская Ciscaucasia		4,3 $\pm$ 0,052	3,1–5,8	3,9–4,6	0,539	106	13
Южно-Русская Yuzhno-Russkaya		4,5 $\pm$ 0,195	1,8–6,4	4,1–5,3	1,169	39	26
Опорные разрезы черноземов (обследования 80-90-х годов XX в.) Reference chernozem profiles (surveys data of the 80s-90s of the 20 th century)							
Предкавказская, черноземы обыкновенные Ciscaucasia, ordinary chernozems	Мощные Deep	4,1 $\pm$ 0,044	3,5–4,8	3,9–4,4	0,353	34	9
	Среднемощные Middle-deep	4,0 $\pm$ 0,067	3,1–5,0	3,6–4,3	0,435	40	11
Южно-Русская, черноземы южные Yuzhno-Russkaya, southern chernozems	Тяжелосуглинистые, глинистые Clay loamy, clay	4,7 $\pm$ 0,118	2,8–6,4	4,2–5,3	0,881	32	19
	Супесчаные, легкосуглинистые Sandy-loamy, loamy	1,9	1,4–2,3			4	

Чтобы минимизировать влияние неоднородного состава почвенного покрова на результаты расчетов, из общих выборок были удалены данные, относящиеся к сопутствующим почвам (лугово-черноземные, черноземно-луговые и луговые почвы – в Предкавказской провинции, солонцеватые – в Южно-Русской), а оставшиеся выборки поделены на относительно однородные группы: по мощности гумусового горизонта или по гранулометрическому составу. Расчеты показали, что гумусированность пахотных горизонтов черноземов обыкновенных Предкавказской провинции незначи-

тельно изменилась за последние 35-40 лет. Несколько более высокие современные показатели, рассчитанные по всему массиву данных агрохимических обследований, обусловлены, по-видимому, значительным участием в почвенном покрове региона почв с дополнительным увлажнением, часто более гумусированных, чем черноземы. Гумусированность черноземов Южно-Русской провинции за тот же период достоверно снизилась: средние значения и даже 1-ый квантиль значений содержания гумуса в тяжелых по гранулометрическому составу черноземах 35-летней давности превы-

шают 3-ий квартиль массива значений последнего тура агрохимических обследований. Массив данных обследований легких по гранулометрическому составу почв недостаточен для корректных расчетов.

Обсуждение стабилизации содержания гумуса сельскохозяйственных почв Ростовской области требует оценить уровень их квазиравновесной гумусированности. В почвоведении существует понятия «критического уровня» [19] или «порогового содержания» [20; 21] органического вещества в почве, соответствующие уровню, ниже которого проявляются признаки деградации и ухудшения качества почвы. Почва определенного типа и гранулометрического состава характеризуется своим критическим уровнем содержания органического вещества.

Согласно предложенным Б.М. Когутом [22] градациям пахотных почв Российской Федерации по степени их гумусированности, тяжелосуглинистые и глинистые обыкновенные черноземы, абсолютно преобладающие в почвенном покрове Предкавказской про-

винции, попадают в первый, минимальный по содержанию гумуса класс (табл. 1, 2). Согласно представлениям автора, первый класс с содержанием гумуса «меньше минимального» включает в себя почвы, частично утратившие инертную компоненту гумуса в результате эрозионного выноса почвенных частиц. Черноземы Предкавказской провинции изначально относились к малогумусным, что обусловлено особенностями климата, содержание гумуса в них составляло в начале прошлого столетия около 6% [23]. Соотношение вкладов водной и ветровой эрозии в регионе сложно оценить. Однако водная эрозия в регионе морфологически ярко выражена только на склонах балочных систем и по берегам рек, а процессы дефляции, по видимому, охватывают всю распаханную практически полностью территорию провинции. Поэтому снижение содержания гумуса, в основном, обусловлено повышенной агрогенной минерализацией, хроническим недовосполнением вынесенных с урожаем элементов плодородия и развитием ветровой эрозии.

Таблица 2. Градации пахотных черноземов по содержанию гумуса, % [22]

Table 2. Gradations of humus content in chernozems, % [22]

Почвы Soils	Гранулометрический состав* Texture	Классы по степени гумусированности Gradations of humus content			
		Меньше минимального содержания гумуса Less than minimum humus content	Слабогумусированные Low humus	Среднегумусированные Medium humus	Сильногумусированные High humus
Черноземы южные Southern chernozems	A	<1.6–2.5	<2.5–3.5	<3.5–4.5	>4.5
	B	<2.0–3.0	<3.0–4.0	<4.0–5.0	>5.0
	B	<3.0–4.0	<4.0–5.0	<5.0–6.0	>6.0
Черноземы обыкновенные Ordinary chernozems	A	<3.0–4.0	<4.0–5.0	<5.0–6.0	>6.0
	B	<4.0–5.0	<5.0–6.0	<6.0–7.0	>7.0
	B	<5.0–6.0	<6.0–7.0	<7.0–8.0	>8.0

Примечание: *А – песчаные и супесчаные; Б – легко- и среднесуглинистые; В – тяжелосуглинистые и глинистые
Note: *A – Sandy and sandy loamy; B – Silty/clay loamy; B – Loamy clay and clay

Класс «слабогумусированные» включает почвы, в значительной степени утратившие трансформируемую часть органического вещества в результате минерализации. Усредненные показатели содержания гумуса в южных черноземах Южно-Русской провинции к 80-90-м гг. XX в. (табл. 1) находились на уровне градаций «минимальное содержание» и «слабогумусированные», учитывая, что часть пахотного фонда региона представлена почвами супесчаного, легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава (табл. 1, 2). Гумусированность почв Южно-Русской провинции, в отличие от Предкавказской, снижалась: за последние 30-35 лет среднее уменьшение содержания гумуса в почвах Северо-Западной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области – типичной части территории Южно-Русской провинции – превысило 0,5% [17]. Не исключено, что часть пахотного фонда региона перешла минимальную по содержанию гумуса градацию.

Распределение гумуса по профилям пахотных и естественных черноземов

Для оценки потери гумуса в пахотных черноземах области логично было бы сравнить их с показателями ненарушенных аналогов. К сожалению, в пределах Ростовской области практически отсутствуют участки с ненарушенными черноземами под естественной или минимально нарушенной растительностью, большая часть таких территорий приурочена к овражно-балочным системам. В рамках работы над Красной книгой почв Ростовской области обследовали почвенный покров ООПТ области, особое внимание уделяли описанию и обследованию черноземов под естественной и старозалежной растительностью [24]. Полученные материалы аккумулированы в базе данных «Красная книга почв Ростовской области», их использовали для сравнения распределения гумуса в черноземах ООПТ с таковым в опорных разрезах аналогичных па-

хотных черноземов по данным обследований 80-90-х годов XX в. (рис. 2).

Распределение гумуса по профилям пахотных черноземов представлено без дифференциации разрезов по гранулометрическому составу и мощности. Однако легкие по гранулометрическому составу черноземы Южно-Русской провинции четко отличаются от тяжелых разновидностей низким содержанием гумуса и более равномерным его распределением по профилям (рис. 2Б). Б.М. Когут [25] на основании обобщения эмпирических данных показано, что минимальное содержание органического вещества в пахотном слое черноземов (в условиях, когда в почву не поступают

растительные остатки и она в течение длительного времени обрабатывается) приближается к его содержанию в 30-50 см слое. Именно такая картина гумусированности наблюдается в подавляющем большинстве пахотных черноземов Ростовской области, согласно данным обследований 80-90-х гг. (табл. 1, рис. 2). Таким образом, легкоразлагаемая часть органического вещества в пахотном слое черноземов области была полностью минерализована уже к 90-м гг. XX в., по-видимому, этим фактом объясняется отмечаемая в последние десятилетия стабилизация содержания гумуса.

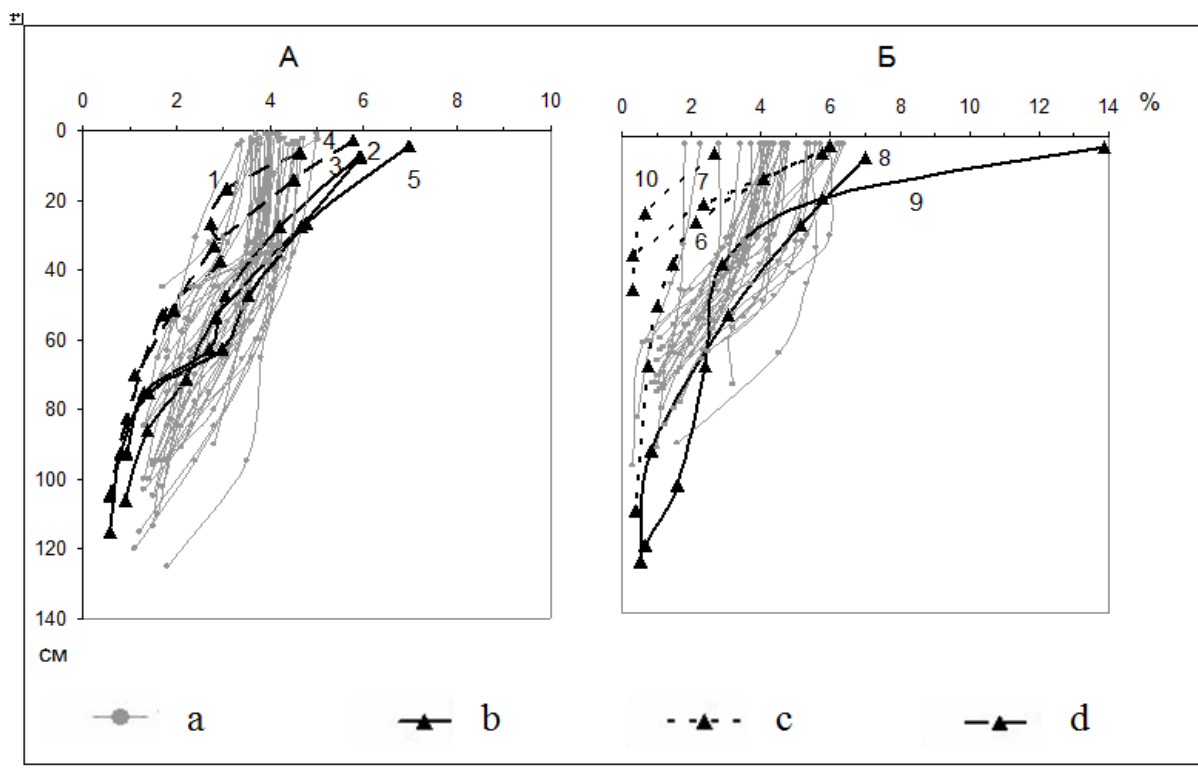


Рисунок 2. Распределение гумуса по профилям пахотных и естественных черноземов Ростовской области

Условные обозначения: провинции: А – Предкавказская, Б – Южно-Русская; черноземы:

а – пахотные; б, с, d – целинные и старозалежные в пределах ООПТ, в том числе:

б – наименее нарушенные тяжелого гранулометрического состава, с – супесчаного, легкосуглинистого гранулометрического состава, d – с признаками эрозии;

Разрезы черноземов ООПТ – условные обозначения к рисунку 1

Figure 2. Humus distribution in profiles of arable and natural chernozems of the Rostov region

Legend: soil-geographical provinces: А – Ciscaucasia, Б – Yuzhno-Russkaya; chernozems:

а – arable; б, с, d – virgin and abandoned lands in protected areas, including: б – natural,

clay and silty, с – sandy and loamy, d – eroded; chernozem profiles in protected areas – legend for figure 1

Гумусированность поверхностных горизонтов черноземов ООПТ выше, чем пахотных аналогов, причем максимальные показатели (более 7%) отмечены в тяжелых по гранулометрическому составу целинных (не распахивались более 100 лет) черноземах под лесной и степной растительностью (рис. 2, pp. 5, 8, 9.). Положительный эффект воздействия залежного режима на восстановление гумусового состояния черноземов отчетливо проявляется при сравнении характеристик пахотного обыкновенного чернозема, исследованного в 1983 г., с почвой в залежном режиме на ООПТ «Хороли», разрез которой был заложен в 2015 г. в точке с практически теми же координатами (р. 2). Содержание органическо-

го вещества в поверхностном слое этой почвы за 25 лет залежного режима выросло на 1,5% [24].

В нижней части профилей (ниже 35-45 см) гумусированность пахотных, залежных и целинных черноземов внутри каждой из рассмотренных провинций сходны, что позволяет считать сельскохозяйственное воздействие на органическое вещество в этой части профиля минимальным.

Запасы гумуса в пахотных и естественных черноземах

Известно, что запасы почвенного органического вещества, в отличие от его содержания, дают более точное

представление об истинных масштабах потерь или накопления гумуса в результате сельскохозяйственного использования [26]. По запасам гумуса в различных толщах почвы (0-25, 25-50 и 50-100 см), сравнивали пахотные черноземы (результаты обследований 80-90-х гг. XX в.) с целинными и залежными черноземами ООПТ, обследованными в 2015-2018 гг. Поскольку подобрать точные аналоги пахотных и нарушенных черноземов не удалось, были проанализированы результаты статистической обработки относительно однородных массивов данных по пахотным черноземам (полнопрофильные суглинистые и легкосуглинистые без признаков дополнительного увлажнения и осолонцевания) в сравнении с результатами обследований единичных разрезов ООПТ, отдельно для

территорий Предкавказской и Южно-Русской провинций.

Предкавказская провинция

Массив данных по черноземам Предкавказской провинции достаточно однороден, поэтому закономерности изменения гумусированности при сельскохозяйственном использовании проследить несложно. В целинных и залежных незероэродированных почвах по сравнению с пахотными отмечены более высокие запасы органического вещества в верхних горизонтах (0-25; 25-50 см). На глубине 50-100 см значения выравниваются, причем запасы гумуса в черноземах ООПТ оказались ниже усредненных показателей, характерных для пахотных почв (табл. 3).

Таблица 3. Запасы гумуса в черноземах Предкавказской провинции, т/га

Table 3. Humus stocks (t ha⁻¹) in chernozems of the Predcaucasia zone

Параметры Parameters	Пахотные (1975-1990 гг.), n=74 Arable (1975-1990)	Почвы ООПТ Soils in protected areas		
		Целинные (разрез 5) Virgin (profile 5)	Залежные (разрезы 2, 3) Abandoned lands (profiles 2, 3)	Залежные эродированные (разрезы 1, 4) Abandoned lands, eroded (profiles 1, 4)
0-25 см / cm				
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	110±1.3	148	123, 114	94, 137
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	103–118			
25-50 см / cm				
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	104±1.7	132	118, 103	81, 74
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	95–112			
50-100 см / cm				
Среднее арифметическое ± ошибка среднего/ индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	149±6.3	143	127, 109	77, 78
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	121–178			

Считая гумусированность чернозема в нижней части профиля (ниже 50 см) унаследованной от естественной почвы, можно предположить, что в настоящее время в

пределах ООПТ Ростовской области в целинном (и залежном) состоянии сохраняются не самые лучшие представители черноземов провинции (рис. 1, 2; табл.

3; pp. 2, 3, 5). Не исключено, что до начала распашки значительная часть черноземов региона характеризовалась более высокой гумусированностью, чем почвы современных охраняемых территорий.

В залежных почвах с выраженными признаками эрозии (рис. 1, 2; табл. 3; p. 1, 4) запасы гумуса во всех горизонтах и в профиле в целом ниже, чем в остальных целинных и пахотных почвах, лишь слой 0-25 см может характеризоваться повышенной гумусированностью (например, p. 4). То есть, переводение в залежный режим почв, заметно деградированных в результате водной эрозии, способствует повышению запасов органического вещества в поверхностных горизонтах, но не позволяет восстановить его запасы до показателей, сравнимых с целинными и старозалежными почвами.

Таким образом, расчеты показали, что за 50-60 лет распашки (с 20-30-х по 80-90-е гг. XX в.) черноземы Ростовской области в пределах Предкавказской провинции утратили 25-40% гумуса из слоя 0-25 см и 15-35% – из слоя 25-50 см, что составило более 65 т/га из слоя почвы 0-50 см или в среднем 110 г/м²/год. Эти показатели в два раза превышают ежегодные минерализационные потери гумуса в обыкновенных черноземах, оцениваемые А.В. Смагиным в 40-60 г/м²/год [27]. По-видимому, по меньшей мере, половина общего снижения запасов гумуса в почвах региона обусловлена процессами эрозии. Часть территории Предкавказской провинции в пределах Ростовской области практически целиком расположена в пределах Ейско-Сальского геоморфологического района. Эта эрозионно-аккумулятивная лёссовая равнина при глубине расчленения 20-70 м и абсолютных высотах до 140 м почти полностью распаханна, что позволяет основными причинами дегумификации почв считать следующие процессы: агрогенную минерализацию гумуса при постоянном недостатке компенсирующих доз свежего органического материала, дефляцию мелкозема с обширных распаханых поверхностей, многолетнюю слабо выраженную водную эрозию на выровненной пашне и более активную – на крутых склонах. Мы полагаем, что вклад перечисленных процессов в дегумификацию почв в пределах рассмотренной территории снижается в указанном порядке.

На протяжении последних 70-80 лет территория Предкавказской провинции в пределах Ростовской области характеризуется крайне высокой степенью распаханности. По состоянию на 2006 г. пашня в различных административных районах занимает 67-84% площади, на сенокосы и пастбища приходится 8-12%, а лесными и кустарниковыми насаждениями, включая защитные, покрыто лишь 3-4% общей площади [28]. Для сравнения, параметры пространственной структуры землепользования степной зоны, обеспечивающие устойчивое функционирование агроландшафтов, следующие: доля лесопокрываемых площадей – не менее 10-15%, пашни – не более 60% общей площади; а кормовые угодья и лесозащитные полосы должны занимать не менее 30 и 4-5% от площади пашни, соответственно [29]. Региональным экологическим нормативом оптимального соотношения площадей, отведенных под

пашни и пастбища, ростовскими специалистами признается соотношение 55/32 [30]. Таким образом, современная структура землепользования на территории Предкавказской провинции в пределах Ростовской области не может обеспечить устойчивое функционирование агроландшафтов региона.

Южно-Русская провинция

Почвенный покров провинции неоднороден, территория характеризуется разнообразием геоморфологических условий и почвообразующих пород, что затрудняет интерпретацию полученных результатов, кроме того, исследованные целинные представители южных черноземов провинции сохраняются под лесной растительной ассоциацией, что обуславливает не типичное профильное распределение гумуса в почвах (рис. 2; pp. 8, 9). В верхнем слое (0-25 см) целинных и залежных черноземов ООПТ (табл. 4; pp. 6, 8, 9) отмечены более высокие запасы гумуса по сравнению со средними показателями пахотных почв. В нижней части профилей целинных южных черноземов под лесной растительностью (pp. 8, 9) запасы гумуса выше, а в залежном легкосуглинистом (pp. 6) – ниже, чем усредненные параметры пахотных почв (табл. 4).

Согласно ориентировочным оценкам, пахотные черноземы провинции за период сельскохозяйственного использования (к 80-90-х гг. XX в) утратили 15-30% гумуса из верхнего 25-см слоя почвы и до 20% из слоя 25-50 см, что составляет около 40 т/га, или в среднем 65 г/м²/год. Учитывая, что аналитические характеристики пахотных почв получены 30-35 лет назад, а за прошедшие годы содержание гумуса в пахотных почвах снизилось приблизительно на 0,5%, к настоящему времени общие потери гумуса оказываются несколько выше. Таким образом, расчеты показали, что потери органического вещества пахотных черноземов Южно-Русской провинции оказались менее значительны по сравнению с черноземами Предкавказской провинции, несмотря на длительный период активного сельскохозяйственного использования территории (с конца XVIII в.) и низкие усредненные показатели гумусированности почв. В настоящее время в различных административных районах РО в пределах Южно-Русской провинции пашня занимает 53-58% площади, на сенокосы и пастбища и покрытые лесными насаждениями территории приходится 26-35 и 7-8% общей площади, соответственно [28], по-видимому, такая структура земельных угодий, приближающаяся к оптимальной для степных территорий, сдерживает интенсивность процессов дегумификации почв региона.

Вместе с тем средняя скорость снижения запасов гумуса в черноземах провинции несколько превышает ориентировочные оценки интенсивности его минерализационных потерь, что позволяет предполагать вклад в дегумификацию процессов эрозии. В пределах возвышенных волнисто-увалистых и грядово-увалистых эрозионных равнин Южно-Русской провинции высокая выраженность водной эрозии весьма вероятна. Большая часть территории провинции находится в границах Придонецкого (южный склон Донской гряды с увалистым долинно-балочным расчленением) и Калачского (возвышенность с интенсивно расчлененным овражно-балочным рельефом) геоморфологических районов.

Параметры рельефа – глубина расчленения и абсолютные высоты – составляют здесь, соответственно, 50-75 м, 150-200 м для Придонецкого района и 100-150 м, 200-240 м для Калачского. По-видимому, основными причинами дегумификации почв региона являются минерализация гумуса и водная эрозия, интенсивность которой повышается при возрастании в посевах доли пропашных культур, в частности, подсолнечника [7].

В условиях выявленного критически низкого содержания гумуса в пахотных черноземах РО поддержание плодородия почв становится особенно актуальным. Поскольку внесение высоких доз органических удобрений в регионе практически сплошной распашки реализовать очень сложно, наиболее перспективным способом повышения гумусированности почв представляется оптимизация структуры посевов.

Таблица 4. Запасы гумуса в средне- и тяжелосуглинистых черноземах Южно-Русской провинции, т/га

Table 4. Humus stocks (t ha⁻¹) in silty/clay loamy chernozems of the Yuzhno-Russkaya zone

Параметры Parameters	Пахотные (1980-1990 гг.) n=32 Arable (1980-1990)	Почвы ООПТ Soils in protected areas	
		Целинные (разрезы 8, 9) Virgin (profiles 8, 9)	Залежные (разрез 6) Abandoned lands (profile 6)
0-25 см / cm			
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	130±3.3	168, 151	142
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	106–151		
25-50 см / cm			
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	107±3.2	130, 88	63
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	87–127		
50-100 см / cm			
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	82±3.6	105, 145	49
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	54–103		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получение большого объема разновременной и разнородной пространственно-атрибутивной информации, аккумулированной в цифровой форме в объединенных в единую систему почвенных дата-центрах, позволило оценить и сравнить актуальную гумусированность и снижение запасов гумуса в пахотных черноземах Ростовской области в пределах двух провинций ПЭР: Предкавказской черноземов обыкновенных и южных мицелярно-карбонатных мощных и сверхмощных малогумусных и Южно-Русской черноземов обыкновенных среднемощных малогумусных и южных средне- и маломощных малогумусных и слабогумусированных.

Показано относительно устойчивое содержание гумуса в пахотных черноземах Предкавказской провинции на протяжении последних десятилетий, которое может объясняться снижением темпов дегумификации в условиях минимальной обработки почвы. Выявлено, что в почвах Южно-Русской провинции среднее содержание гумуса за этот же период снизилось приблизительно на 0,5%, что может быть результатом высокой доли пропашных культур в структуре посевов в условиях эрозионноопасной территории.

Отмеченная при агрохимическом мониторинге стабилизация среднего содержания гумуса в пахотных почвах ряда регионов области вызывает сдержанный

оптимизм, поскольку корректные расчеты для черноземов показали, что уровень стабилизации очень низок, он приближается, а в некоторых случаях уже достиг критического для черноземов показателя, ниже которого происходит снижение урожайности, несмотря на достаточное применение минеральных удобрений.

В условиях выявленного критически низкого содержания гумуса актуально внесение высоких доз органических удобрений для компенсации минерализационных потерь гумуса, а также предотвращение выноса почвенного материала при водной эрозии и дефляции. Анализ особенностей почвообразования, структуры землепользования и динамики дегумификации пахотных черноземов двух рассмотренных провинций ПЭР в пределах Ростовской области позволил наметить основные подходы к повышению общей экологической устойчивости регионов и решению проблемы дегумификации пахотных черноземов настоящих степей с учетом специфических характеристик территорий.

Внесение высоких компенсирующих доз свежего органического материала для восполнения потерь легкоразлагаемых компонентов гумуса актуально для пахотных почв всей территории РО. Поскольку черноземы Ростовской области характеризуются очень высокой степенью распахи, применение органических удобрений в нужных количествах экономически затратно и организационно сложно, более реальным способом повышения поступления свежего органического материала в пахотные почвы является корректировка структуры посевных площадей, предусматривающая поступление в почвы компенсирующих доз свежего органического вещества (возделывание сидератов, многолетних трав).

Для территории Предкавказской провинции с крайне неблагоприятной структурой земельных угодий также актуальна оптимизация землепользования, включая повышение доли пастбищ и сенокосов за счет пашни, повышение контурности ландшафта, восстановление и реконструкция деградированных, а также создание новых полевых насаждений и увеличение количества и размеров участков восстановленной растительности. Широкомасштабный вывод земель из сельскохозяйственного использования в регионе невозможен по экономическим соображениям, но оптимизация структуры сельскохозяйственных земель повысит дефляционную устойчивость территории и будет способствовать регулированию водного режима.

Особенности геоморфологии Южно-Русской провинции, а также значительное участие в почвенном покрове неполноразвитых и маломощных почв среднего и легкого гранулометрического состава предопределяют высокую вероятность проявления процессов водной эрозии. При относительно благоприятной для степных регионов структуре земельных угодий этой территории и продолжающейся дегумификации пахотных почв, по-видимому, основное внимание следует сконцентрировать на изменении структуры, плана размещения сельскохозяйственных насаждений и проведении агротехнических мероприятий, преследующих целью снижение интенсивности водной эрозии.

По-видимому, регулирование структуры посевов и земельных угодий необходимо осуществлять на областном или даже государственном уровнях, учиты-

вая стратегические перспективы развития и устойчивого функционирования регионов, поскольку субъекты хозяйствования ориентируются в первую очередь на краткосрочную экономическую выгоду.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность специалистам из центра Агрохимической службы «Ростовский» за предоставленные для работы аналитические данные. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту № RFMEFI60719X0298.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the specialists of the Agrochemical data center "Rostovsky" for the provided analytical data. Financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation project (Grant No. RFMEFI60719X0298) is gratefully acknowledged.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. Human domination of Earth's ecosystems // *Science*. 1997. V. 277. Iss. 5325. P. 494-99. DOI: 10.1126/science.277.5325.494
2. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change // *Geoderma*. 2004. V. 123. Iss. 1-2. P. 1-22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032
3. Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2017. V. 114. Iss. 36. P. 9575-9580. DOI: 10.1073/pnas.1706103114
4. Smith P. Soil Organic Carbon Dynamics and Land-Use Change. In: *Land Use and Soil Resources*. Braimoh A.K., Vlek P.L.G. (eds). Dordrecht: Springer. 2008. P. 9-22. DOI: 10.1007/978-1-4020-6778-5_2
5. Shangguan W., Gong P., Liang L., Dai Y.J., Zhang K. Soil Diversity as Affected by Land Use in China: Consequences for Soil Protection // *The Scientific World Journal*. 2014. V. 2014. Article ID 913852. URL: <https://doi.org/10.1155/2014/913852> (дата обращения 23.05.2020)
6. Романенко Г.А., Комов Н.В., Тютюнников А.И. Земельные ресурсы России, эффективность их использования. М.: Россельхозакадемия, 1996. 306 с.
7. Шишкина Д.Ю. Экологическая оценка динамики сельскохозяйственных земель Ростовской области // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2017. N 3-1. С. 122-128. DOI: 10.23683/0321-3005-2017-3-1-122-128
8. Информационная система «Почвенно-географическая база данных России». URL: <https://soil-db.ru/> (дата обращения: 20.10.2020)
9. Шоба С.А., Алябина И.О., Голозубов О.М., Иванов А.В., Иванов А.Л., Колесникова В.М., Крыщенко В.С., Молчанов Э.Н., Рожков В.А., Шерemet Б.В. Информационная система на основе Почвенно-географической базы данных России (ИС ПГБД РФ). Свидетельство о регистрации электронного ресурса. N 19661. 06.11.2013
10. Голозубов О.М. Рожков В.А., Алябина И.О., Иванов А.В., Колесникова В.М., Шоба С.А. Технологии и стандарты в информационной системе почвенно-

- географической базы данных России // Почвоведение. 2015. N 1. С. 3-13. DOI: 10.7868/S0032180X15010062
11. Hoffmann C., Golozubov O., Alyabina I., Heinrich U. Глава I/12: Стандартизация сбора, обработки хранения и распространения почвенных данных: два проекта национального уровня // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Т. 1. Ландшафты в XXI веке: анализ состояния, основные процессы и концепции исследований. Москва: Изд-во ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова». 2018. pp. 85-89. DOI: 10.25680/6422.2018.85.59.012
12. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
13. Урусевская И.С., Алябина И.О., Винюкова В.П., Востоква Л.Б., Дорофеева Е.И., Шоба С.А., Щипихина Л.С. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации Масштаб 1:2500000. 2013.
14. Карта геоморфологического районирования СССР. Масштаб 1:8 000 000 / Под ред. А.И. Спиридонова. М.: ГУГК, 1983.
15. Воскресенский С.С., Леонтьев О.К., Спиридонов А.И., Лукьянова С.А., Ульянова Н.С., Ананьев Г.С., Андреева Т.С., Варущенко С. И., Спасская И. И. Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей. М.: Высшая школа, 1980. 344 с.
16. Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. N 2 (83). С. 10-15. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090
17. Экологический вестник Дона. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2019 году. Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. Ростов-на-Дону. 2020, 372 с. URL: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/projects/19/> (дата обращения: 20.05.2020)
18. Классификация и диагностика почв СССР. Москва: Колос, 1977. 224 с.
19. Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. N 12. С. 21-27.
20. Loveland P., Webb J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review // Soil and Tillage Research. 2003. V. 70. Iss. 1. P. 1-18. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/soil-and-tillage-research/vol/70/issue/1> (дата обращения: 20.05.2020)
21. Janzen H.H., Olson B.M., Zvomuya F., Larney F.J., Ellert B.H. Long-term Field Bioassay of Soil Quality // Prairie Soils and Crops Journal. 2012. V. 5. P. 165-168. URL: <https://prairiesoilsandcrops.ca/articles/volume-5-17-screen.pdf> (дата обращения: 20.05.2020)
22. Когут Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. 2012. N 9. С. 944-952.
23. Прасолов Л.И. О черноземе Приазовских степей // Почвоведение. 1916. N 1. С. 23-46.
24. Чернова О.В., Безуглова О.С. Принципы и особенности создания Красных книг почв степных регионов (на примере Ростовской области) // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. N 1 (74). С. 38-48. DOI: 10.24411/1993-3916-1995-10005
25. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
26. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации // Почвоведение. 1996. N 2. С. 197-207.
27. Смагин А.В. Динамика черноземов: реконструкция развития и прогноз агродеградации // Проблемы агрохимии и экологии. 2012. N 3. С. 31-38.
28. Национальный атлас почв Российской Федерации / Гл. ред. С.А. Шоба, отв. ред. И.О. Алябина, И.С. Урусевская, О.В. Чернова. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.
29. Орлова И.В. Динамика и сбалансированность структуры землепользования приграничных степных районов Западной Сибири // Степной бюллетень. 2006. N 21-22. URL: <http://savesteppe.org/ru/archives/2498> (дата обращения: 23.05.2020)
30. Кузнецов В.В., Гарькавый В.В., Лысенко Е.Г., Тарасов А.Н. Экология и производство в аграрном секторе экономики. Ростов-на-Дону, 1997. 228 с.

REFERENCES

1. Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, vol. 277, iss. 5325, pp. 494-99. DOI: 10.1126/science.277.5325.494
2. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, vol. 123, iss. 1-2, pp. 1-22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032
3. Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, vol. 114, iss. 36, pp. 9575-9580. DOI: 10.1073/pnas.1706103114
4. Smith P. Soil Organic Carbon Dynamics and Land-Use Change. In: *Land Use and Soil Resources*. Braimoh A.K., Vlek P.L.G. (eds). Dordrecht, Springer, 2008, pp. 9-22. DOI: 10.1007/978-1-4020-6778-5_2
5. Shangguan W., Gong P., Liang L., Dai Y.J., Zhang K. Soil Diversity as Affected by Land Use in China: Consequences for Soil Protection. *The Scientific World Journal*, 2014, vol. 2014, article ID 913852. Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/913852> (accessed 23.05.2020)
6. Romanenko G.A., Komov N.V., Tyutyunnikov A.I. *Zemel'nye resursy Rossii, effektivnost' ikh ispol'zovaniya* [Land resources of Russia, efficiency of their use] Moscow, Russian Agricultural Academy Publ., 1996, 306 p. (In Russian)
7. Shishkina D.Yu. Environmental assessment of the dynamics of agricultural land of the Rostov region. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Natural science*, 2017, no. 3-1, pp. 122-128. (In Russian) DOI: 10.23683/0321-3005-2017-3-1-122-128
8. *Informatsionnaya sistema «Pochvenno-geograficheskaya baza dannykh Rossii»* [Information System «Soil-Geographical Database of Russia»]. Available at: <https://soil-db.ru/> (accessed 20.10.2020)
9. Shoba S.A., Aljabina I.O., Golozubov O.M., Ivanov A.V., Ivanov A.L., Kolesnikova V.M., Kryshhenko V.S., Molchanov Je.N., Rozhkov V.A., Sheremet B.V. *Informatsionnaya sistema na osnove Pochvenno-geograficheskoi bazy dannykh Rossii (IS PGBD RF)* [Information system based on the Soil

- Geographical Database of Russia (IS SGDB RF)]. Svidetel'stvo o registratsii elektronogo resursa, no. 19661, 06.11.2013
10. Golozubov O.M., Rozhkov V.A., Alyabina I.O., Ivanov A.V., Kolesnikova V.M., Shoba S.A. Technologies and Standards in the Information Systems of the Soil-Geographic Database of Russia. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 1, pp. 1-10. DOI: 10.1134/S1064229315010068
11. Hoffmann C., Golozubov O., Alyabina I., Heinrich U. Chapter I/12: Standards for the Collection, Management and Provision of Soil Research Data: Two National Case Studies. *Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia (in five volumes)*. vol. 1. Landscapes in the 21st Century: Status Analyses, Basic Processes and Research Concepts. Moscow, Publishing House FSBSI «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry», 2018, pp. 85-89. DOI 10.25680/6422.2018.85.59.012
12. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. *Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* [Dynamics of agricultural land in Russia and postagrogenic restoration of plants and soils]. Moscow, GEOS Publ., 2010, 416 p. (In Russian)
13. Urusevskaya I.S., Alyabina I.O., Vinyukova V.P., Vostokova L.B., Dorofeeva E.I., Shoba S.A., Shchipikhina L.S. *Karta pochvenno-ekologicheskogo raionirovaniya Rossiiskoi Federatsii Masshtab 1:2500000* [The map of soil-ecological zoning of the Russian Federation. Scale: 1:2,5 mln]. 2013. (In Russian)
14. Spiridonov A.I., ed. *Karta geomorfologicheskogo raionirovaniya SSSR. Masshtab 1:8 000 000* [Map of geomorphological zoning of the USSR. Scale: 1:8 mln]. Moscow, GUGK Publ., 1983. (In Russian)
15. Voskresenskii S.S., Leont'ev O.K., Spiridonov A.I., Luk'yanova S.A., Ul'yanova N.S., Anan'ev G.S., Andreeva T.S., Varushchenko S.I., Spasskaya I.I. *Geomorfologicheskoe raionirovanie SSSR i prilegayushchikh morei* [Geomorphological zoning of the USSR and adjacent seas]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 344 p. (In Russian)
16. Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N. Dynamics of Land Degradation in the Rostov Region. *Arid ecosystems*, 2020, vol. 26, no. 2(83), pp. 10-15. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090
17. *Ekologicheskii vestnik Dona. O sostoyanii okruzhayushchei sredy i prirodnnykh resursov Rostovskoi oblasti v 2019 godu* [Don's ecological bulletin. The state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2019]. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Rostov Region. Rostov-on-Don, 2020, 372 p. (In Russian) Available at: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/projects/19/> (accessed 20.05.2020)
18. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils in the USSR]. Moscow, Kolos Publ., 1977, 224 p. (In Russian)
19. Sharkov I.N. The concept of humus reproduction in soils. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2011, no. 12, pp. 21-27. (In Russian)
20. Loveland P., Webb J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research*, 2003, vol. 70, no. 1, pp. 1-18. Available at: <https://www.sciencedirect.com/journal/soil-and-tillage-research/vol/70/issue/1> (accessed 20.05.2020)
21. Janzen H.H., Olson B.M., Zvomuya F., Larney F.J., Ellert B.H. Long-term field bioassay of soil quality. *Prairie Soils and Crops Journal*, 2012, vol. 5, pp. 165-168. Available at: <https://prairiesoilsandcrops.ca/articles/volume-5-17-screen.pdf> (accessed: 20.05.2020)
22. Kogut B. M. Assessment of the humus content in arable soils of Russia. *Eurasian Soil Science*, 2012, vol. 45, no. 9, pp. 843-851. DOI: 10.1134/S1064229312090062
23. Prasolov L.I. About the chernozem of the Azov steppes. *Pochvovedenie* [Soil science]. 1916, no. 1, pp. 23-46. (In Russian)
24. Chernova O.V., Bezuglova O.S. Principles and Features of the Compilation of the Red Data Book of Soils of the Steppe Regions (on Example of the Rostov Oblast). *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 28-37. DOI: 10.1134/S207909611801002X
25. Semenov V.M., Kogut B.M. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil Organic Matter]. Moscow, GEOS Publ., 2015, 233 p. (In Russian)
26. Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Real and apparent losses of organic matter by the soils of the Russian Federation. *Eurasian Soil Science*, 1996, vol. 29, no. 2, pp. 174-183.
27. Smagin A.V. Dynamics of chernozems: reconstruction and prediction of agrodegradation. *Problemy agrokhimii i ekologii* [Problemy Agrokhimii i Ekologii]. 2012, no 3, pp. 31-38. (In Russian)
28. Shoba S.A., ed. *Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii* [National atlas of soils of the Russian Federation]. Moscow, Astrel', AST Publ., 2011, 632 p. (In Russian)
29. Orlova I.V. *Dinamika i sbalansirovannost' struktury zemlepol'zovaniya prigranichnykh stepnykh raionov Zapadnoi Sibiri* [Dynamics and balance of the structure of land use in the border steppe regions of Western Siberia]. *Steppe bulletin*, 2006, no. 21-22. Available at: <http://savesteppe.org/ru/archives/2498> (accessed 23.05.2020) (In Russian)
30. Kuznetsov V.V., Gar'kavyi V.V., Lysenko E.G., Tarasov A.N. *Ekologiya i proizvodstvo v agrarnom sektore ekonomiki* [Ecology and production in the agricultural sector of the economy]. Rostov-on-Don, 1997, 228 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга В. Чернова анализировала и интерпретировала результаты исследований, подготовила рукопись. Ирина О. Алябина принимала участие в обработке данных и написании статьи. Ольга С. Безуглова принимала участие в анализе и интерпретации полученных результатов. Юрий А. Литвинов осуществил подбор массивов аналитических данных и статистическую обработку материала. Все авторы в равной степени несут ответственность при

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga V. Chernova analysed and interpreted the research results and prepared the manuscript. Irina O. Alyabina participated in data processing and writing the article. Olga S. Bezuglova participated in the analysis and interpretation of research results. Yuri A. Litvinov carried out the selection of analytical data arrays and statistical processing of the material. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

обнаружении плагиата, самоплагиата или других этических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга В. Чернова / Olga V. Chernova <https://orcid.org/0000-0001-8416-0746>

Ирина О. Алябина / Irina O. Alyabina <http://orcid.org/0000-0003-0718-8600>

Ольга С. Безуглова / Olga S. Bezuglova <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

Юрий А. Литвинов / Yuri A. Litvinov <https://orcid.org/0000-0001-7204-2734>

Оригинальная статья / Original article
УДК 637.12.04/07
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-114-125

Влияние разных агроэкологических условий юга России на качественные показатели молока-сырья

Иван Ф. Горлов^{1,2}, Марина И. Сложенкина^{1,2}, Ольга Ю. Мишина³,
Екатерина В. Карпенко¹, Наталья И. Мосолова¹

¹Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

²Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

³Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

Контактное лицо

Марина И. Сложенкина, доктор биологических наук, профессор, директор ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»; 400131 Россия, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6. Тел. +78442391048
Email niimmp@mail.ru
slozhenkina@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

Формат цитирования

Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Мишина О.Ю., Карпенко Е.В., Мосолова Н.И. Влияние разных агроэкологических условий юга России на качественные показатели молока-сырья // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 114-125. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-114-125

Получена 11 мая 2020 г.

Прошла рецензирование 14 июля 2020 г.

Принята 25 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Показать адаптационные способности молочного скота к разнообразным экосистемам и природным зонам Нижнего Поволжья в разные времена года.

Материал и методы. Для исследования были выбраны хозяйства, расположенные в степных и полупустынных природных зонах Волгоградской области, с разведением животных разных пород. Проведен анализ содержания основных показателей качества молока-сырья, аминокислотного состава и экологической безопасности.

Результаты. Животные всех изучаемых хозяйств показали достаточно высокие показатели молочной продуктивности в климатических условиях Волгоградской области, соответствующих стандартам изучаемых пород. Содержание незаменимых аминокислот в молоке коров по всем группам варьировало в зависимости от породы и периода года, в целом достигая максимального своего значения в зимний период. Проведенный расчет величины аминокислотного сора показал, что лизин является лимитирующей аминокислотой у животных голштино-фризской породы в летний и осенний периоды лактации. Определение химических элементов в молоке в летний период лактации показало, что все показатели находятся в пределах допустимых концентраций, в том числе тяжелые металлы (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть).

Заключение. Проведенные исследования подтверждают соответствие молочного сырья стандартным нормативам во всех исследуемых хозяйствах по основным контролируемым показателям качества, аминокислотного состава, содержанию химических элементов и позволяют рекомендовать произведенное молоко для выработки всех видов молочной и кисломолочной продукции.

Ключевые слова

Климатические условия, природная зона, экосистема, период лактации, молочная продуктивность, экологическая безопасность, аминокислотный состав.

Influence of different agroecological conditions of southern Russia on quality indicators of raw milk

Ivan F. Gorlov^{1,2}, Marina I. Slozhenkina^{1,2}, Olga Y. Mishina³,
Ekaterina B. Karpenko¹ and Natalya I. Mosolova¹

¹Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production, Volgograd, Russia

²Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

³Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

Principal contact

Marina I. Slozhenkina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production; 6 Rokossovsky St, Volgograd, Russia 400131.

Tel. +78442391048

Email niimmp@mail.ru

slozhenkina@mail.ru

ORCID [https://orcid.org/0000-0001-](https://orcid.org/0000-0001-9542-5893)

[9542-5893](https://orcid.org/0000-0001-9542-5893)

How to cite this article

Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mishina O.Y., Karpenko E.B., Mosolova N.I. Influence of different agroecological conditions of southern Russia on quality indicators of raw milk. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 114-125. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-114-125

Received 11 May 2020

Revised 14 July 2020

Accepted 25 August 2020

Abstract

Aim. To demonstrate the high adaptive abilities of dairy cattle to various ecosystems and natural zones of the Lower Volga at different times of the year. For the study we selected farms located in the steppe and semi-desert natural zones of the Volgograd region where animals of different breeds are reared.

Material and Methods. Analysis was undertaken of the main indicators of raw milk quality, amino acid composition and environmental safety. Animals of all farms studied showed fairly high indicators of milk productivity in the climatic conditions of the Volgograd region, according to the standards of the breeds investigated.

Results. The content of essential amino acids in cow milk for all groups varied depending on the breed and period of the year, generally reaching maximum values in winter. The calculation of amino acid scores showed that lysine is a limiting amino acid in animals of the Holstein-Friesian breed in the summer and autumn periods of lactation. The determination of chemical elements in milk during the summer period of lactation showed that all indicators are within acceptable concentrations, including heavy metals (lead, arsenic, cadmium, mercury).

Conclusion. The research conducted confirms compliance of raw milk with standards in all farms studied for the main controlled indicators of quality and amino acid composition, content of chemical elements and allows recommendation of the milk produced for the production of all types of dairy and fermented milk products.

Key Words

Climatic conditions, natural zone, ecosystem, lactation, milk productivity, environmental safety, amino acid composition.

ВВЕДЕНИЕ

Доктрина продовольственной безопасности России ставит главной целью обеспечить независимость страны от зарубежных поставок важнейших продуктов питания. Согласно докладу Минсельхоза РФ, по большинству позиций цели выполнены. Однако с производством молока остаются не решенными ряд проблем. В 2019 году объемы импорта молочной продукции (в пересчете на молоко) составили более 7 млн. тонн.

Отечественное производство молока находится примерно на одном уровне. В 2019 году его объем составил 31,3 млн. т, в том числе в сельскохозяйственных предприятиях – 16,961 млн. т, при этом годовая продуктивность коров в сельскохозяйственных предприятиях составила 6889 кг молока [1; 2].

Отечественные и зарубежные ученые отмечают, что одним из факторов, влияющих на молочную отрасль, являются природно-климатические условия. Особенно это отчетливо проявляется в южных регионах России. Как известно, жара плохо влияет на крупный рогатый скот, животные потребляют меньше корма, у них снижается уровень естественной резистентности, что приводит к снижению продуктивной и воспроизводительной способностям [3-5].

В России по молочной продуктивности коров и качеству молочного сырья лидирует Ленинградская область, а самые качественные молочные продукты вырабатываются в Вологодской области. В мире славятся молоком Голландия, Ирландия и Новая Зеландия. В данных регионах и странах получению качественного молочного сырья способствуют благоприятные климатические условия. В США, согласно литературным источникам, с середины 1960-х годов началось географическое размещение молочных ферм в западных регионах. В настоящее время самые крупные американские предприятия по производству молока сосредоточены в западных районах США, характеризующихся благоприятным климатом, большими площадями плодородных земель, разнообразными высококачественными кормами [6].

В связи с этим, представляет интерес сравнительная оценка показателей качества молока-сырья, полученного в разных агроэкологических условиях юга России, в частности, Волгоградской области. В хозяйствах региона, расположенных в разнообразных природно-климатических зонах, были проведены исследования по изучению состава молока коров, полученного в разное время года.

Волгоградская область отличается резко континентальным климатом с умеренно холодной малоснежной зимой и жарким сухим летом. Минимальные температурные режимы наблюдаются в январе-феврале (-36°C ... -40°C), максимальные – в июле-августе (42°C ... 44°C). По данным СП 131.13330.2018 "СП 23-01-99" «Строительная климатология», Волгоград является одним из самых жарких летних городов России, занимая третье место по средней максимальной температуре воздуха наиболее теплого месяца среди субъектов Российской Федерации после Республики Дагестан и Астрахани. Территория области окружена равнинами и низменностями, что позволяет интенсивно циркулировать атмосферному воздуху и поступать в течение года

умеренным, арктическим и тропическим воздушным потоком [7].

Влияние континентальных тропических масс (малопрозрачный теплый сухой воздух) из Казахстана, Малой и Средней Азии в летний период приводит к повышению температуры до 44°C . Атлантические воздушные массы, проникая на территорию области и двигаясь над разогретым материком, практически не уменьшают жару, трансформируясь в сухие и жаркие массы. Абсолютного максимального своего значения температура достигает в Нижнем Поволжье, районе озера Эльтон, поселке Быково (45°C в тени).

Арктические океанические воздушные массы (холодный сухой воздух) устанавливают холодную антициклональную погоду в зимний период, частые заморозки – в весенний и осенний, засухи – в летний периоды. Последние два явления наносят большой вред сельскому хозяйству.

В целом, Волгоградская область расположена в засушливой зоне, отличающейся обилием тепла при недостаточной увлажненности, в результате чего сформировались ксерофитные степи на каштановых почвах [8]. В регионе для развития молочного скотоводства в последние годы проводят мероприятия по созданию кормовых севооборотов и пастбищных агрофитоценозов, что во многом зависит от качественного и научно-обоснованного проведения комплекса агротехнических приемов с учетом биологических особенностей культур и специфики почвенно-климатических и агроэкологических условий. Всего в области, в хозяйствах всех категорий в 2019 г. было произведено 422,9 тыс. тонн молока, что на 11,2% больше по сравнению с 2018 г. При этом в сельскохозяйственных организациях надой молока на одну корову составили 6554 кг, что больше на 621 кг по сравнению с 2018 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2019 г. в крупных хозяйствах Волгоградской области: ООО СП «Донское» (I группа коров), ФГУП «Орошаемое» (II группа коров), АО «Агрофирма Восток» (III группа коров), ПЗК им. Ленина (IV группа коров), ПЗК «Путь Ленина» (V группа коров).

В ходе проводимых исследований определяли:

- основные качественные показатели – массовые доли жира и белка, содержащиеся в молоке, полученном в разное время года, в соответствии с общепринятыми методиками по ГОСТ Р ИСО 2446-2011 (содержание жира), ГОСТ 23327-98 (содержание белка);
- среднесуточный удой из первичной документации по учету продукции молочного скотоводства в сельскохозяйственных организациях в разные сезоны года;
- аминокислотный состав образцов молока методом капиллярного электрофореза «Капель 105М»;
- аминокислотный скор (АКС, %) молочного белка определяли по процентному соотношению каждой из незаменимых аминокислот в белке молока по отношению к ее содержанию в «идеальном» белке по формуле (1):

$$АКС = \frac{\text{г АК в 1 г белка молока}}{\text{г той же АК в 1 г «идеального» белка}} \cdot 100, \quad (1)$$

- концентрацию химических элементов определяли методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП).

Данные, полученные в результате эксперимента, были статистически проанализированы с помощью программы Statistica 10 (StatSoftInc.). Для статистического анализа были применены t-критерий Стьюдента и критерий Уилкоксона. Проведен расчет регрессии и корреляционного анализа для установления взаимосвязей между различными параметрами.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характерной особенностью территории Волгоградской области является уникальное сочетание природных условий, большое разнообразие экосистем и ландшафтов, входящих в состав степной и полупустынной природных зон, четырёх подзон и девяти физико-географических провинций. К северо-западу от долин рек Дон и Медведица простираются ландшафты разнотравно-типчаково-ковыльных степей с черноземными почвами, что составляет примерно $\frac{1}{4}$ территории площади области (28,5 тыс. км²). Половину территории средней части региона занимают типчаково-ковыльные степи (сухие) на темно-каштановых и каштановых почвах. Юго-восток, в пределах плато Ергеней и Прикаспийской низменности, представлен ландшафтом северных и южных полупустынь [1].

Разнообразие природных условий обусловило разность разводимых пород крупного рогатого скота в хозяйствах области, а также отличающийся флористический состав естественных пастбищ, являющихся кормовой базой при выпасе животных.

Показатели продуктивности лактирующих коров в исследуемых сельскохозяйственных предприятиях изучали с января по декабрь 2019 года.

Сельскохозяйственное предприятие «Донское» (I группа) Калачевского района Волгоградской области разводит крупный рогатый скот молочного направления – голштинской породы, отличающейся высокими показателями среднесуточного удоя [9].

На данный момент в стаде 3617 голов, из них 1782 головы дойных коров. В 2019 г. предприятие произвело 14600 т сырого молока. По продуктивности на корову, которая составляет 9803 кг/год, сельхозпредприятие существенно превышает средне областные данные. Показатели жира и белка в 2019 г. составили, соответственно, 3,96% и 3,26%. На предприятии для производства молока были введены в эксплуатацию высокотехнологичные доильные залы с автоматизированными доильными установками. В 2019 г. начали строить новый животноводческий комплекс на 2500 голов.

Предприятие выращивает кормовые и зерновые культуры. Производство кормов составило: силос – 29600 тонн, сенаж – 15300 тонн, сено – 4100 тонн.

Климат Калачевского района резко континентальный. Почвы пастбищ – светло-каштановые с белопопынно-ромашково-злаковой растительностью. Для них характерны ассоциации: белопопынно-ковыльно-типчаковая, типчаково-белопопынная, прутняково-белопопынная, чернопопынная, камфоросмово-чернопопынная, ассоциация гречишки, разнотравно-

типчаково-пырейная. Наиболее типичной является первая ассоциация с примесью ксерофитного разнотравья и перекасти-поле. В чернопопынной ассоциации значительна роль эфемеров: мартук, перечник, мятлик живородящий, тюльпан Шренка.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Орошаемое» (II группа) расположено в 20 км от г. Волгограда на берегу Волго-Донского судоходного канала им. В.И. Ленина, является государственным племенным заводом по разведению крупного рогатого скота голштино-фризской породы. Поголовье КРС составляет 324 головы, количество дойных животных – 210 голов с надоем 5457 кг/год. В 2019 г. хозяйством было произведено 1400 т молока. Показатели жира и белка в 2019 г. составили, соответственно, 3,78% и 3,22%.

Агрофирма «Восток» (III группа) Николаевского района Волгоградской области является современным высокотехнологизированным агропромышленным предприятием с различными видами деятельности, в том числе производством молока. Племенной завод агрофирмы разводит крупный рогатый скот молочного направления – айрширской породы. Общее поголовье КРС в 2019 году составляло 458 голов, из них 333 дойных коров с продуктивностью 7181 кг/год. При этом показатели жира и белка составили, соответственно, 4,46% и 3,29%.

Айрширская порода коров отличается стабильной продуктивностью, высоким содержанием жира и белка в молоке. Однако одним из факторов, сдерживающим масштабы разведения данной породы, является непереносимость сильной жары [10]. В условиях высоких температур летнего периода Волгоградской области перегрев животных зачастую негативно отражается на удоях. Основная часть территории Николаевского района находится в зоне полупустынь, являясь практически самой засушливой агроклиматической зоной области. Почвы преобладают светло-каштановые, с содержанием большого процента солонцов, присутствуют также песчаные земли. Растительный покров представлен узколиственными и дерновидными злаками такими, как мятлик узколистый, типчак, ковыль, келерия тонкая и разнотравьем: шалфей, астрагал и др.

Племенное хозяйство «ПЗК им. Ленина» (IV группа) Суровикинского района разводит крупный рогатый скот красной степной породы. Данную породу характеризуют выносливость в сухих и теплых областях, возможность получать высокие удои. Стандартная жирность молока составляет 3,5-3,8%. Удой и жирность молока напрямую зависят от качества скормливаемого корма, травы и продолжительности выпаса. Обеспечение максимально благоприятных условий содержания животных способствует повышению удоев до 5000 л в год. Общее поголовье животных в хозяйстве составляет 1520 голов, количество дойных животных – 700 голов с надоем 4507 кг/год. Показатели жира и белка, соответственно, 3,93% и 3,2%. Продуктивность животных в хозяйстве повышают за счет совершенствования селекционно-племенной работы, улучшения условий содержания и кормления [11]. В жестком климате Волгоградской области животные данной породы показывают неплохие продуктивные качества, не требуя особых

условий содержания. Полученные характеристики молочной продуктивности красной степной породы в хозяйстве говорят о хорошей приспособленности к условиям Волгоградской области.

Коллективное хозяйство «Путь Ленина» (V группа) является единственным в регионе племярепродуктором симментальской породы крупного рогатого скота. Для данной породы характерна жирность молока в пределах 3,9-4,2% и сравнительно низкое содержание белка. Животные неприхотливы к условиям содержания, ухода и питания, но плохо переносят засуху. Общее поголовье животных в хозяйстве насчитывает 704 головы, из них дойных коров – 310 с надоем 5414

кг/год. В 2019 г. было произведено 1553 тонн молока. Показатели по жиру и белку составили, соответственно, 3,95% и 3,29%. По полученным характеристикам молочной продуктивности коров видно, что средние показатели массовой доли жира и белка за опытный период достаточно высокие, что говорит о хорошей приспособленности животных к климатическим условиям Волгоградской области.

В хозяйствах при проведении исследований по влиянию агроэкологических условий на молочную продуктивность животных были получены результаты, которые отражены в таблице 1.

Таблица 1. Молочная продуктивность подопытных коров
Table 1. Milk productivity of cows used in research

Группы Groups	Показатели Indicators		
	Среднесуточный удой, кг Average daily milk yield, kg	Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %
Весенний период лактации / Spring lactation period			
I	28,857±0,98*	3,787±0,02**	3,226±0,01
II	20,779±0,64	3,557±0,05	3,243±0,03
III	22,500±0,69	4,611±0,04	3,326±0,04
IV	14,508±0,46	3,935±0,05	3,247±0,01**
V	21,586±0,69**	3,67±0,05**	3,37±0,02**
Летний период лактации / Summer lactation period			
I	24,944±0,88	3,936±0,03	3,225±0,01
II	24,049±0,82	3,536±0,04	3,233±0,01**
III	23,797±0,72	5,069±0,06	3,196±0,01
IV	13,778±0,32	3,994±0,06	3,198±0,01**
V	17,465±0,51*	3,699±0,05	3,31±0,02
Осенний период лактации / Autumn lactation period			
I	22,556±0,74	3,949±0,04	3,241±0,02
II	18,297±0,44	3,97±0,07	3,186±0,01**
III	21,885±0,56*	5,664±0,07	3,265±0,03
IV	14,331±0,42	4,038±0,08**	3,128±0,01**
V	15,528±0,46	4,012±0,06	3,276±0,02
Зимний период лактации / Winter lactation period			
I	24,926±0,86*	3,930±0,03**	3,261±0,02
II	17,810±0,40	4,480±0,09	3,260±0,01
III	21,022±0,51	6,160±0,09	3,420±0,05
IV	15,012±0,55	4,558±0,09**	3,336±0,02**
V	16,50±0,49**	5,47±0,08	3,05±0,001**

Примечание: различия с $P<0,05$ считались значимыми: *** $P<0,001$; ** $P<0,01$; * $P<0,05$

Note: differences of $P<0.05$ were considered significant: *** $P<0.001$; ** $P<0.01$; * $P<0.05$

Проведя анализ показателей молочной продуктивности коров I группы (голштинская порода), можно сделать вывод, что за рассмотренные периоды лактации показатель массовой доли белка меняется незначительно. Наибольшее значение данного индикатора отмечено в зимний период, что выше на 0,036% по сравнению с наименьшим значением в летний период. По показателю массовой доли жира наблюдалось повышение в течение весеннего, летнего и осеннего периода, начиная с наименьшего в весенний период – 3,787% и наибольшего значения в осенний – 3,949%, что в разнице составило 0,162%. Наиболее высокое значение массовой доли жира отмечено в октябре – 3,972%. Зна-

чения показателей среднесуточных удоев снижались от весеннего периода (28,857 кг) к осеннему (22,556 кг), что в разнице составило 6,301 кг. При этом наиболее высокое значение среднесуточного удоя отмечено в апреле – 30,55 кг. В зимний период наблюдалось повышение удоя по сравнению с осенним периодом, а также повышение массовой доли белка, что связано с переходом в это время на более питательные корма.

При анализе показателей молочной продуктивности коров II группы (голштино-фризская порода) видно, что наиболее высокое значение среднесуточного удоя отмечено в летний период – 24,049 кг, особенно в июле – 31,617 кг. Разница значения наибольшего сред-

несуточного удоя летнего периода по сравнению с наименьшим значением среднесуточного удоя в зимний период составила 6,239 кг. Молоко, полученное от коров в зимний период, отличалось высоким значением массовой доли жира – 4,48%, что в разнице по сравнению с наименьшим значением в летний период (3,536%) составило 0,944%. Небольшое повышение массовой доли белка было отмечено в зимний период (3,26%), что составило в разнице 0,074% по сравнению с наименьшим значением в осенний период (табл. 1).

Как показывают проведенные исследования, молочная продуктивность коров III группы (айрширская порода) в летний период не снижалась, что говорит о хорошей адаптации животных к экстремальным климатическим условиям Волгоградской области, оптимальном уровне кормления и обеспечении комфортных зоогигиенических параметров. Наибольшее значение среднесуточного удоя отмечено в летний период (23,797 кг), особенно в июле (24,452%). Разница значения удоя в летний период по сравнению с наименьшим значением удоя в зимний период (21,022 кг) составила 2,775 кг. Содержание жира в молоке, полученном от животных за рассматриваемые периоды, в целом увеличивалось. Разница по наименьшему значению массовой доли жира в весенний период (4,611%) по сравнению с наибольшим значением зимнего периода (6,16%) составила 1,549%. Более высокое содержание белка отмечено также в зимний период (3,42%), что больше по сравнению с наименьшим содержанием в летний период (3,196%) на 0,224%.

Наибольшее значение среднесуточного удоя у коров IV группы (красная степная порода) отмечено в зимний период (15,012 кг), что больше на 1,234 кг по сравнению с наименьшим значением в летний период. Показатель массовой доли жира в целом по периодам лактации увеличивался. Его величина была также выше в зимний период (4,558%) на 0,623% по сравнению с наименьшим показателем содержания жира в весенний период. Содержание белка в зимний период (3,336%) также было выше на 0,208%, по сравнению с наименьшим содержанием в осенний период (3,128%). Наблюдалось понижение показателей среднесуточного удоя животных от весеннего периода (21,586 кг) к осеннему (15,528 кг), что в разнице составило 6,058 кг. В зимний период значение среднесуточного удоя возросло на 0,972 кг по сравнению с наименьшим значением в осенний период. Содержание массовой доли жира в целом по периодам возрастало. Разница между наименьшим ее значением в весенний период и наибольшим в зимний составила 1,8%. Наименьшее значение массовой доли жира отмечено в зимний период, наибольшее – в весенний, что в разнице составило 0,32%.

Следует отметить, что наибольшие значения среднесуточного удоя за весь опытный период отмечены у коров I группы, особенно в весенний период (28,86 кг), что больше на 14,35 кг по сравнению с наименьшим значением показателя у коров IV группы в данный период (14,51 кг).

Полученные данные молочной продуктивности животных позволяют сделать вывод, что наибольшее содержание массовой доли жира и белка в молоке коров II, III, IV групп наблюдается в зимний период. У

коров V группы жира больше содержалось в молоке коров, полученном от животных также в зимний период, белка – в весенний.

Наличие незаменимых аминокислот в пищевых продуктах очень важно, так как они не могут синтезироваться в организме животных и человека. Высокая питательная ценность молочных белков объясняется не только хорошей усвояемостью, но и оптимальным сочетанием их аминокислотного состава. В белках молока содержатся в значительном количестве все жизненно важные незаменимые аминокислоты, такие как лейцин, изолейцин, валин, фенилаланин, метионин, лизин, гистидин, триптофан. Известно, что аминокислотный состав белков молока коров непостоянен и изменяется в зависимости от ряда факторов. В связи с этим, мы изучили влияние времени года и индивидуальных особенностей подопытных коров на аминокислотный состав молока (табл. 2).

В результате исследований установлено, что общее количество изучаемых аминокислот по периодам и по группам животных варьируется в I группе от 53,86 до 55,6 г/100г, во II группе – от 42,2 до 46,21 г/100г, в III группе – от 44,2 до 53,72 г/100г, в IV группе – от 44,88 до 50,91 г/100г, в V группе – от 46,05 до 55,13 г/100г белка соответственно. Следует отметить, что общая сумма изучаемых аминокислот по группам в различные периоды лактации располагалась по убыванию: зимний, осенний, весенний и летний.

Неодинаковое содержание аминокислот в молоке по группам может быть обусловлено различными условиями содержания и кормления, а также индивидуальными наследственными особенностями животных.

Как свидетельствуют результаты исследований, в белках молока содержание изучаемых незаменимых аминокислот соответствовало эталону ФАО/ВОЗ, кроме II группы. При этом в летний и осенний периоды лактации лизина содержалось меньше на 7,63 и 4,76% соответственно в сравнении с эталоном (табл. 2).

Биологическая ценность пищевых белков зависит в основном от содержания и соотношения входящих в их состав незаменимых аминокислот и ее определяют путем сравнения аминокислотного состава изучаемого белка со справочной шкалой аминокислот гипотетического идеального белка методом аминокислотного сора. Указанный критерий позволяет установить сравнительную пользу пищевых белков для организма человека и животных.

Сравнение проводилось с «идеальным белком», в качестве которого использовали эталон ФАО/ВОЗ, результаты сравнения представлены на рисунках 1-4.

Расчет аминокислотного сора свидетельствует, что в летний и осенний периоды лактации во II группе, лимитирующей аминокислотой оказался лизин, аминокислотный сора которой составил 92,91 и 95,45%, то есть в силу недостатка кислот ограничивается полнота использования белка. Все аминокислоты, требуемые для биосинтеза белков, должны присутствовать в клетке одновременно и в доступной форме. Лизин относится к одной из незаменимых аминокислот так называемых «критических», дефицит которой ограничивает биосинтез белков, что ведет к нарушению азотного

обмена и может быть одной из причин снижения удоев молока у коров из-за ухудшения использования питательных веществ кормов [12; 13]. Во всех других груп-

пах установлено, что аминокислотный скор всех исследованных незаменимых аминокислот превышает 100%.

Таблица 2. Содержание аминокислот в молоке в разные периоды года, г/100г белка

Table 2. Amino acid content of milk at different periods of the year, g/100g of protein

Наименование аминокислоты / Name of amino acid							
Группа Groups	Валин Valine	Лизин Lysine	Лейцин + изолейцин Leucine + isoleucine	Фенилаланин + тирозин Phenylalanine + tyrosine	Метионин Methionine	Триптофан Tryptophan	Треонин Threonine
Весенний период лактации / Spring lactation period							
I	8,39±0,14*	6,91±0,09**	13,27±0,55	10,25±0,25	9,73±0,21***	1,15±0,004	4,16±0,01*
II	5,32±0,07	5,58±0,06	14,15±0,69	10,42±0,29	4,14±0,02**	1,02±0,001	4,33±0,02
III	8,13±0,11*	5,62±0,06	12,28±0,50	10,86±0,35	6,40±0,08*	1,27±0,009	5,62±0,04
IV	6,32±0,08***	7,75±0,11**	15,72±0,72**	10,25±0,27	4,60±0,02	1,13±0,003	4,76±0,02*
V	5,07±0,05***	5,54±0,05**	14,67±0,60	10,98±0,39	3,69±0,01	1,13±0,003	4,35±0,02*
Летний период лактации / Summer lactation period							
I	8,31±0,14*	6,02±0,06*	13,57±0,63	12,32±0,54**	7,81±0,11**	1,26±0,008*	4,30±0,02**
II	5,63±0,04**	5,11±0,02	12,06±0,50**	7,64±0,09	5,95±0,03**	1,13±0,002	4,68±0,02
III	6,01±0,08	6,23±0,09*	11,31±0,40	11,57±0,41***	3,64±0,01***	1,21±0,006	4,25±0,02*
IV	5,98±0,04*	5,31±0,06	14,04±0,59	10,97±0,37*	4,41±0,02**	1,22±0,007	4,09±0,01**
V	5,42±0,03	7,42±0,11*	14,03±0,59	7,86±0,09***	5,16±0,04*	1,19±0,005*	4,97±0,03
Осенний период лактации / Autumn lactation period							
I	8,99±0,19*	6,78±0,06**	16,15±0,83	11,78±0,44**	5,72±0,04***	1,04±0,001	5,08±0,03**
II	6,06±0,05	5,25±0,02*	15,21±0,70**	8,93±0,18*	3,50±0,01	1,01±0,001	4,61±0,02
III	7,87±0,10	5,52±0,03***	12,61±0,51*	10,43±0,26*	6,34±0,05**	1,16±0,004	5,78±0,04
IV	6,45±0,06***	5,61±0,04***	14,40±0,62	9,32±0,21**	3,61±0,01*	1,10±0,003	4,39±0,02**
V	6,27±0,04***	7,67±0,09***	14,86±0,66	8,70±0,15***	3,57±0,01	1,04±0,001	4,09±0,02**
Зимний период лактации / Winter lactation period							
I	8,94±0,17**	6,44±0,05**	14,06±0,59	12,4±0,56**	8,42±0,15	1,01±0,001	4,33±0,02
II	6,1±0,05	5,64±0,03	15,92±0,77	9,00±0,20	4,50±0,02**	1,01±0,001	4,04±0,02*
III	8,65±0,14**	6,29±0,06**	13,27±0,60**	11,96±0,50**	6,57±0,07	1,03±0,001	5,95±0,04*
IV	6,57±0,05**	8,01±0,11	15,11±0,69	10,92±0,38*	5,30±0,06**	1,00±0,001	4,00±0,02**
V	6,55±0,05**	6,85±0,07*	17,87±0,89***	13,52±0,62	4,76±0,03*	1,11±0,003	4,47±0,02
Эталон FAO/WHO	5,00	5,50	11,00	6,00	3,50	1,00	4,00

Примечание: различия с $P < 0,05$ считались значимыми: *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$

Note: differences of $P < 0.05$ were considered significant: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

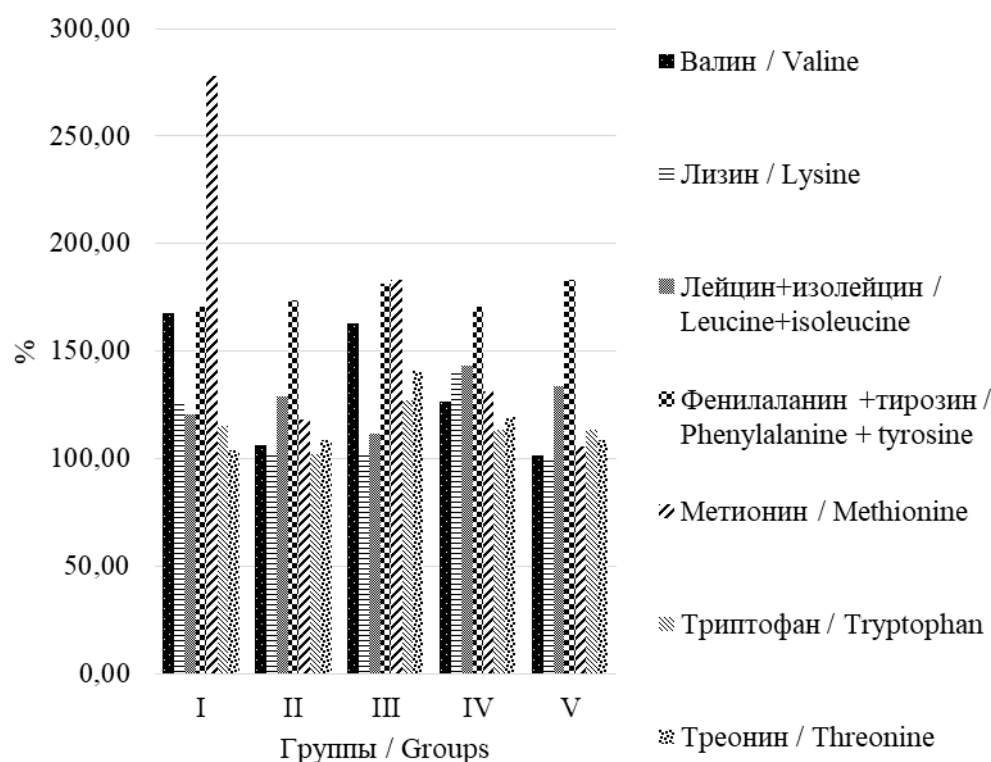


Рисунок 1. Аминокислотный скор, % (весенний период лактации)
Figure 1. Amino acid score, % (spring lactation period)

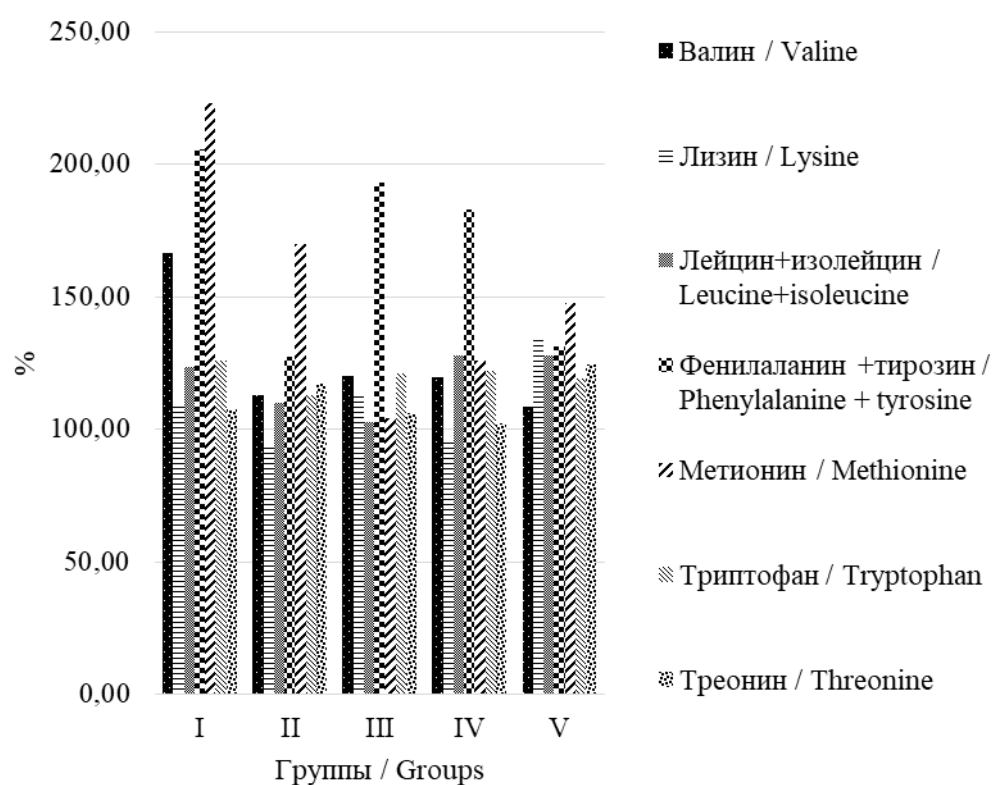


Рисунок 2. Аминокислотный скор, % (летний период лактации)
Figure 2. Amino acid score, % (summer lactation period)

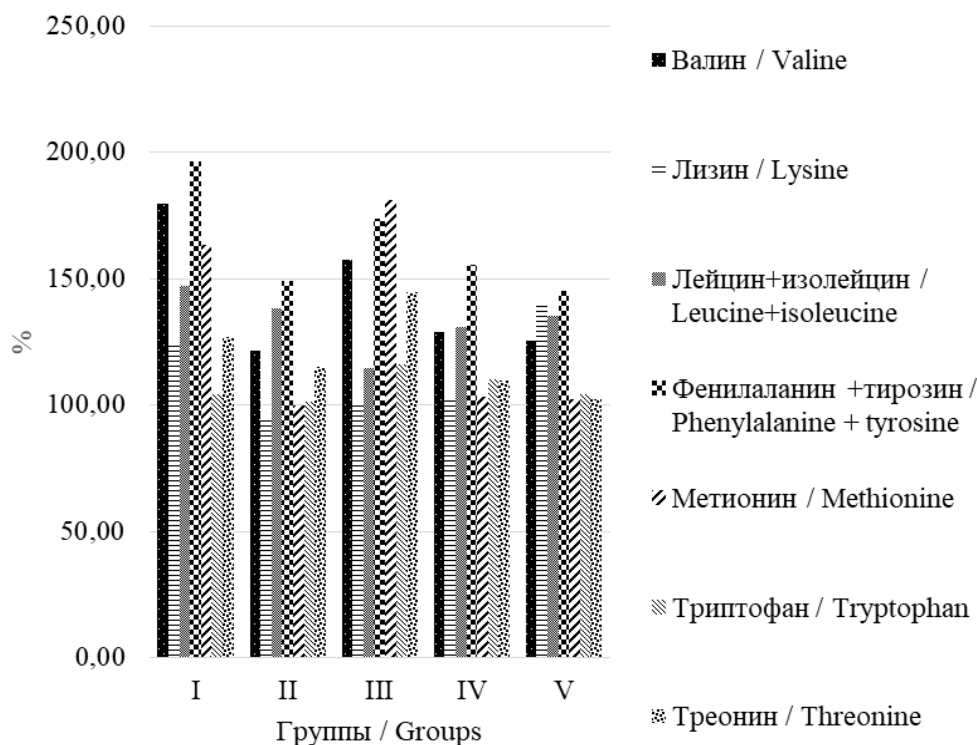


Рисунок 3. Аминокислотный скор, % (осенний период лактации)

Figure 3. Amino acid score, % (autumn lactation period)

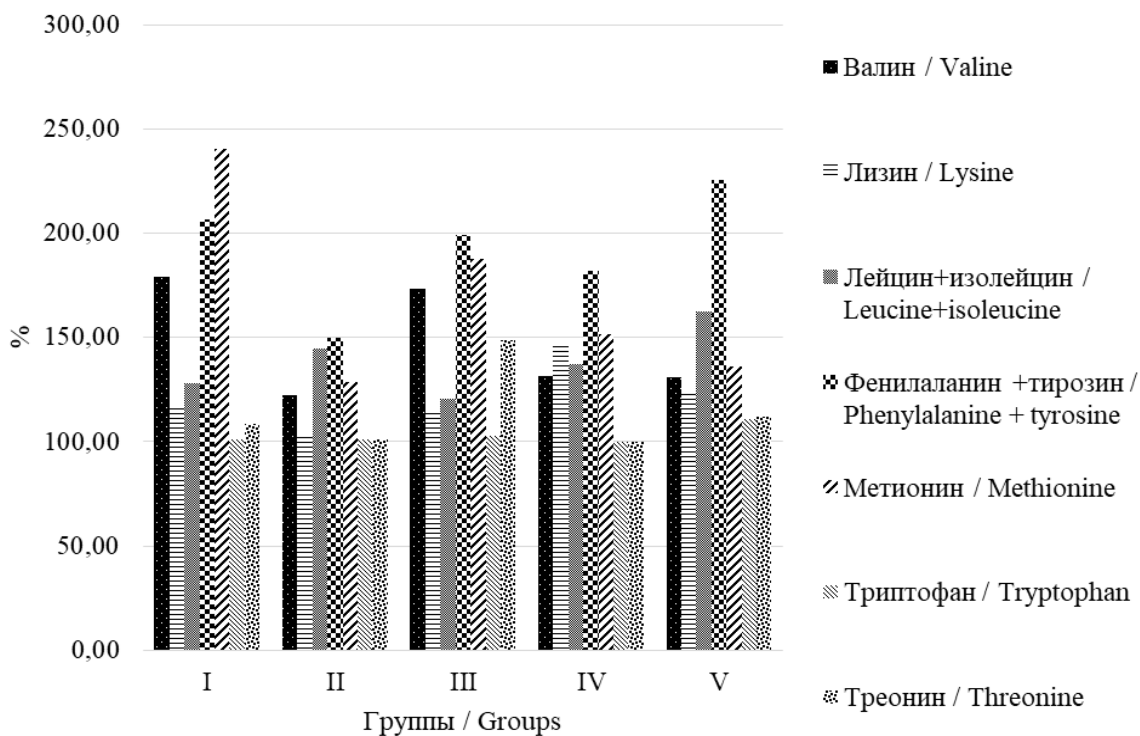


Рисунок 4. Аминокислотный скор, % (зимний период лактации)

Figure 4. Amino acid score, % (winter lactation period)

Нами также были проведены экспериментальные исследования по экологической безопасности полученного молока. Оценивали уровни содержания химических

элементов в молоке, ПДК, которых регламентируется нормативными документами (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть) и жизненно необходимых элементов (табл. 3).

Таблица 3. Содержание химических элементов в молоке коров**Table 3.** Content of chemical elements in cow milk

Элемент Element	Нормативный документ, предельно допустимая концентрация, мг/кг Normative document, Maximum allowable concentration, mg/kg	Значение, мг/кг / Value, mg/kg				
		I	II	III	IV	V
Свинец Plumbum	0,1	0,003±0,0001	0,003±0,0001	0,001±0,0002	0,001±0,0002	0,001±0,0002
Мышьяк* Arsenic*	0,05	0,002±0,0003	0,003±0,0005	0,002±0,0003	0,002±0,0003	0,002±0,0003
Кадмий Cadmium	0,03	0,0005±0,00014	0,0004±0,00012	0,0001±0,0002	0,0004±0,00012	0,0004±0,00011
Ртуть Mercury	0,005	0,0009±0,00027	0,0009±0,00027	0,00033±0,0002	0,00054±0,0002	0,00062±0,0002
Железо Iron	5,0	1,28±0,57	1,70±0,42	1,07±0,27	1,16±0,29	1,16±0,33
Медь Copper	1,0	0,14±0,017*	0,09±0,011***	0,06±0,008*	0,05±0,004***	0,04±0,006***
Цинк Zinc	5,0	4,17±0,44	3,91±0,39*	2,93±0,29*	3,41±0,34	3,44±0,34
Никель Nickel	0,1	0,06±0,014	0,09±0,015	0,09±0,015	0,009±0,014*	0,009±0,014*
Алюминий Aluminum	0,5	0,340±0,026***	0,114±0,011***	0,108±0,011	0,051±0,061**	0,067±0,081**
Хром Chromium	0,1	0,04±0,006***	0,08±0,009**	0,02±0,002***	0,03±0,004	0,03±0,004
Литий Lithium	0,05	0,007±0,0013	0,007±0,0013	0,006±0,0012	0,007±0,0014	0,007±0,0014
Магний Magnesium	150,0	104,0±10,4	103±10,2	111±11,0	101±10,5	107±10,0
Бор Boron	0,5	0,16±0,0019	0,16±0,0019*	0,17±0,002*	0,022±0,027***	0,020±0,024***
Йод, мг% Iodine, mg%	8,4	0,11±0,015***	0,05±0,008*	0,07±0,009	0,05±0,007***	0,07±0,009*
Марганец, мкг% Manganese, mkg%	6,4	0,03±0,006**	0,07±0,011**	0,06±0,008	0,05±0,007*	0,07±0,01**
Кобальт, мкг% Cobalt, mkg%	1,9	0,002±0,0005	0,002±0,0005	0,003±0,0007	0,002±0,0005	0,003±0,0006

Примечание: различия с $P < 0,05$ считались значимыми: *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$

Note: differences of $P < 0.05$ were considered significant: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

Как показывают проведенные исследования, в пробах молока всех хозяйств содержание химических элементов находится на достаточно низком уровне. В целом, полученное молоко удовлетворяет требованиям нормативных документов по допустимой концентрации данных элементов, оно является экологически безопасным и может быть использовано для производства продуктов питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ проведенных научных исследований показал, что качественные показатели молочного сырья, полученного от коров разных пород в условиях разнообразных природно-климатических зон Волгоградской области, соответствуют в целом стандартам рассматриваемых пород, а по некоторым показателям даже превосходят их, что говорит о хорошей адаптации

животных к экстремальным климатическим условиям. Повышению продуктивных качеств коров способствует обеспечение для них максимально благоприятных условий содержания и кормления. Так, в опытном хозяйстве Агрофирма «Восток», расположенном в наиболее засушливой агроклиматической зоне области, от животных айрширской породы, для которых при содержании не желательны жаркие условия климата, в летний период были получены высокие значения среднесуточного удоя (23,797 кг), особенно в июле (24,452%). Наибольшие значения содержания белка отмечены в зимний период (3,42%), а также более высокие значения показателя «массовая доля жира» (6,16%) в данный период. Животные хозяйства ФГУП «Орошаемое» тоже показали в летний период наиболее высокие значения среднесуточного удоя (24,049 кг), особенно в июле (31,617 кг). Высокие значения массовой доли жира (4,48%) и белка отмечены в зимний период (3,26%).

У животных голштинской породы хозяйства «Донское», расположенного в резко континентальных климатических условиях, повышение удоя наблюдалось в зимний период, а также повышение массовой доли белка, что связано с переходом в это время на более питательные корма. Животные красной степной породы хозяйства «ПЗК им. Ленина» показали неплохие продуктивные качества в жестком климате Волгоградской области. Наибольшее значение среднесуточного удоя отмечено в зимний период (15,012 кг). Величина показателя «массовая доля жира» была также выше в зимний период (4,558%) и показателя «массовая доля белка» в этот период также была выше (3,336%). У коров симментальской породы хозяйства «Путь Ленина» жира больше содержалось в молоке зимнего периода, а наибольшие показатели среднесуточного удоя (21,586 кг) и массовой доли белка (3,37%) – в весенний период.

Повышению качественных показателей молока от коров в летний период способствует проведение мероприятий по восстановлению пастбищного травостоя, соблюдение зооигиенических правил выпаса животных, интенсификация кормопроизводства.

По результатам сравнения аминокислотного состава белка молока коров рассматриваемых пород с аминокислотным составом эталонного белка можно сделать вывод, что белок, содержащийся в молоке коров I, III, IV и V опытных групп, обладает более высокой пищевой ценностью и удовлетворяет организм человека в незаменимых аминокислотах. Аминокислотный скор всех исследованных незаменимых аминокислот в белке молока коров данных групп превышает 100%. Белок, содержащийся в молоке коров II опытной группы, в летний и осенний периоды содержит меньше лимитирующей аминокислоты для дойных коров – лизина и, соответственно, аминокислотный скор составил 92,91 и 95,45%. Повысить качество белковых компонентов молока можно сбалансированным, полноценным питанием.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что в засушливых условиях степных и полупустынных зон южных регионов России, при минимуме площадей естественного зеленого корма в летний период, но при создании благоприятных условий кормления и содержания в хозяйствах, возможно про-

изводство молока-сырья с высокими показателями качества и экологической безопасности, удовлетворяющими требования нормативных документов по выработке молочной продукции, в том числе для детского питания.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена по гранту РНФ 19-76-10010, ГНУ НИИММП.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out under grant of the Russian Science Foundation 19-76-10010, SSI NIIMMP.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рябинина Н.О., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С. Современное состояние и динамика степных геосистем юго-востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 116-127. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-116-127
2. Сельское хозяйство в России. 2019: Статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). 2019. 91 с.
3. Лобойко В.Ф., Агишева Н.Р., Тересов Д.С. Оценка экологического состояния почвенного компонента агроландшафта в условиях ФГУП ОПХ «Орошаемое» // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию окончания Сталинградской битвы, Волгоградский государственный аграрный университет, 31 января-02 февраля, 2018. С. 366-372.
4. West J.W. Managing and Feeding Lactating Dairy Cows In Hot Weather // Bulletin 956. 2017. P. 1-8.
5. Wall E., Maurin J. Heat stress in the dairy cow: A refreshing new take // Dairy Global, April 20, 2016. URL: <https://www.dairyglobal.net/Articles/General/2016/4/Heat-stress-in-the-dairy-cow-A-refreshing-new-take-2778506W/> (дата обращения: 19.04.2020)
6. Терентьева А.С. Американское животноводство: проблема эффективности // Журнал «Россия и Америка в XXI веке». 2019. Вып. 2. DOI: 10.18254/S207054760006016-4
7. Мелихов В.В., Зибаров А.А., Мелихова Н.П., Романова А.В. Характер и направленность изменений климатических параметров Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2019. N 1 (53). С. 60-67. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-7
8. Горлов И.Ф., Федотова Г.В., Сложенкина М.И., Мосолова Н.И., Гишларкаев Е.И., Магомадов Т.А., Юлдашбаев Ю.А., Мосолова Д.А. Адаптационные особенности овец эдильбаевской породы, выращенных в агроэкологических условиях засушливых территорий Юга России // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 3. С. 71-81. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-71-81
9. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Mishina O.Yu., Vorontsova E.S. Productivity and biological value of milk from cows of various eco-genetic types // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Т. 13. N 7. P. 2562-2570. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012043
10. Суровцев В.Н., Никулина Ю.Н. Реализация региональных и местных преимуществ для устойчивого раз-

вятия молочного скотоводства // Молочное и мясное скотоводство. 2018. N 2. С. 12-16. DOI:

10.25632/MMS.2018.2.13756

11. Горлов И.Ф., Кайдулина А.А., Сложенкина М.И., Мосолова Н.И., Бармина Т.Н., Суркова С.А. Влияние скрещивания коров красной степной породы с быками англеской породы на молочную продуктивность и морфофункциональные особенности вымени // Аграрно-пищевые инновации. Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Волгоград). 2018. N3 (3). С. 34-37. DOI: 10.31208/2618-7353-2018-1-3-34-37
12. Сизова Ю.В. Лимитирующие аминокислоты в кормлении лактирующих коров // Вестник биотехнологии. 2016. N 1. С. 4. URL: http://bio.beonrails.ru/uploads/article/pdf/41/%D0%A1%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0_1.pdf (дата обращения: 15.04.2020)
13. Волгин В.И., Романенко Л.В., Прохоренко П.Н., Федорова З.Л., Корочкина Е.А. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности. М.: РАН, 2018. 260 с.

REFERENCES

1. Ryabinina N.O., Kanishchev S.N., Shinkarenko S.S. The current state and dynamics of geosystems in the South-East of the Russian plain (by the example of the natural parks in Volgograd region). *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 116-127. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-116-127
2. *Sel'skoe khozyaistvo v Rossii. 2019: Statisticheskii sbornik / Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki (Rosstat)* [Agriculture in Russia. 2019. Statistical collection. Federal state statistics service (Rosstat)]. 2019, 91 p. (In Russian)
3. Loboiko V.F., Agisheva N.R., Tegesov D.S. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvennogo komponenta agrolandshafta v usloviyakh FGUP OPKh «Oroshaemoe» [Assessment of the ecological state of the soil component of the agricultural landscape in the conditions of FSUE OPH "Irrigated"]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 75-letiyu okonchaniya Stalingradskoi bitvy, Volgogradskii gosudarstvennyi agrarniy universitet, 31 yanvarya-02 fevralya, 2018* [Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the end of the battle of Stalingrad, Volgograd state agrarian University, 31 January – 02 February, 2018]. 2018, pp. 366-372. (In Russian)
4. West J.W. Managing and Feeding Lactating Dairy Cows In Hot Weather. *Bulletin* 956, 2017, pp. 1-8.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

5. Wall E., Maurin J. Heat stress in the dairy cow: A refreshing new take. *Dairy Global*, April 20, 2016. Available at: <https://www.dairyglobal.net/Articles/General/2016/4/Heat-stress-in-the-dairy-cow-A-refreshing-new-take-2778506W/> (accessed 19.04.2020)

6. Terentieva A.S. U.S. livestock the efficiency problem. *Russia and America in the 21st Century*, 2019, iss. 2. (In Russian) DOI: 10.18254/S207054760006016-4
7. Melikhov V.V., Zibarov A.A., Melikhova N.P., Romanova A.V. Nature and direction of changes of climatic parameters of the Volgograd region. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2019, no. 1 (53), pp. 60-67. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-7
8. Gorlov I.F., Fedotova G.V., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Gishlarkaev E.I., Magomadov T.A., Yuldashbayev Yu.A., Mosolova D.A. Adaptive features of edilbaev breed sheep grown in agroecological conditions of dry territories of the South of Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 71-81. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-71-81
9. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Mishina O.Yu., Vorontsova E.S. Productivity and biological value of milk from cows of various eco-genetic types. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, vol. 13, no. 7, pp. 2562-2570. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012043
10. Surovtsev V.N., Nikulina Yu.N. Implementation of regional and local advantages for sustainable development of dairy cattle breeding. *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*, 2018, no. 2, pp. 12-16. DOI: 10.25632/MMS.2018.2.13756
11. Gorlov I.F., Kaidulina A.A., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Barmina T.N., Surkova S.A. The effect of crossing red steppe cows breed with bulls of the angarskaya breed on milk production and morphological and functional characteristics of udder. *Agricultural and food innovations*, 2018, no. 3 (3), pp. 34-37. DOI: 10.31208.2618-7353-2018-1-3-34-37
12. Sizov Yu.V. Limiting amino acids in feeding of dairy cows. *Bulletin of biotechnology*. 2016. no. 1. 4 p. Available at: http://bio.beonrails.ru/uploads/article/pdf/41/%D0%A1%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0_1.pdf (accessed 15.04.2020)
13. Volgin V.I., Romanenko L.V., Prokhorenko P.N., Fedorova Z.L., Korochkina E.A. *Polnotsennoe kormlenie molochnogo skota – osnova realizatsii geneticheskogo potentsiala produktivnosti* [Complete feeding of dairy cattle-the basis for realizing the genetic potential of productivity]. Moscow, RAS Publ., 2018, 260 p.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors 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

Иван Ф. Горлов / Ivan F. Gorlov <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

Марина И. Сложенкина / Marina I. Slozhenkina <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

Ольга Ю. Мишина / Olga Y. Mishina <https://orcid.org/0000-0001-5716-5517>

Екатерина В. Карпенко / Ekaterina V. Karpenko <https://orcid.org/0000-0003-3643-6431>

Наталья И. Мосолова / Natalya I. Mosolova <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>

Оригинальная статья / Original article
УДК 528.942
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-126-136

Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова Внутригорного Дагестана

Раисат Т. Раджабова¹, Наталья А. Алексеенко^{2,3}, Башир М. Курамагомедов³,
Загра Ш. Тажудинова⁴, Залимхан М. Султанов¹

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия,

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Институт географии Российской Академии Наук, Москва, Россия

⁴Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Раисат Т. Раджабова, кандидат биологических наук, доцент кафедры рекреационной географии и устойчивого развития Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79887846760
Email raisatr@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

Формат цитирования

Раджабова Р.Т., Алексеенко Н.А., Курамагомедов Б.М., Тажудинова З.Ш., Султанов З.М. Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова Внутригорного Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 126-136. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-126-136

Получена 22 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 14 июля 2020 г.

Принята 5 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Подбор и анализ индексных изображений, пригодных для дешифрирования растительного покрова в условиях Внутригорного Дагестана.

Методы. Исследование проведено на базе разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения, полученных съемочной системой спутника серии Sentinel-2, с применением методов цифровой обработки геоизображений. Обработка осуществлена с использованием возможностей геосервиса Google Earth Engine.

Результаты. Получены разновременные индексные изображения для территории Внутригорного Дагестана. Проанализированы временные ряды сезонных изменений индексов (NDVI, SAVI, EVI), что позволило выявить фенологические закономерности растительности и на основе этого картографировать растительный покров. Для данной территории созданы схемы дешифрирования растительности, по которым выделены участки: лишенные растительности, травянистая растительность разной степени густоты, древесная (лиственная и хвойная).

Заключение. При изучении растительного покрова по индексным изображениям в разных природных условиях необходимо учитывать природные особенности территории, а также использовать дополнительные источники пространственной информации, включая методы полевых исследований.

Ключевые слова

Космические снимки, индексные изображения, вегетационный индекс, Google Earth Engine, Внутригорный Дагестан, SAVI, NDVI, EVI.

The use of index images for decoding the vegetation cover of inner mountain Dagestan, Russia

Raisat T. Radzhabova¹, Natalia A. Alekseenko^{2,3}, Bashir M. Kuramagomedov³,
Zagra Sh. Tazhudinova⁴ and Zalimkhan M. Sultanov¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia,

²M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Raisat T. Radzhabova, 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, Russia 367001. Tel. +79887846760

Email raisatr@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

How to cite this article

Radzhabova R.T., Alekseenko N.A., Kuramagomedov B.M., Tazhudinova Z.Sh., Sultanov Z.M. The use of index images for decoding the vegetation cover of inner mountain Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 126-136. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-126-136

Received 22 June 2020

Revised 14 July 2020

Accepted 5 September 2020

Abstract

Aim. Selection and analysis of index images suitable for deciphering the vegetation cover in the conditions of inner mountain Dagestan.

Methods. The study was carried out on the basis of multi-temporal satellite images of high spatial resolution, obtained by the imaging system of the Sentinel-2 series satellite, using methods of digital processing of geoimages. Processing was carried out using the capabilities of the Google Earth Engine geoservice.

Results. Multi-temporal index images were obtained for the territory of inner mountain Dagestan. The time series of seasonal changes in the indices (NDVI, SAVI, EVI) were analyzed, making it possible to reveal the phenological patterns of vegetation and to map the vegetation cover on this basis. Schemes for decoding vegetation have been created by which areas are distinguished according to the following characteristics: devoid of vegetation, herbaceous vegetation of varying degrees of density or woody (deciduous and coniferous).

Conclusion. When studying vegetation cover using index images in a range of natural conditions, it is necessary to take into account the natural features of the territory, as well using additional sources of spatial information including field research methods.

Key Words

Space images, index images, vegetation index, Google Earth Engine, inner mountain Dagestan, SAVI, NDVI, EVI.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях изменения климата растительный покров является одним из важных индикаторов, который позволяет определять тенденции этих изменений. При изучении растительности критически важно различать участки с растительностью и без нее. Это поможет в мониторинге и управлении территориями, поскольку, как сообщается, в последние годы потеря и деградация растительного покрова происходит значительными темпами. Инструментом, позволяющим произвести исследования растительного покрова являются многовременные ряды космических снимков. В связи с чем актуальными становятся проведение исследований динамики и изменений растительного покрова на базе компьютерной обработки космических снимков.

При изучении и картографировании растительного покрова космические снимки стали применяться, начиная с 70-х г. прошлого века. В этот же период, помимо самих снимков для визуального дешифрирования, начали использовать математические операции (сложение, вычитание и т.д.) над различными спектральными каналами. В результате чего получается новый тип изображений – индексные изображения, несущие информацию о новых свойствах объектов незаметных впрямую на снимках.

В зависимости от особенностей съемочного сенсора и решаемых задач разработано большое количество индексов. Для оценки фитомассы, продуктивности, динамики и состояния растительного покрова используют вегетационный индекс и его различные модификации. В базе индексов [1] приведены свыше 250 разновидностей вегетационного индекса. Ввиду простоты вычисления наиболее используемым является нормализованный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Этот индекс хорошо себя проявил при исследованиях регионального или глобального уровней [2; 3].

Анализ временных рядов сезонных данных NDVI позволил оценить фитомассу для различных типов биомов, выполнить мониторинг фенологических закономерностей растительного покрова Земли и оценить продолжительность вегетационного периода и периодов засухи [4].

Однако, считается, что его использование неоправданно при выполнении исследований более детального уровня и в определенных природных условиях. Многочисленные исследования подтвердили, что продукты NDVI могут быть нестабильными в зависимости от цвета почв, влажности, атмосферных условий и т.д. Так, для пустынных, полупустынных и иных районов с разреженным растительным покровом, в нормализованный вегетационный индекс необходимо внести поправку за почвенно-грунтовые условия [4; 5].

В свою очередь, несмотря на то, что вегетационные индексы, скорректированные на почвенно-грунтовые условия должны показать лучшие результаты, чем не скорректированные индексы, результаты некоторых исследований для территорий с дефицитом влаги не дали ожидаемого результата [5].

Изучение состояния растительного покрова, его динамики и пространственного распределения различных экологических групп, а также геоботаническое кар-

тографирование опираются на вегетационные индексные изображения, во многом подбираемые эмпирическим путем.

Целью данной работы ставилась проверка применимости скорректированных и не скорректированных вегетационных индексов для оценки состояния, и картографирования растительного покрова в условиях Внутригорного Дагестана.

Внутригорный Дагестан представляет собой орографически замкнутую область со сложным рельефом и неоднородным климатом. Это обуславливает формирование разнообразного почвенно-растительного покрова. Характерными типами ландшафтов выступают горно-ксерофитные, горно-степные и горно-луговые. Общий орографический рисунок достаточно сложный и образован хаотическим нагромождением хребтов, платообразных возвышенностей и глубоких долин. Как отмечается в работах [6; 7] особенностью данной территории является наличие ксерофитных котловин с острым дефицитом влаги и высокими показателями температуры. Для более высоких участков характерно увеличение количества осадков, уменьшение континентальности климата. Указанные условия, в сочетании с активными склоново-оползновыми и эрозионными процессами, находят отражение в пространственной структуре растительного покрова.

Оптические свойства ландшафтов передаются на космических снимках через цветопередачу: преобладание оранжево-коричневых оттенков во Внутригорном Дагестане (рис. 1) обусловлено наличием скудного растительного покрова или его отсутствием.

В качестве модельного участка при получении и анализе индексных изображений выбрано междуречье Андийского Койсу и Каракойсу.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для проведения исследования послужили разновременные многозональные снимки, полученные со спутника Sentinel-2. Данный спутник оснащен съемочной камерой MultiSpectral Instrument (MSI), который измеряет отраженное излучение Земли в 13 спектральных диапазонах от оптического до дальнего инфракрасного. Спектральные каналы имеют разное пространственное разрешение: голубой, зеленый, красный, ближний инфракрасный – 10 м/пиксел; дальний инфракрасный – 60 м; остальные каналы – 20 м. Снимки Sentinel-2 представляются в двух вариантах обработки (рис. 2). Уровень обработки L1C – «сырые значения», обеспечивает максимальную отражательную способность без учета влияния атмосферы. При этом проведена геометрическая коррекция сцен. Этот уровень обработки применим при обработке и анализе одиночных снимков, без сравнительного анализа со снимками за разные даты (сезоны) или разных съемочных систем. При необходимости сравнения снимков «сырые значения» яркости пиксела переводятся в значение излучения на сенсоре. Продукты уровня обработки L2A проходят атмосферную коррекцию, учитывая параметры съемочной системы и солнечного излучения в момент съемки [4]. Данные этого уровня обработки использованы для выполнения нашей работы.



Рисунок 1. Схема Внутригорного Дагестана
Figure 1. Region of inner mountain Dagestan



Рисунок 2. Фрагмент снимка: слева – до атмосферной коррекции, справа – после атмосферной коррекции
Figure 2. Section of an image: left – before atmospheric correction, right – after atmospheric correction

В архивах Sentinel-2 произведен поиск снимков на интересующую область за 2017-2019 гг. Всего выявлено наличие 521 сцен, на которые полностью или частично попадает область исследования. Из найденного массива отобраны сцены, на которых облачное покрытие менее 15%. Снимков, соответствующих данному условию – 213. Всего спектральных каналов, подлежащих обработке около 1000, что требует значительных вычислительных мощностей.

Отбор, оценка пригодности и обработка выбранных сцен произведены на облачной платформе Google Earth Engine (GEE). Выбор облачного геосервиса GEE обусловлен необходимостью сокращения времени обработки большого массива данных и возможностью автоматизации одинаковых задач, с помощью скриптов на языках JavaScript или Python [8].

На GEE поэтапно выполнены процедуры коррекции и синтеза каналов в истинных и псевдоцветах. Далее по снимкам без облачного покрова вычислены индексы, визуализированные в виде индексных изображений: нормализованный вегетационный индекс (NDVI), почвенный вегетационный индекс (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI), усовершенствованный индекс растительности (Enhanced vegetation index, EVI), индекс голой почвы (Barren Soil, BS). Они учитывают влияние таких факторов, как содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова [1].

Определение индексов производилось на основе принятых математических формул, эмпирически подбирая, в некоторых случаях, коэффициенты:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} (1 + L)$$

$$EVI = G \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 RED - C2 BLUE) + L}$$

$$BS = \frac{G (SWIR + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR + RED) + (NIR + BLUE)}$$

Согласно приведенным формулам, для получения индексов использовались следующие спектральные каналы съёмочной системы спутника Sentinel-2: ближний инфракрасный – NIR, красный – RED, голубой – BLUE, средний инфракрасный – SWIR. Основные каналы для изучения растительного покрова – красный и ближний инфракрасный. Использование других каналов позволяет корректировать фоновое отражение почвы и воздействие атмосферы.

Выделены четыре характерных участка: с лиственными деревьями, хвойными деревьями, травяной растительностью и открытыми почвами, для которых произведен расчет среднемесячных показателей индексов.

Анализ полученных значений индексов и индексных изображений, произведён путем визуального сопоставления результатов со снимками в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

В качестве вспомогательной информации о растительном покрове использовались полевые описания, приведенные в литературе [6], картографические материалы [7] и высокдетальные космические снимки, размещенные в открытом доступе [9].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первый участок расположен вблизи с. Чирката (рис. 3.1) в пределах долинно-котловинных ландшафтов со щебнистыми каштановыми почвами, ксерофитными травяными и кустарниковыми ассоциациями. Растительный покров ксерофитных котловин в целом сильно разреженный, что можно заметить на высокдетальных космических снимках.

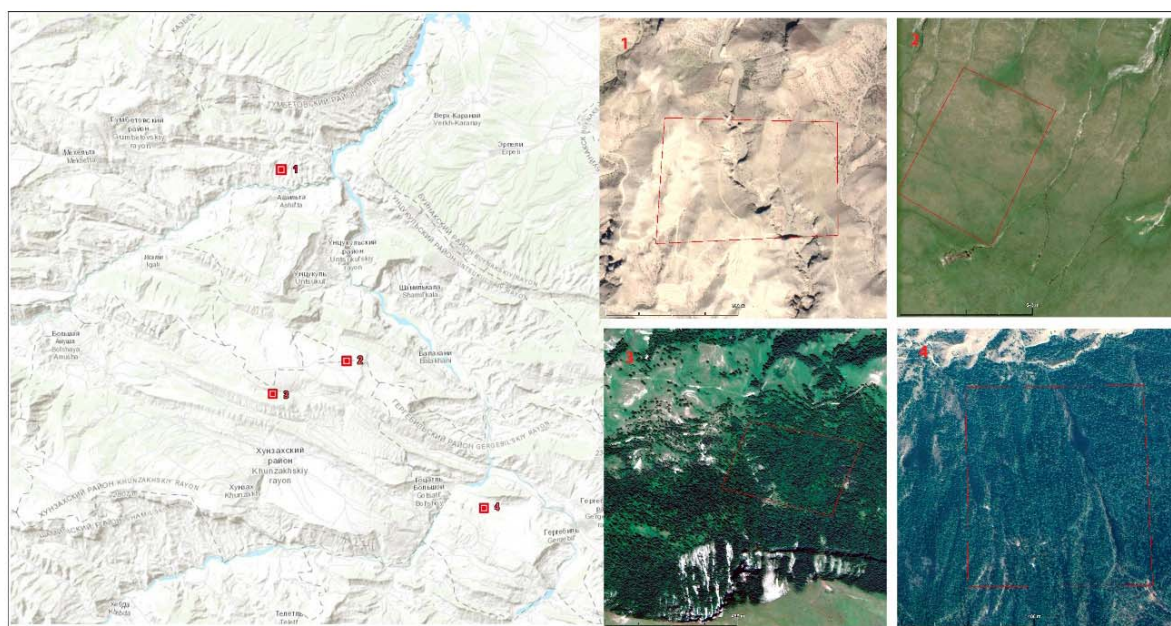


Рисунок 3. Эталонные участки расчёта вегетационных индексов

Figure 3. Reference areas for calculating vegetation indices

Для данного участка характерен неравномерный ход и низкие показатели всех трех индексов, приведённый на рис. 4. В период активной вегетации с апреля по август максимальное значение NDVI не превышает показателя 0.4, а в осенне-зимний период не опускается ниже 0.1. Это соответствует сильно разреженной растительности.

Индексы EVI и SAVI для данного участка показывают очень близкие или практически одинаковые значения. В отличие от NDVI эти индексы в осенне-зимний период колеблются от 0.01 до 0.05, что характерно для открытых почв.

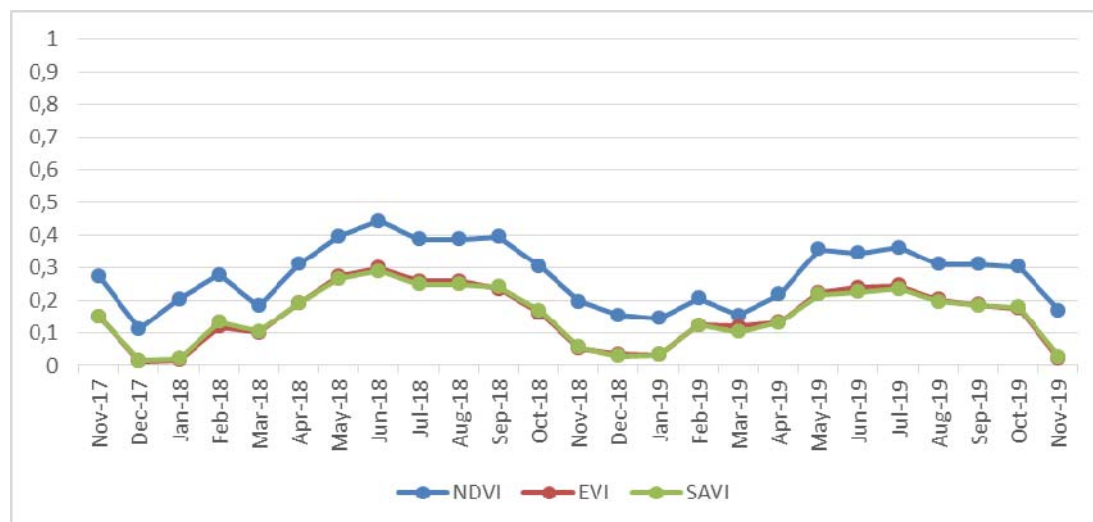


Рисунок 4. График хода вегетационных индексов для участков с сильно разреженной растительностью

Figure 4. Timeline of vegetation indices for areas with very sparse vegetation

Второй эталонный участок расположен на плато Арак-мезр (рис. 3.2). Это характерный участок среднегорных ландшафтов с разнотравно-злаковыми ассоциациями на каштановых и черноземных горных почвах. Данная территория используется в виде сельскохозяйственных угодий под пашни и пастбища.

Хорошо описывают графики всех трех индексов фенологическое состояние разнотравно-злаковых ассоциаций. График вегетационного индекса, на рис. 5,

показывает характерные для вегетирующей растительности значения индексов в летние периоды (больше 0.5) и низкие значения (0.2-0.3) в зимний. Несильно отличаются между собой ход индексов EVI и SAVI, максимумы и минимумы которых достигаются в те же периоды, что NDVI. Отличие значений, как и в предыдущем примере, между максимальными значениями всех индексов относительно небольшое – 0.2 единицы.

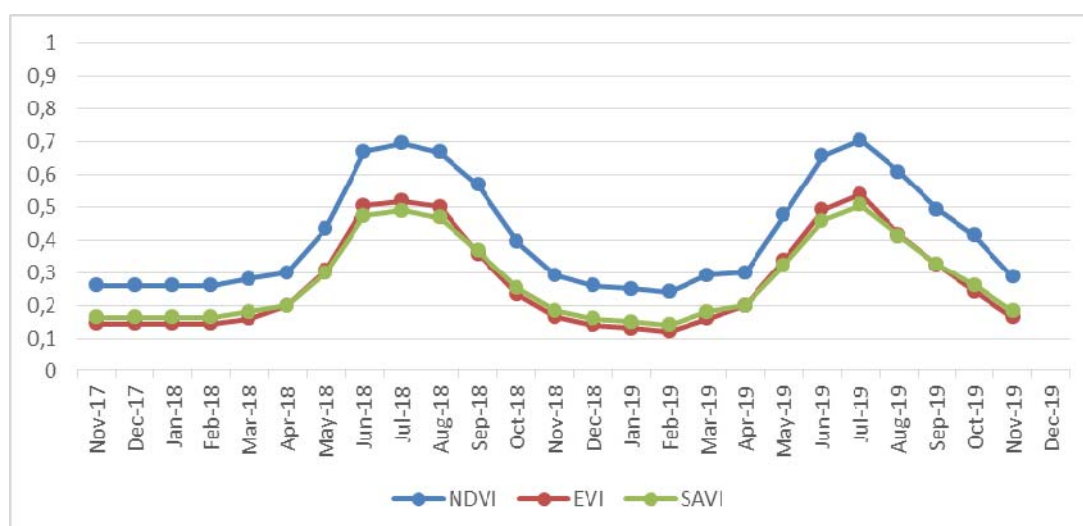


Рисунок 5. График хода вегетационных индексов для участков с травянистой растительностью

Figure 5. Timeline of vegetation indices for areas with herbaceous vegetation

Лесной участок с лиственными породами деревьев, расположен к северо-западу от с. Буцра (рис. 3.3). Этот участок относится к среднегорным ландшафтам с черноземными и луговыми почвами, низко-осоково-злаково-разнотравными ассоциациями. Такие участки,

с небольшими лесными массивами, расположены на северных склонах хребтов исследуемой территории.

Ход индексов для лиственных лесов, вычисленный по одним и тем же снимкам, не равномерен, что заметно по рис. 6. Показатели NDVI начиная с апреля

весь летний период держатся на уровне 0.8, что характерно для обильной вегетирующей растительности с плотным покрытием. Осенью и зимой эти показатели находятся в пределах 0.5, хотя должны быть намного ниже. В декабре 2018 г. среднее значение NDVI возрастает с 0.6 до 0.7, что должно свидетельствовать о начале вегетации. Это дефект, скорее всего, возник за счет

дымки и облачности на снимках. Однако этот пик не просматривается на графиках EVI и SAVI. Кроме того, в отличие от двух предыдущих участков, здесь просматривается сильный разброс значений в одни и те же периоды между NDVI и индексами с поправками.

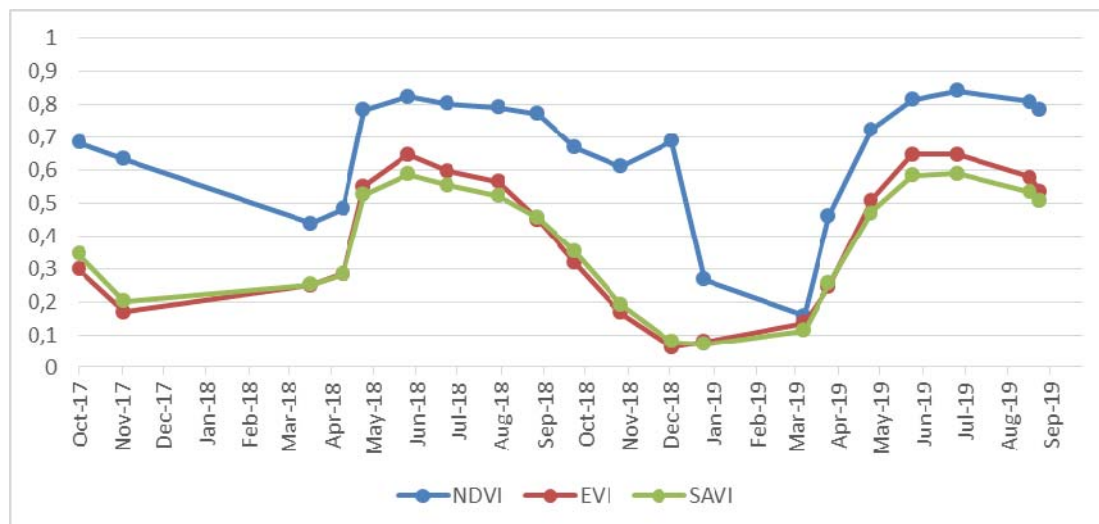


Рисунок 6. График хода вегетационных индексов для участков с лиственными породами

Figure 6. Timeline of vegetation indices for areas with deciduous species

Индексы EVI и SAVI для данного типа растительности показывают закономерный и более соответствующий временам года ход вегетации.

Участок с хвойной растительностью расположен на северном склоне г. Ипутамеэр. В ландшафтном районировании данный участок относится к среднегорным ландшафтам с разнотравно-злаковыми ассоциациями на каштановых и черноземных горных почвах.

Графики индексов на рис. 7, для данного участка, показали ожидаемый результат – практически равномерный ход значений. Однако такой равномерный вид присущ для индексов с поправками. Их значение держится на уровне 0.25-0.3. NDVI имеет неравномерный ход и имеет разброс средних значений в 0.2 единиц.

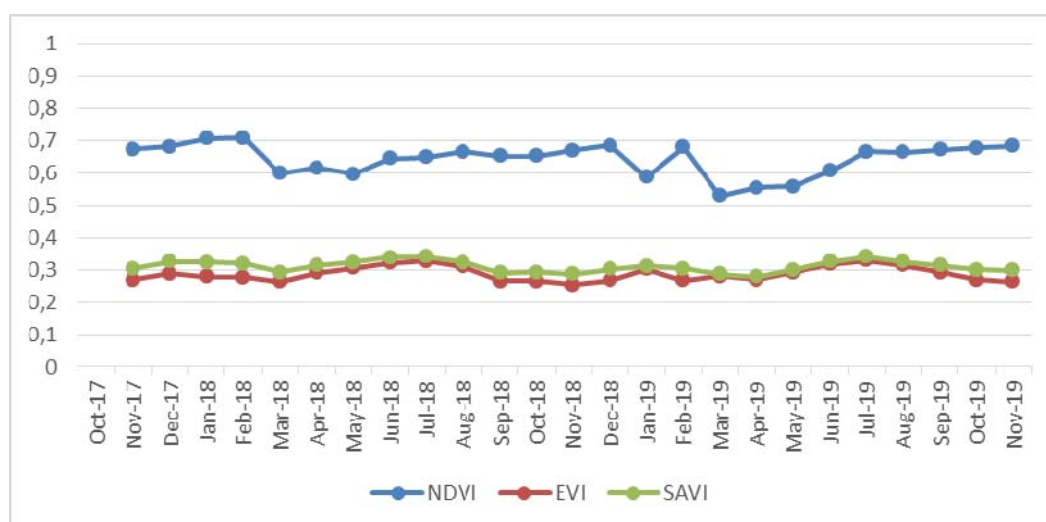


Рисунок 7. График хода вегетационных индексов для участков с хвойными породами

Figure 7. Timeline of vegetation indices for areas with coniferous species

В сравнении со значениями индексов EVI и SAVI показатели NDVI намного превышают, как и в предыдущем примере.

Приведенные выше графики в целом, показали ожидаемые результаты хода вегетационных индексов:

высокие значения в летние периоды и низкие в осенне-зимние. Кроме того, следует учитывать, что каждый пример имеет свои особенности и выбросы, обусловленные специфическими условиями участка. Несмотря

на близость значений SAVI и EVI, более всего эти выбросы сглажены для EVI.

Для хвойных деревьев индексы должны иметь небольшой разброс значений и постоянный ход, что подтверждается индексами SAVI и EVI, в отличие от NDVI.

Рассчитанные на конкретные даты индексные изображения, позволили произвести анализ пространственного распределения индексов и выделить участки со скудным растительным покровом (рис. 8, 9).

Снимок, представленный на рис. 8, получен во время вегетации большинства видов растительности 01.06.2019 г. Визуальное дешифрирование, выполняемое по снимкам в комбинации «истинные» (R-G-B) и «ложные» (NIR-R-G) цвета, значительно затруднено.

Разграничение территории с разной степенью плотности растительного покрова по ним практически невозможно.

Индекс открытой почвы позволил разграничить участки с редким растительным покровом (на рис. 8с, выделен оттенками красного цвета). Так выделились участки, расположенные в долинах рек, соответствующие, согласно ландшафтной карте, двум типам ландшафтов: горным степным и горным ксерофитным. Пространственная структура этого индекса показывает, что схожие свойства имеют и обширные участки восточнее Чиркейского водохранилища, отнесенные ранее к лесостепному типу растительности.

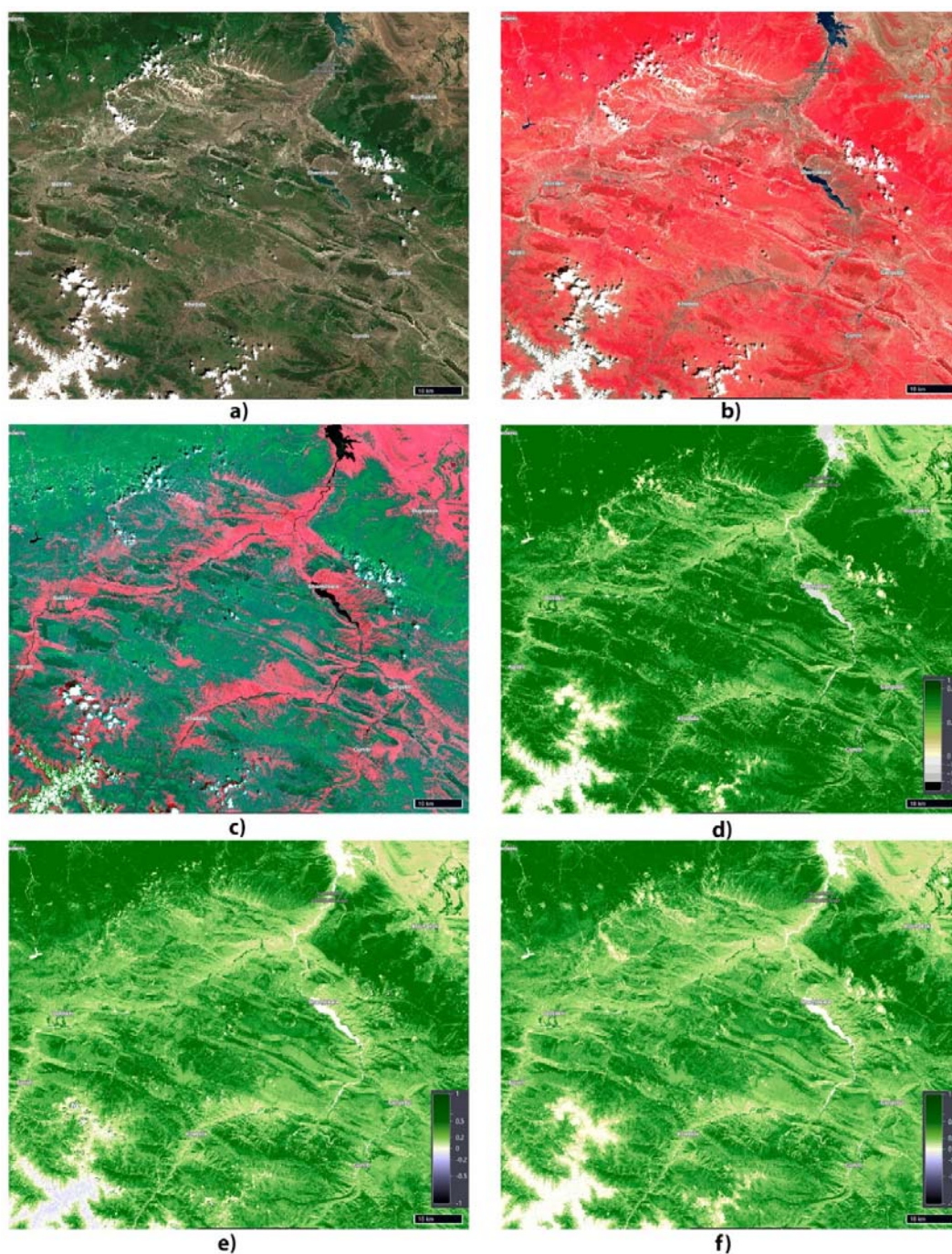


Рисунок 8. Индексные изображения на 01.06.2019 г.: а) снимок R-G-B; б) снимок NIR-R-G; в) BS; д) NDVI; е) SAVI; ф) EVI
Figure 8. Index images of 01.06.2019: а) R-G-B image; б) NIR-R-G image; в) BS; д) NDVI; е) SAVI; ф) EVI

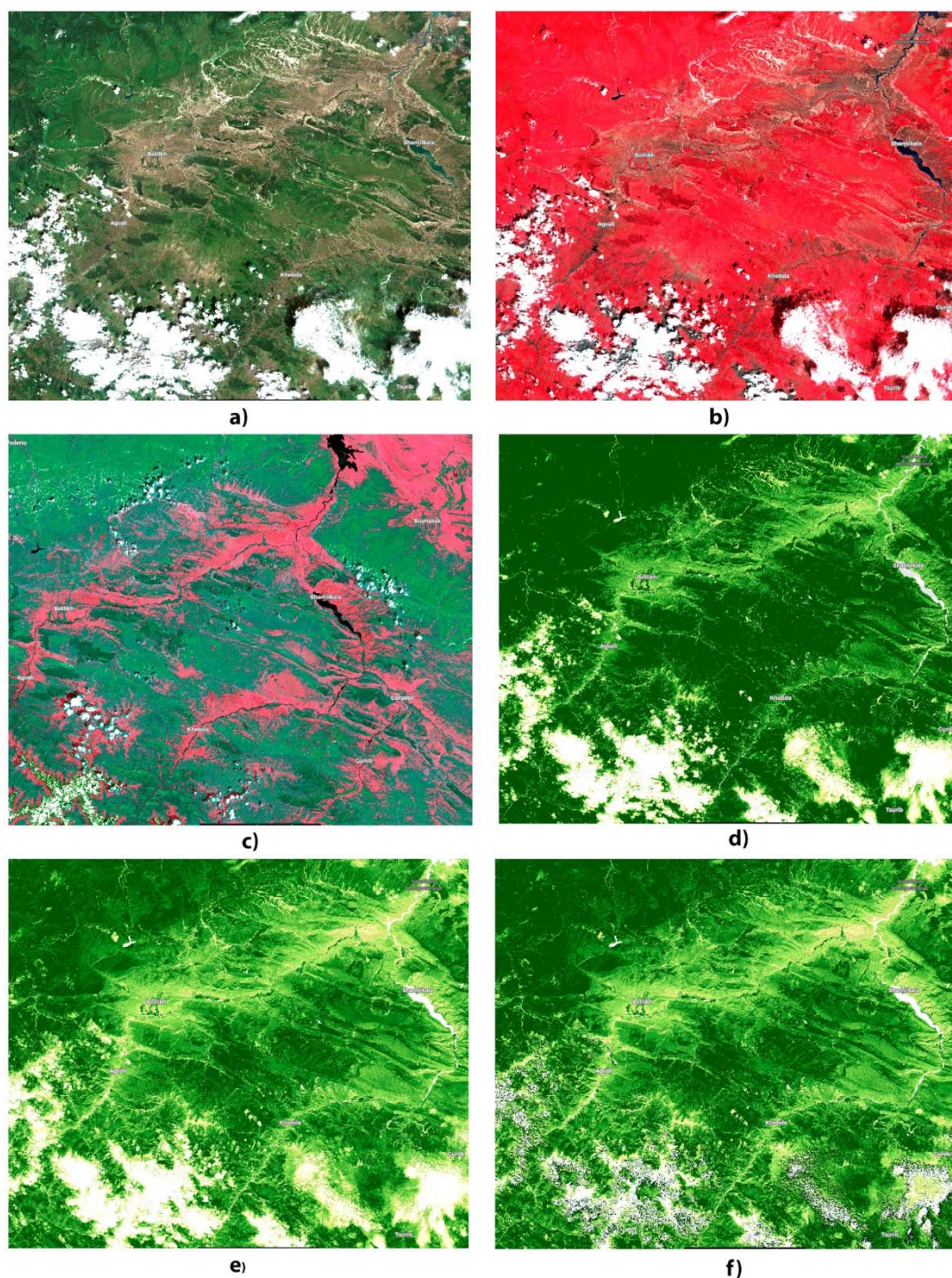


Рисунок 9. Индексные изображения на 31.07.2019 г.: а) снимок R-G-B; б) снимок NIR-R-G в) BS; д) NDVI; е) SAVI; ф) EVI
Figure 9. Index images of 31.07. 2019: a) R-G-B image; b) NIR-R-G image c) BS; d) NDVI; e) SAVI; f) EVI

Разностный вегетационный индекс (NDVI) показывает, что растительность находится в стадии вегетации. Для травянисто-злаковых ассоциаций и древесной растительности значение NDVI выше 0.6, что не позволяет разграничить их между собой в этот период. Для долины характерны сочетание участков с NDVI от 0.01 до 0.2, соответствующие открытым почвам и разреженной растительности. В целом, изображение NDVI характеризуется завышенными значениями.

Индексные изображения EVI и SAVI имеют небольшие отличия. Оба изображения позволяют разде-

лить древесную и травянистую растительность. Однако участки, лишенные растительности или с разреженной растительностью, лучше выделяются на изображении EVI.

На снимке, полученном 31.07.2019 г. (рис. 9), в период, когда средние значения индексов для растительности на разных стадиях вегетации сильнее различаются, можно заметить, что NDVI повсеместно достиг высоких значений. На данную дату, показатель NDVI в ксерофитных долинах достиг значения 0.6, что характерно для сомкнутого растительного покрова. Более

низкие значения, присущие для открытых почв и разряженной растительности, характерны изображениям EVI/SAVI.

Другие типы растительности различимы между собой на индексных изображениях с поправками. На изображениях NDVI луговая и древесная растительность имеют одинаково высокие показатели индекса, что не позволяет их отделить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение растительного покрова Внутригорного Дагестана и его окрестностей по индексным изображениям подтверждает, что в аридных условиях необходимо использовать вместо стандартного вегетационного индекса индексы с поправками за условия среды. Таких индексов разработано достаточно большое количество, что при сопоставлении и комплексном анализе могут дать важные результаты о ходе явлений и процессов в окружающей среде. К примеру, при сопоставлении индексных изображений содержания воды и вегетации растительного покрова можно выявить биоморфы растений.

Результаты дешифрирования космических снимков, несмотря на то, что находят широкое применение в эколого-географических работах, предполагают их полевую верификацию. Дальнейшее проведение полевых работ по наземному спектрометрированию участков и их геоботаническому описанию на Хунзахском плато позволит создать библиотеку образов природных объектов в условиях Внутригорного Дагестана и произвести автоматизированное дешифрирование методами машинного (компьютерного) обучения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках темы ГЗ ИГ РАН № АААА-А19-119022190168-8

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the theme of GS IG RAS No. АААА-А19-119022190168-8

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Henrich V. et al. Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungs indizes // Bochum: AK Fernerkundung. 2012. V. 15. Disponible em: <https://www.indexdatabase.de/>.Acessoem>
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
3. Братков В.В., Атаев З.В. Вегетационные индексы и их использование для картографирования горных ландшафтов Российского Кавказа // *APRIORI. Серия: Естественные и технические науки*. 2017. N 1. С. 3-23. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28376010_77664468.pdf (дата обращения 24.04.2020)
4. Spadoni G.L., Cavalli A., Congedo L., Munafò M. Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2020. V. 20. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100419

5. Ren H., Zhou G., Zhang F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for above-ground living biomass estimation in arid grasslands // *Remote Sensing of Environment*. 2018. V. 209. P. 439-445. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.068
6. Лепехина А.А. Флора и растительность Дагестана. Ботанические факторы ноосферы. Махачкала: Полиграф-экспресс, 2002. 350 с.
7. Чиликина Л.Н. Карта растительности Дагестанской АССР. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1962.
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // *Remote sensing of Environment*. 2017. V. 202. P. 18-27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
9. Малышева Н.В. Дешифрирование древесной растительности на сверхдетальных изображениях: методическое пособие для подготовки специалистов высшего профессионального образования. Зарегистрировано ФГУП НТЦ Информрегистр. Регистрационное свидетельство N 35711. Москва, 2014. 40 с.

REFERENCES

1. Henrich V. et al. Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungs indizes // Bochum: AK Fernerkundung. 2012, vol. 15. Disponible em: <https://www.indexdatabase.de/>.Acessoem>
2. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia]. Moscow, IKI RAS Publ., 2016, 208 p. (In Russian)
3. Bratkov V.V., Ataev Z.V. Vegetation Indexes and their use for mapping mountainous landscapes of the Russian Caucasus. 2017, no. 1. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28376010_77664468.pdf (accessed 24.04.2020)
4. Spadoni G.L., Cavalli A., Congedo L., Munafò M. Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2020, vol. 20. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100419
5. Ren H., Zhou G., Zhang F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for above-ground living biomass estimation in arid grasslands. *Remote Sensing of Environment*, 2018, vol. 209, pp. 439-445. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.068
6. Lepikhina A.A. *Flora i rastitel'nost' Dagestana. Botanicheskie faktory noosfery* [Flora and vegetation of Dagestan. Botanical factors of the noosphere]. Makhachkala, Poligraf-ekspress Publ., 2002, 350 p. (In Russian)
7. Chilikina L.N. *Karta rastitel'nosti Dagestanskoi ASSR* [Vegetation map of the Dagestan ASSR]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1962. (In Russian)
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 2017, vol. 202, pp. 18-27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
9. Malysheva N.V. *Deshifirovaniye drevesnoi rastitel'nosti na sverkhdetal'nykh izobrazheniyakh* [Deciphering woody vegetation in ultra-detailed images]. Moscow, 2014, 40 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Раисат Т. Раджабова выполнила обзор литературы и корректировку рукописи до подачи в редакцию. Башир М. Курамагомедов и Залимхан М. Султанов проанализировали данные, выполнили обработку, дешифрирование и расчеты индексов. Наталья А. Алексеенко написала разделы «Введение» и «Заключение». Загра Ш. Тажудинова провела анализ вегетационных индексов. 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

Raisat T. Radzhabova reviewed the literature and corrected the manuscript before submitting it to the Editor. Bashir M. Kuramagomedov and Zalikmhan M. Sultanov analysed the data and performed processing, decryption and calculation of indices. Natalia A. Alekseenko wrote the sections "Introduction" and "Conclusion". Zagra Sh. Tazhudinova analysed vegetation indices. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Раисат Т. Раджабова / Raisat T. Radzhabova <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

Наталья А. Алексеенко / Natalia A. Alekseenko <https://orcid.org/0000-0003-2568-4114>

Башир М. Курамагомедов / Bashir M. Kuramagomedov <https://orcid.org/0000-0002-4446-0645>

Загра Ш. Тажудинова / Zagra Sh. Tazhudinova <https://orcid.org/0000-0003-1635-7488>

Залимхан М. Султанов / Zalikmhan M. Sultanov <https://orcid.org/0000-0003-3675-6283>

Оригинальная статья / Original article
УДК 330.15: 504.05
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-137-144

Теоретические аспекты эффективности применения оценки экономического ущерба в сфере экологического аудита: проблемы и пути решения

Назирхан Г. Гаджиев¹, Сергей А. Коноваленко², Михаил Н. Трофимов²,
Хаида Г. Ахмедова³, Магомед З. Гаджидаев¹, Умугани А. Гаджиева⁴

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Рязанский филиал Московского университета МВД России им. В.Я. Кикотя, Рязань, Россия

³Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

⁴Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Сергей А. Коноваленко, кандидат экономических наук, доцент, профессор кафедры экономической безопасности, Рязанского филиала Московского университета МВД России имени В.Я. Кикотя; 390043 Россия, г. Рязань, ул. 1-я Красная, 18А. Тел. +79156247879
Email sergey_marsel@mail.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0001-9696-942X>

Формат цитирования

Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Ахмедова Х.Г., Гаджидаев М.З., Гаджиева У.А. Теоретические аспекты эффективности применения оценки экономического ущерба в сфере экологического аудита: проблемы и пути решения // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 137-144. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-137-144

Получена 10 октября 2019

Прошла рецензирование 20 января 2020 г.

Принята 5 марта 2020 г.

Резюме

Цель. Изучить теоретические основы применения оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды в сфере экологического аудита и бухгалтерского учета, выявить проблемы в действующих методиках и подходах, предложить конкретные пути их решения с учетом действующего законодательства и зарубежного опыта.

Материал и методы. Проведенные авторами исследования основывались на положениях действующих нормативно-правовых актов в сфере обеспечения экологической безопасности, охраны окружающей среды, оценки ущерба в экологической сфере, данных научных статей как отечественных, так и зарубежных специалистов в сфере экологического аудита. Исследование проведено с использованием таких теоретических методов исследования, как анализ, дедукция и прогнозирование.

Результаты. Авторы предлагают отойти от традиционных затратных (таксировочных) методик и закрепить в нормативной практике единый подход к оценке экономического ущерба, учитывающий актуарную методику оценки с учетом санкционных инструментов к недобросовестным субъектам экологических отношений, возможность дисконтирования расходов на восстановление окружающей среды и ущерба здоровью населения.

Заключение. Принятие единых подходов и принципов в оценке экономического ущерба поможет исключить манипуляции данной категорией при наложении экономических санкций на недобросовестных участников экологических отношений, обеспечит возможность улучшить экологическую ситуацию и здоровье населения в долгосрочном периоде.

Ключевые слова

Global Commons, экономический ущерб, природный потенциал, экологический аудит, бухгалтерский учет, подходы, принципы.

Theoretical aspects of the effectiveness of economic damage assessment in the field of environmental auditing: problems and solutions

Nazirkhan G. Gadzhiev¹, Sergey A. Konovalenko², Mikhail N. Trofimov²,
Khamida G. Akhmedova³, Magomed Z. Gadzhidadaev¹ and Umugani A. Gadzhieva⁴

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Ryazan Branch, V. Kikot Moscow University of the Russian Ministry of Internal Affairs, Ryazan, Russia

³Moscow State University of Technology and Management, Moscow, Russia

⁴Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Sergey A. Konovalenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economic Security, Ryazan Branch, V.J. Kikot Moscow University of the Russian Ministry of Internal Affairs; 18A 1st Krasnaya St, Ryazan, 390043 Russia.

Tel. +79156247879

Email sergey_marsel@mail.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0001-9696-942X>

How to cite this article

Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Akhmedova Kh.G., Gadzhidadaev M.Z., Gadzhieva U.A. Theoretical aspects of the effectiveness of economic damage assessment in the field of environmental auditing: problems and solutions. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 137-144. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-137-144

Received 10 October 2019

Revised 20 January 2020

Accepted 5 March 2020

Abstract

Aim. The aim of the research has been: to study the theoretical basis of the application of assessment of economic damage from environmental pollution in the field of environmental auditing and accounting, to identify problems in existing methods and approaches and to propose specific ways to solve them taking into account current legislation and international experience.

Material and Methods. The research carried out by the authors was based on the provisions of current legal regulations in the fields of environmental safety and environmental protection, damage assessment in the environmental sphere together with data from scientific articles by both domestic and foreign experts in the field of environmental auditing. The study was conducted using theoretical methods of research including analysis, deduction and prediction.

Results. The authors propose moving away from traditional cost (taxation) methods to the consolidation in regulatory practice of a single approach to the assessment of economic damage taking into account actuarial valuation methodology, application of sanctions instruments to those unscrupulously infringing environmental regulations and the possibility of discounting the costs of restoring the environment and damage done to public health.

Conclusion. Adoption of common approaches and principles in the assessment of economic damage will help eliminate negative manipulations when imposing economic sanctions on those unscrupulously engaged in activities impacting on the environment and will provide an opportunity to improve the environmental situation and public health in the long term.

Key Words

Global Commons, economic damage, natural potential, environmental audit/auditing, accounting, approaches, principles.

ВВЕДЕНИЕ

Техногенные аварии и катастрофы возникают повсеместно с пугающей частотой, а объем загрязнений, ущерб экологии и обществу от них сопоставим с результатом испытаний атомных и ядерных ракет и бомбардировок. На слуху у каждого из нас такие крупные техногенные катастрофы, как: авария на нефтяной платформе Deepwater Horizon, фактически загубившая экосистему мексиканского залива; взрыв на заводе по производству удобрений в техасском городе Уэст; взрыв на химзаводе Phillips Petroleum Company в Пасадене; пожар на пиротехнической фабрике S.F. Fireworks в голландском городе Энсхеде (Enschede); авария на Саяно-Шушенской ГЭС и атомной станции Фукусима – вот далеко не весь список в цепочке катастроф, повлекших существенный ущерб природе и всей биосфере Земли. Проблема достоверного и точного определения, как экономического ущерба, так и ущерба нанесенного окружающей среде от последствий техногенных катастроф и аварий, стоит остро перед современным обществом, так как правильное исчисление ущерба диктуется необходимостью обеспечения достойного уровня жизни людей, сохранения природного потенциала и разнообразия биосферы для будущих поколений человечества.

С концептуальной точки зрения данная проблема усугубляется сложностью и разнообразием терминологии в данной отрасли знаний, большим разнообразием методологических подходов, всевозможных действующих методик оценки ущерба, принципиально отличающимися подходами в определении критериев, границ ущерба и ответственности за загрязнение окружающей среды, различием в интересах и целях субъектов экологических отношений. Вот почему требуется четкая разработка методологических подходов к унификации и стандартизации методики оценки экономического ущерба экологии от техногенных аварий и катастроф с учетом зарубежного опыта и специфики российского экологического законодательства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящий момент ежегодный экономический ущерб в экологической сфере от экологических проблем в России огромен и варьируется в районе 6% ВВП, а с учетом последствий для здоровья людей – и до 15%.

Четкого определения и терминологии экологического ущерба в современном нормативно-правовом поле не нашли своего отражения, что, по сути, можно считать пробелом в системе нормотворчества в сфере экологических правоотношений.

Сегодня экологический ущерб рассматривается как невосполнимые потери природных ресурсов и биологических активов, возникшие в результате осуществления хозяйственной деятельности субъектов, выраженные в стоимостной оценке, которые требуется возместить для обеспечения функционирования экологических систем.

Экологический ущерб коррелируется с дефиницией экономического ущерба. Экономический ущерб представляет собою совокупные затраты, осуществляе-

мые хозяйствующими субъектами, государством и иными субъектами экономики для нейтрализации и ликвидации результатов негативного воздействия, доведения текущего состояния окружающей среды до приемлемого стандарта жизни населения, а также издержки будущих поколений в целях нейтрализации возникших проблем в экологической сфере.

В соответствии с принятой временной методикой определения предотвращенного экологического ущерба (утв. Госкомэкологией РФ 09.03.1999) под ущербом от загрязнения окружающей среды понимаются фактические и альтернативные (возможные) издержки экономики, возникшие в связи с негативным воздействием человека на биосферу и экологические системы природы [1]. Альтернативные (возможные) издержки включают потери, связанные с ухудшением здоровья социума, сокращением общей производительности труда активного населения в экономике и средней продолжительности жизни индивидуума. К альтернативным издержкам также можно отнести дополнительно вводимые налоги и сборы, направленные на преодоление последствий от загрязнения окружающей среды. По нашему мнению, состав альтернативных издержек следует рассматривать шире и включать прямые государственные трансферты, направляемые населению в целях поддержки их уровня жизни в связи с возникшими по вине человека техногенными катастрофами (примером таких трансфертов являются социальные выплаты населению, проживающему на зараженных радиацией территориях).

Таким образом, сегодня не существует единого нормативно утвержденного понятия экологического и экономического ущерба, и такая позиция законодателя создает противоречия в признании объективности современным потребностям общества многих действующих методик и методологических подходов расчета ущерба

На современном этапе ведущими учеными и специалистами в сфере экологического аудита выделяется 3 основных метода оценки экономического ущерба в сфере экологии:

- по затратам;
- по нерыночным оценкам готовности людей платить за природные блага;
- по таксам.

Подход по затратам на устранение вреда признается преобладающим подходом, применяемым широким спектром специалистов в сфере аудита, контрольно-ревизионной деятельности и судебно-экономической экспертизы при получении оценки экономического ущерба в сфере экологической деятельности [2]. В нашей стране затратный подход основывается на выполнении требований ст. 77,78 ФЗ «Об охране окружающей среды» и ст. 15. ГК РФ.

Положения статьи 78 Закона об охране указывают, что ущерб экологической системе определяется, исходя из «фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды с учетом понесенных убытков, а также в соответствии с проектами рекультивационных и иных восстановительных работ». Такой подход принято также называть компенсационным. При компенсационном подходе виновные

лица обязаны возместить убытки в результате негативного воздействия человека на экологическую систему.

Согласно статье 15 ГК РФ формула убытков может быть представлена в виде:

Убытки = восстановление нарушенного права + фактический ущерб + упущенная выгода.

Реальный ущерб = потеря или порча имущества.

Упущенная выгода = неполученные экономические выгоды (доход).

Основным проблемным аспектом при данном подходе является то, что фактические затраты не дисконтируются с учетом возможных экономических потерь в будущем от использования природных ресурсов в хозяйственной деятельности. Нередко возникает такая ситуация, когда современные методы исследования не могут достоверно и точно оценить влияние экологического ущерба на состояния экосистем в перспективе. Отсутствие дисконтирования затрат существенно снижает реальную величину убытков виновных лиц и приводит к перекалыванию затрат на восстановление окружающей среды в будущем на государство. В связи с этим считаем, что формула убытков должна быть дополнена структурно возможными компенсационными затратами на восстановление затрат в будущем.

За рубежом подход по затратам на устранение вреда соответствует процедуре «Environmental due diligence» включающей следующие виды ущерба:

- 1) ущерб жизни и здоровью;
- 2) ущерб имуществу;
- 3) ущерб окружающей среде.

Следует отдельно отметить, что при оценке ущерба определяется величина упущенной выгоды (потерянных доходов), и такая норма объективно обеспечивает определение стоимостной оценки показателя. Согласно общепринятой правовой практике в сфере экологического аудита за рубежом, ущерб жизни и здоровью устанавливается в судебном порядке (причем во многих странах частные иски физических лиц могут интегрироваться в единый коллективный иск к нарушителям экологического законодательства). По нашему мнению, такой подход является экономически обоснованным. Компенсации подлежат издержки, связанные с потерей трудоспособности от болезни, включая все виды медицинского лечения, и упущенная экономическая выгода (доход) от невозможности осуществления трудовой или хозяйственной деятельности. Также судом определяется моральный ущерб, нанесенный субъекту права, однако его размеры зависят от специфики местного законодательства и сложившейся в юридической практике и могут сильно варьироваться [3].

В нашей стране при использовании подхода по затратам на устранение вреда основной проблемой является то, что при расчете экономического ущерба (подразделениями отдела документальных исследований и ревизий управления экономической безопасности и противодействия коррупции (ЭБПК), специалистами в области судебно-экономической экспертизы экспертно-криминалистических центров и аудиторами) практически выпадает такой компонент как ущерб жизни и здоровью населения, а ущерб окружающей природной среде не в полной мере учитывает расходы на восстановление окружающей среды (расходы не дисконтируются с учетом инфляционных ожиданий и пери-

ода восстановления). Такое положение дел устраивает большинство субъектов хозяйствования, так как позволяет существенно занижить реальную стоимостную оценку экономического ущерба. В свою очередь, представители контролирующих органов также не заинтересованы в объективной оценке ущерба, так как не существует единой утвержденной методики оценки ущерба каждого компонента, возникают проблемы доказывания объективности его оценки в суде.

Таким образом, возникает, по сути, парадоксальная ситуация: выигрывают от сложившейся ситуации отдельные субъекты экологических правоотношений (оказываются по сути безнаказанными за нанесенный экологический ущерб), а проигрывает общество в целом, теряя не только здоровье и жизнь населения, но и возможность достойного уровня жизни в будущем и сохранения природного потенциала.

Методика затратного подхода предполагает расчет потерь валового регионального продукта (ВРП) в результате полученных заболеваний населением по формуле:

$$\Delta \text{ВВРП}_{\delta t} = \text{Ч}_{\text{зан } t} * \text{Б}_{\text{ср } t} * \text{ВВРП}_{\text{зан } t} * \delta^{\alpha} \quad (1)$$

где $\Delta \text{ВВРП}_{\delta t}$ – сокращение ВВП из-за ранней смертности или потери трудоспособности;

$\text{Ч}_{\text{зан } t}$ – численность активного населения, занятого в экономике в i -м периоде, чел.;

$\text{Б}_{\text{ср } t}$ – средняя продолжительность болезни в i -м периоде на одного занятого, дн.;

$\text{ВВРП}_{\text{зан } t}$ – ВВП на одного занятого в экономике в день в i -м периоде, руб./чел. [4].

Согласно ст. 42 Конституции РФ, каждый имеет право на возмещение ущерба, причиненного его имуществу экологическим правонарушением. Оценка ущерба имуществу производится в соответствии с рыночными методиками оценки и на основе требований федеральных стандартов оценки, при этом наибольшее значение имеют для методики оценки такие нормативные документы, как: Приказ Минэкономразвития России от 01.06.2015 № 328 «Оценка стоимости машин и оборудования (ФСО № 10)»; Методические рекомендации по определению рыночной стоимости земельных участков, утв. Минимущества России от 6 марта 2002 г. № 568-р; Постановление Госгортехнадзора РФ от 29.10.2002 № 63 «Об утверждении Методических рекомендаций по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах», Постановление Правительства РФ от 25 мая 1994 г. № 515 «Об утверждении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный уничтожением, незаконным выловом или добычей водных биологических ресурсов», Методика подсчета ущерба, нанесенного рыбному хозяйству ...утв. Минрыбхозом СССР 16 августа 1967 г. № 30-1-11; Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (ред. от 11.07.2018) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды».

В настоящее время ведущие ресурсодобывающие компании разрабатывают собственные корпоративные методики оценки ущерба от техногенных аварий и катастроф. Чаще всего расчет ущерба ведут по двум компонентам: оценка ущерба среде обитания

(расчет ущербов от загрязнения атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвы) и собственно биологическим ресурсам.

Нормативно ущерб окружающей природной среде осуществляется с учетом требований «Временной методики определения предотвращенного экологического ущерба» (утв. Госкомэкологией РФ 09.03.1999) и «Временной типовой методике определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба» (одобрена Постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР, Президиума АН СССР от 21.10.1983 № 254/284/134).

Данные Методики были разработаны еще в системе плановой экономики СССР и существенно устарели. Эти Методики нацелены на использование фиксированных величин, рассчитанных нормативно, а не реальных затрат на устранение последствий. Такой подход является, безусловно, удобным для недобросовестных участников экологических правоотношений, не требующий серьезных финансовых и компенсационных выплат потерпевшей стороне, устраивает он и контролирующие органы, т.к. не требует проведение сложной и затратной экспертизы последствий загрязнений окружающей среды [5].

Подход по нерыночным оценкам готовности людей платить за природные блага предполагает оценку ущерба с учетом не только оценки затрат и издержек, понесенных экологической системой и людьми, но и с учетом расходов на восстановление окружающей среды и возмещения материального и морального ущерба социуму.

Данный подход является новым и широко применяемым в сфере международного экологического аудита, но пока не получил широкого распространения в отечественной судебной практике в силу его сложности и приблизительности оценок ущерба. Подход по нерыночным оценкам широко применяется для крупных инфраструктурных проектов в сфере экологии в США, Великобритании, странах континентальной Европы (программа Tiger в США, программа NATA в Великобритании и др.) [6].

При оценке экологического ущерба определяется денежная оценка нерыночным благам и моральным категориям – здоровью, человеческой жизни, промысловым животным, дикой природе, эко системным услугам, приобретаемым социальным благам и т.д. В связи с этим возникают сложности точной оценки ущерба, все производимые расчеты носят обычно условный и приблизительный характер. Для решения данной проблемы применяются 3 группы методов нерыночных оценок:

- методы заявленных предпочтений;
- методы выявленных предпочтений;
- метод переноса выгод.

Методы заявленных предпочтений или «Методы условной оценки» (МУО) применяются при невозможности точного установления рыночных цен [7]. Наиболее распространенными являются две разновидности метода условной оценки:

- 1) определение готовности потребителя платить за блага;
- 2) определение готовности принять компенсацию за отказ от потребления товара.

Метод условной оценки был внедрен специалистами аудиторской компании Ciriacy-Wantrup в 1947 году и используется для определения общественной ценности нерыночных товаров. Метод основан на прямом опросе потребителей с целью выявления их готовности платить или готовности принять компенсацию за данные блага. Данный метод во многом схож с методикой определения справедливой цены, раскрываемой в международных стандартах учета и финансовой отчетности. В частности, принимаются три условия: готовность оплатить фактические расходы со стороны всех участников экологических правоотношений; информация по ущербу доступна всем заинтересованным пользователям и обществу в целом; сумма ущерба определяется в размере рыночной стоимости похожих (альтернативных) активов и благ на текущий момент на рынке.

Методы выявленных предпочтений включают оценку:

- логистических издержек;
- расходов за доступ к благу с учетом неполученного излишка потребителя;
- рост стоимости недвижимости за счет природных и экологических факторов.

Метод переноса выгод – использование данных исследований по аналогичной теме, проводимой в других странах или для других регионов. В качестве образца берутся методики в сфере экологического аудита, разрабатываемые крупными транснациональными аудиторскими фирмами [8].

Помимо приблизительности и неточности в определении суммы экономического ущерба данные методики имеют и ряд других недостатков, в частности:

- методики могут допускать занижение реальной стоимости природных и биологических ресурсов в интересах транснациональных компаний, что в свою очередь может негативно сказаться на оценке величины экономического ущерба окружающей среде и природным ресурсам;
- методики требуют создания и развития системы частных экспертных центров и системы единых профессиональных стандартов оценки в сфере экологического аудита.

В России применяется преимущественно третий «таксовый» или «нормативный» подход к оценке экологического ущерба. Он отличается простотой в применении и не предусматривает анализа ситуации, не учитывает затраты на восстановление окружающей среды и реальную стоимость ущерба для экономики и экологических систем. Такой подход удобен, прежде всего, недобросовестным предпринимателям, так как обеспечивает установление выгодного баланса между штрафными санкциями и возможностью хищной эксплуатации природных ресурсов.

В России таксовая оценка включает два компонента определения ущерба: возмещение цены ресурса и штрафной коэффициент (индексацию), при этом не учитывается недополученная продукция воспроизводства, затраты на восстановление окружающей среды и стоимостная оценка вреда здоровью и жизни населения.

Проблема таксового подхода заключается в наличии временного лага между объективно устанавливаемыми (пересматриваемыми) таксами (нормати-

вами) законодательством и реальной соответствующей рыночной оценке нормативов. В условиях гиперинфляции данный метод, по сути, сводит на нет объективную оценку экономического ущерба. При этом таксовый метод не всегда учитывает изменения в технологиях добычи и переработки природных ресурсов, что не позволяет рассчитать объективно обоснованные нормы (таксы) в отношении загрязняющих веществ, сбрасываемых в окружающую среду.

Следовательно, в настоящее время главенствующей проблемой является отсутствие единого системного методического подхода к оценке экономического ущерба в сфере экологических правоотношений. В оценочной деятельности нашей страны преобладает морально устаревший таксовый подход [9].

В качестве совершенствования методологических подходов расчета ущерба от возможных техногенных аварий и катастроф нами предлагается:

1. Разработать единую методику оценки ущерба экологическим системам от техногенных, экологических, производственных катастроф, применяемую как базовую для всех участников экологических правоотношений на основе затратного и нерыночного подхода к оценке ущерба.

2. В методике расчета ущерба следует предусмотреть возможность дисконтирования затрат на восстановление окружающей среды и ущерба здоровью населения.

3. В сфере экологического аудита на основе актуарной методики оценки с учетом санкционных инструментов к недобросовестным субъектам экологических отношений и возможности дисконтирования затрат на восстановление окружающей среды разработать федеральный стандарт оценки экономического ущерба в сфере экологии.

4. Рекомендовать включать расчет будущего ущерба в проектно-сметную документацию в инфраструктурные проекты в сфере экологических правоотношений.

5. Отказаться от таксового подхода оценки ущерба в условиях гиперинфляции.

6. В качестве методологических подходов к оценке компонента восстановления окружающей среды и здоровья населения взять подходы, применяемые в актуарных методиках, раскрываемых в международных стандартах учета и финансовой отчетности.

7. Закрепить в нормативной практике обязанность за экономическим субъектом обязательного страхования рисков при реализации инфраструктурных проектов в сфере экологии.

8. Ввести в учетную практику компаний формирование и использования механизма компенсационных фондов в сфере экологии. Рекомендовать формировать данные фонды, как за счет чистой прибыли компании, так и себестоимости продукции (работ, услуг). Закрепить механизм формирования фондов в приказе об учетной политике организации.

9. Ввести на законодательном уровне проведение обязательного экологического аудита в отношении субъектов хозяйствования, допустивших существенные нарушения законодательства в сфере охраны окружающей среды (также нами рекомендуется включить в данный перечень субъекты хозяйствования осуществляющие крупные проекты по добычи и переработки не

возобновляемых природных и биологических ресурсов).

10. Стимулировать работу на государственном уровне по развитию системы частных экспертных центров и единых профессиональных стандартов оценки в сфере экологического аудита.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование теоретических основ применения оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды в сфере экологического аудита и бухгалтерского учета позволило нам сделать следующие выводы:

Во-первых, стоимостная оценка ущерба должна состоять из оценки компонентов понятных и объективно принимаемых всеми заинтересованными пользователями в сфере экологического аудита.

Во-вторых, следует в кратчайшие сроки отказаться от таксового подхода и разработать единую методику оценки ущерба экологических систем от техногенных, экологических, производственных катастроф, применяемую как базовую для всех участников экологических правоотношений.

В-третьих, в качестве методологических подходов к оценке компонента восстановления окружающей среды и здоровья населения взять подходы, применяемые в актуарных методиках, раскрываемых в международных стандартах учета и финансовой отчетности. В частности, исходить из требований и допущений, предусмотренных действующими международными стандартами (готовности компенсировать фактические расходы со стороны всех участников экологических правоотношений; представлять информацию по ущербу всем заинтересованным пользователям и обществу в целом; сумму ущерба определять в размере рыночной стоимости природных и биологических ресурсов на текущий момент на рынке или в размере рыночной стоимости похожих (альтернативных) активов и благ).

В-четвертых, закрепить в нормативной практике за экономическим субъектом необходимость обязательного страхования рисков при реализации инфраструктурных проектов в сфере экологии, а также ввести в учетную практику компаний формирование и использования механизма компенсационных фондов в сфере экологии.

В-пятых, в формуле расчета ущерба обязательно предусмотреть возможность дисконтирования затрат на восстановление экологических систем и ущерба здоровью населения в результате отрицательного воздействия на экологическую среду.

В-шестых, предусмотреть в части-нормативно-правовые регулирования осуществление обязательного экологического аудита в отношении субъектов хозяйствования, допустивших существенные нарушения в сфере природоохранного законодательства.

В-седьмых, стимулировать со стороны государства (путем проведения профессиональных конкурсов, представления грантов и иных мер финансовой поддержки) разработку и внедрение в оценочную деятельность новых профессиональных стандартов оценки экологического ущерба и наиболее прогрессивных методик определения экономического ущерба на основе международного опыта в сфере экологических правоотношений.

В-восьмых, продолжить работу на всех уровнях государственной власти по формированию и развитию института экологического аудита в стране.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное общество, в котором распространена идеология «Global Commons», как никогда раньше нуждается в единой методике оценки ущерба окружающей среде от техногенных катастроф. Значительные отличия в целях, подходах и методиках оценки ущерба, большое разнообразие терминологии, видов оценок, несовершенство законодательства в сфере обеспечения экологической безопасности приводят к разночтениям при установлении величины экономического ущерба. Сегодня в нашей стране возникает парадоксальная ситуация: выигрывают от сложившейся ситуации отдельные субъекты экологических правоотношений (оказываются по сути безнаказанными за нанесенный экологический ущерб), а проигрывает общество в целом, теряя не только здоровье и жизнь населения, но и возможность достойного уровня жизни в будущем и сохранения природного потенциала [10].

В статье рассмотрены теоретические аспекты эффективности применения оценки экономического ущерба в сфере экологического аудита, выявлены основные проблемы действующих подходов в оценке ущерба, даны рекомендации в части применения принципиальных подходов к разработке единой методики оценки ущерба в системе экологического аудита. В статье значительное внимание уделено наиболее прогрессивным зарубежным методикам оценки ущерба, проанализированы их сильные и слабые стороны. Итогом работы можно считать вывод о необходимости развития института экологического аудита в стране и стимулирования со стороны государства внедрения в оценочную деятельность новых профессиональных стандартов оценки экологического ущерба и наиболее прогрессивных методик определения экономического ущерба на основе международного опыта в сфере экологических правоотношений.

Авторами подчеркивается необходимость системной работы всех органов власти над принятием на национальном уровне единых нормативно-правовых актов в системе экологического аудита.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоринов А.В., Комбаров Д.А. Оценка эффективности водоохраных мероприятий в границах водоохранных зон // Актуальные вопросы землепользования и управления недвижимостью. 2019. С. 389-397.
2. Медведева О.Е. Задачи оценки экологического ущерба в Арктической зоне // Арктика и Север. 2015. N 18. С. 131-147.
3. Гаджиев Н.Г., Ахмедова Х.Г., Коноваленко С.А., Гаджиев М.Н. Организационно-методологические механизмы осуществления экологического аудита в российской федерации // Юг России: экология, развитие. 2020. N 2 (55). С. 6-16. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-6-16
4. Постников В.П., Левда Н.М. К вопросу об оценке экологического ущерба от загрязнений атмосферного воздуха в регионе // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2013. N 21. С. 81-89.

5. Холин Р.Н. К вопросу о применении методов определения экономического ущерба от загрязнения окружающей среды // Евразийский Союз Ученых. 2016. N 1-1 (22). С. 130-132.
6. Медведев П.В., Медведева О.Е. Экономическая безопасность и современные мировые тенденции в сфере оценки и возмещения экологического ущерба // Вестник евразийской науки. 2015. Т. 7. N 5 (30). 66 с. DOI: 10.15862/191EVN515
7. Ильина Е.В. Стоимостная оценка последствий разработки медно-никелевых месторождений в Воронежской области // Вестник университета. 2014. N 13. С. 106-112.
8. Медведева О.Е., Артеменков А.И., Медведев П.В. Проблемы применяемой в России методической базы оценки экологического ущерба и пути их решения на примере методики оценки проектного ущерба при строительстве автомобильных дорог // Вопросы оценки. 2015. N 3. С. 2-14.
9. Kolesnichenko E.A., Kharchenko N.N., Harada G.I., Trofimov M.N. Methodical aspects of assessment of the level of economic security on the forest sector of the economy // International Journal of Economics and Business Administration. 2019. V. 7. N S1. P. 302-314.
10. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Корнилов Р.А., Ахмедова Х.Г. «Экологическая экономика» – важная часть идеологии Global Commons в обеспечении устойчивого социально-экономического развития общества // Юг России: экология, развитие. 2019. N 4. С. 17-24. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-17-24

REFERENCES

1. Fedorinov A.V., Kombarov D.A. Evaluation of efficiency of water protection activities in water-protection zones In: *Aktual'nye voprosy zemlepol'zovaniya i upravleniya nedvizhimost'yu* [Topical issues of land use and property management]. 2019, pp. 389-397. (In Russian)
2. Medvedeva O.E. The tasks of the assessment of environmental damage in the Arctic. *Arktika i Sever* [Arctic and North]. 2015, no. 18, pp. 131-147. (In Russian)
3. Gadzhiev N.G., Akhmedova K.G., Konovalenko S.A., Gadzhiev M.N. Organizational and methodological mechanisms for implementation of environmental auditing in the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 6-16. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-6-16
4. Postnikov V.P., Levda N.M. Assessment of ecological damage caused by air pollution within the region. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Sotsial'no-ekonomicheskie nauki* [PNRPU Sociology and Economics Bulletin]. 2013, no. 21, pp. 81-89. (In Russian)
5. Kholin R.N. On the application of methods for determining economic damage from environmental pollution. *Evrasiiskii Soyuz Uchenykh* [Eurasian Union of Scientists]. 2016, no. 1-1 (22), pp. 130-132. (In Russian)
6. Medvedev P.V., Medvedeva O.E. Economic security and modern world trends in the evaluation of environmental damage. *Eurasian Scientific Journal*, 2015, vol. 7, no. 5 (30), 66 p. (In Russian) DOI: 10.15862/191EVN515
7. Ilina E.V. Valuation of the effects of the development of copper-nickel deposit in Voronezh region. *Vestnik universi-*

teta [Vestnik universiteta]. 2014, no. 13, pp. 106-112. (In Russian)

8. Medvedeva O.E., Artemenkov A.I., Medvedev P.V. Problems of the methodological framework for assessing environmental damage used in Russia and ways to solve them on the example of the methodology for assessing project damage during the construction of highways. *Voprosy otsenki* [Voprosi ocenki]. 2015, no. 3, pp. 2-14. (In Russian)

9. Kolesnichenko E.A., Kharchenko N.N., Harada G.I., Trofimov M.N. Methodical aspects of assessment of the level

of economic security on the forest sector of the economy. *International Journal of Economics and Business Administration*. 2019, vol. 7, no. S1, pp. 302-314.

10. Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Kornilovich R.A., Akhmedova K.G. «Ecological Economy»: The Most Important Aspect of the Ideology of the Global Commons in Supporting Sustainable Socio-Economic Development. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 4, pp. 17-24. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-17-24

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Назирхан Г. Гаджиев, рассмотрел понятие экологического ущерба в действующем законодательстве, провел критический обзор литературы по теме статьи, исследовал зарубежный опыт оценки экономического ущерба в сфере экологии. Сергей А. Коноваленко, рассмотрел проблемы эффективности действующих подходов и методик оценки экономического ущерба. Проанализировал слабые и сильные стороны действующих подходов и методик оценки экономического ущерба. Михаил Н. Трофимов, дал практические рекомендации в части применения принципиальных подходов к разработке единой методики оценки ущерба на нормативном уровне. Хамида Г. Ахмедова, Магомед З. Гаджидадаев и Умугани А. Гаджиева, собрали и обобщили информацию о роли автоматизированных информационных систем и баз данных в оценке экономического ущерба от загрязнения окружающей среды. 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

Nazirhan G. Gadzhiev considered the concept of environmental damage in current legislation, conducted a critical review of the literature on the article's topic and studied international experience in assessing economic damage in the field of ecology. Sergey A. Konovalenko considered problems of efficiency of existing approaches and methods of economic damage assessment, and analysed strengths and weaknesses of existing approaches and methods of assessing economic damage. Mikhail N. Trofimov provided practical recommendations regarding the application of principled approaches to the development of a unified methodology for assessing damage at the regulatory level. Khamida G. Akhmedova, Magomed Z. Gadzhidadaev and Umugani A. Gadzhieva collected and summarised information on the role of automated information systems and databases in assessing economic damage from environmental pollution. 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

Назирхан Г. Гаджиев / Nazirkhan G. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-6321-3543>

Сергей А. Коноваленко / Sergey A. Konovalenko <http://orcid.org/0000-0001-9696-942X>

Михаил Н. Трофимов / Mikhail N. Trofimov <https://orcid.org/0000-0002-7194-0468>

Хамида Г. Ахмедова / Khamida G. Akhmedova <https://orcid.org/0000-0003-2442-9955>

Магомед З. Гаджидадаев / Magomed Z. Gadzhidadaev <https://orcid.org/0000-0001-9468-8501>

Умугани А. Гаджиева / Umugani A. Gadzhieva <https://orcid.org/0000-0002-6617-9539>

Оригинальная статья / Original article
УДК 595.765.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-145-151

Жуки-щелкуны рода *Melanotus* Eschscholtz, 1829 (Coleoptera, Elateridae) в коллекции Института зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии Армении

Маргарит А. Марджанян, Аида А. Аветисян

Институт зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии (НЦЗГ) НАН РА, Ереван, Армения

Контактное лицо

Маргарит А. Марджанян, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт зоологии Научного Центра зоологии и гидроэкологии НАН РА; 0014 Армения, г. Ереван, ул. П. Севака, 7.
Тел. +37494582560
Email mmarjanyan@yahoo.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5539-2684>

Формат цитирования

Марджанян М.А., Аветисян А.А. Жуки-щелкуны рода *Melanotus* Eschscholtz, 1829 (Coleoptera, Elateridae) в коллекции Института зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии Армении // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 145-151. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-145-151

Получена 19 июня 2020 г.
Прошла рецензирование 28 июля 2020 г.
Принята 25 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Изучение видов рода *Melanotus* коллекции Института зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии Национальной Академии наук Республики Армения (НЦЗГ НАН РА) с учетом новых таксономических и хорологических данных.

Материал и методы. Научный материал после камеральной обработки и препаровки гениталий идентифицирован согласно современным данным по роду *Melanotus*.

Результаты и выводы. Коллекции видов рода *Melanotus* Института зоологии НЦЗГ включают 21 вид из Европы, среднеазиатского региона и Кавказа, из них 12 видов обнаружены с территории Армении. Включают эндемиков Армении (*M. gedeoni* Mardjanyan, 2015, *M. platiai* Mardjanyan, 2015, *M. khnzoriani* Mardjanyan, 2015), Таджикистана (*M. fragilloides* Dolin, 1988, *M. vidualis* Gurjeva, 1988) и Ирана (*M. dichroides* Platia & Gudenzi, 1999, *M. richterae* Mardjanyan, 2015). Впервые указаны для фауны Армении *Melanotus castanipes* Paykull, 1800, *Melanotus fulvus* Reitter, 1891, *Melanotus sladkovi* Dolin & Atamuradov, 1986; для фауны Таджикистана – *Melanotus rustamovi* Dolin & Atamuradov 1987, для Туркменистана – *M. persimilis* Dolin & Latifi, 1988.

Ключевые слова

Европа, Кавказ, Центральная, Средняя и Восточная Азия, список видов, эндемики, новые указания.

Click beetles of the genus *Melanotus* Eschscholtz, 1829 (Coleoptera, Elateridae) in the collection of the Institute of Zoology of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of Armenia

Margarit A. Marjanyan and Aida A. Avetisyan

Institute of Zoology, Scientific Center of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Armenia

Principal contact

Margarit A. Marjanyan, PhD (Candidate of Biological Sciences), Senior Researcher, Institute of Zoology, Scientific Center of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia; 7 P. Sevak St, Yerevan, Armenia 0014.

Tel. +37494582560

Email mmarjanyan@yahoo.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5539-2684>

How to cite this article

Marjanyan M.A., Avetisyan A.A. Click beetles of the genus *Melanotus* Eschscholtz, 1829 (Coleoptera, Elateridae) in the collection of the Institute of Zoology of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of Armenia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 145-151. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-145-151

Received 19 June 2020

Revised 28 July 2020

Accepted 25 August 2020

Abstract

Aim. The study of the genus *Melanotus* from the collection of the Institute of Zoology of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia taking into account new taxonomic and chorological data.

Material and Methods. Scientific material was identified after desktop processing and preparation of genitalia according to current data on the genus *Melanotus*.

Results and Conclusion. We determined 21 species of the genus *Melanotus* in the collection from Europe, the Caucasus and Middle Asia, 12 species being recorded from the territory of Armenia. The collection of the genus *Melanotus* in the Institute of Zoology includes species endemic to Armenia (*M. gedeoni* Mardjanyan, 2015, *M. platiai* Mardjanyan, 2015, *M. khnzhoriani* Mardjanyan, 2015), to Tajikistan (*M. fragilloides* Dolin, 1988, *M. vidualis* Gurjeva, 1988) and to Iran (*M. dichroides* Platia & Gudenzi, 1999, *M. richterae* Mardjanyan, 2015). Three species, *M. castanipes* Paykull, 1800, *M. fulvus* Reitter, 1891 and *M. slatkovi* Dolin & Atamuradov, 1986 are recorded for the first time for Armenia. *M. rustamovi* Dolin & Atamuradov, 1987 is the first record for Tajikistan and *M. persimilis* Dolin & Latifi, 1988 for Turkmenistan.

Key Words

Europe, Caucasus, Central, Middle, Eastern Asia, check-list of species, endemic taxa, new records.

ВВЕДЕНИЕ

Фауна жуков-щелкунов рода *Melanotus* Eschscholtz, 1829 по современным данным насчитывает в Палеарктике более 450 видов, 300 из которых отмечены из районов Центральной, Средней и Восточной Азии [1]. Это число не включает 44 вида из Японии, которые уникальны и встречаются в основном на Японских островах, лишь 2 вида общие с фауной указанных районов. Для среднеазиатского региона отмечено 67 видов: в Туркменистане – 12 [2-4], в Таджикистане – 31, причем наибольшее количество видов обнаружено здесь, что вероятно объясняется сравнительно лучшей изученностью фауны щелкунов, чем в остальных странах региона [5-12]; в Пакистане обнаружено 16 [13] и Афганистане – 11 видов [4; 14; 15]. Список видов рода значительно пополнился видами из Ближнего Востока и Ирана благодаря исследованиям Кейта, Платиа, Шиммеля, Гудензи [16-23]. В кавказском регионе обнаружены 10 видов, 7 из которых отмечены для фауны Армении [24], а в сопредельных странах – Турции [18; 25; 26] и Иране [16-23; 27], соответственно, 16 и 23 видов.

В связи с пополнением фондов Института зоологии Армении возникла необходимость пересмотра коллекции видов рода *Melanotus* Eschscholtz, 1829.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили жуки-щелкуны рода *Melanotus*, находящиеся в коллекциях насекомых Института зоологии НЦЗГ НАН РА. Материал переопределен с учетом первоописаний и ревизий [4; 7; 11; 21; 25]. При морфологическом анализе длину тела измеряли по продольной оси, ширину – по самой широкой части; по отдельности измеряли длину и ширину переднеспинки и надкрылий, при этом длину переднеспинки измеряли без ее задних выступающих углов. Для идентификации видов использовали внешние признаки, а также признаки совокупительной сумки (*bursa copulatrix*) и эдеагуса; для очистки этих структур от тканей их держали в растворе КОН от 3 до 12 часов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Коллекции видов рода *Melanotus* Института зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии (НЦЗГ) Национальной Академии наук Республики Армения содержат сборы с конца XIX века из разных районов Палеарктики. В дальнейшем они пополнялись экземплярами с Кавказа и из Средней Азии (сборщики С.М. Яблоков-Хнзорян, М. Марджанян, М. Калашян и др.). Ниже приводим список видов рода *Melanotus*, хранящихся в коллекциях Института зоологии НЦЗГ НАН РА; для Армении приводятся только данные, ранее не указанные в нашей монографии [24]. Сведения об общем распространении приведены согласно КATALOGУ жесткокрылых Палеарктики [1] и первоописаниям. Данные мест сборов приводятся с оригинальных этикеток – при русском тексте с транслитерацией в латиницу. Необходимые поясняющие сведения включены в квадратные скобки. Виды, впервые указанные для фауны соответствующей страны отмечены знаком «*».

****Melanotus castanipes* Paykull, 1800**

Изученный материал: 5 самцов, 2 самки.

ARMENIA: Tavush Prov., Shagali, 30.05.1966, leg. Khnзорian S.M.; Vayotsdzor Prov., Jermuk, 1-6.06.1999, leg. M. Nabozhenko.

AZERBAIJAN: [now Ganja] Elisavetpol, Maljushenco;

GEORGIA: Kurdoriya, 31.07.1959, leg. Akramowskaya E.; Borzhomi, Maljushenco;

RUSSIA: Kaluga, 28.04. & 24.05. NS (leg. Sacharoff);

CZECH REPUBLIC: Hradec kralove, Slattka, 22.06.1979, leg. Louda.

Распространение: Австрия, Бельгия, Босния и Герцеговина, Болгария, Беларусь, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Грузия, Дания, Исландия, Ирландия, Россия (европейская часть), Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Эстония. Впервые указан для фауны Армении.

***Melanotus villosus* Geoffroy, 1785**

Изученный материал: 4 самца, 3 самки.

ARMENIA: Syunik Prov., Kapan, Shishkert, 7.07.1981, leg. A. Karapetyan;

GEORGIA: Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti Prov., Gola, forest, 07.08.1956, leg. Khnзорian S.M.

ABKHAZIA: Gudauta Distr., Ritsa Lake, 1-8.07.1957, leg. Khnзорian S.M.; same locality, 1-8.07.1958, leg. Khnзорian S.;

RUSSIA: Petropolus [now St Petersburg], Maljushenco;

Pyatigorsk, Maljushenco; Twer, Maljushenco;

CZECH REPUBLIC: 1987.

Распространение: Австрия, Азербайджан, Албания, Армения, Бельгия, Босния и Герцеговина, Болгария, Беларусь, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Грузия, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Латвия, Литва, Лихтенштейн, Люксембург, Македония, Молдова, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Россия (европейская часть), Румыния, Сербия и Монтенегро, Словакия, Словения, Турция, Украина, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швеция, Швейцария, Эстония; север Африки (Алжир, Марокко); Азия (Иран, Турция, Китай – Юннань).

***Melanotus crassicornis* Erichson, 1841**

Изученный материал: 2 экз. Вероятно самки.

KAUKASUS, Maljushenco; DALMATIEN, Arbe, Gulek.

Распространение: Австрия, Албания, Англия, Бельгия, Болгария, Беларусь, Босния и Герцеговина, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Италия, Испания, Латвия, Люксембург, Македония, Молдова, Польша, Россия (европейская часть, кроме севера), Румыния, Сербия и Монтенегро, Словакия, Словения, Турция, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Эстония; Азия (Израиль, Иордания, Ливан, Сирия).

***Melanotus fragilloides* Dolin, 1988**

Изученный материал: 1 самец.

TAJIKISTAN: May-June, 1984, leg. M. Akhverdian.

Распространение: эндемик Таджикистана.

****Melanotus sladkovi* Dolin & Atamuradov, 1986**

Изученный материал: 4 самца.

ARMENIA: Syunik Prov., Goris, Shurnukh, 10.06.1950, leg. Khnзорian;

Syunik Prov. Kapan, Nerkin Hand, 29.05.1959, leg. Khnзорian;

Arnavir Prov., Mugan, august, 1985, leg. V. Zakharian;

TURKMENISTAN: Kugitang Reserve, 25.05.1976, M. Mardjanian.

Распространение: Туркменистан. Впервые указывается для Армении.

****Melanotus rustamovi* Dolin & Atamuradov, 1987**

Изученный материал: 1 самец.

TAJIKISTAN: Badakhshan Region, Darvaz Prov., Kalaj-Khumb, 28.06.1975, leg. M. Mardjanian.

Распространение: Туркменистан. Впервые указывается для Таджикистана.

***Melanotus brunnipes* Germar, 1824**

Изученный материал: 1 самец, 1 самка.

BULGARIA: august, 1985, leg. A. Mardjanian;

RUSSIA: Kislovodsk, Maljushenco.

Распространение: Австрия, Азербайджан, Армения, Бельгия, Босния и Герцеговина, Болгария, Беларусь, Венгрия, Германия, Греция, Грузия, Иран, Италия, Македония, Молдова, Польша, Россия (европейская часть), Румыния, Словакия, Словения, Турция, Украина, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария; Китай – Синьцзянь; Индия – Кашмир.

***Melanotus acuminatus* Reitter, 1891**

Изученный материал: 1 самец.

TURKMENISTAN: Mary Prov., Kushka, Morgunovka, 27.05.1979, leg. M. Mardjanian.

Распространение: Казахстан, Кыргызстан, Россия (юг европейской части), Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан.

***Melanotus tenebrosus* Erichson, 1841**

Изученный материал: 8 самцов, 6 самок.

ARMENIA: Kotayk Prov., Elar [Abovyan], 22.06.1928, 01.07.1928, leg. Schelkovnikov; Erevan, Zoo, 4.07.1954, leg. Khnzorian; Ararat Prov. Arazdayan, 31.05.1958, leg. Khnzorian; Erevan, 8.07.2001, leg. M. Marjanyan; Kotayk Prov. Gokht env., 12.06.1983, leg. M. Kalashian; Geghard [monastery], 10.06.1984, leg. M. Kalashian; Kotayk Prov., Garni, 23-28.06.2000, leg. M. Kalashian; Syunik Prov. Meghri, 08.05.1954, leg. Khnzorian;

REPUBLIC OF MOUNTAIN KARABAGH: Martakert, 12.06.2012, leg. M. Kalashian.

Распространение: Австрия, Армения, Босния и Герцеговина, Венгрия, Греция, Грузия, Италия, Испания, Македония, Польша, Португалия, Россия (юг европейской части), Румыния, Сербия и Монтенегро, Словакия, Словения, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Эстония.

***Melanotus monticola* Ménétériés, 1832**

Изученный материал: 7 самцов, 6 самок.

ARMENIA: Ararat Prov. Vedi, 02.05.1978, leg. M. Marjanyan; Khosrov State Reserve, Vedi area, 11.06.2001, leg. M. Kalashian; Vayotsdзор Prov., Her-Her, 24.05.1988, leg. M. Mardjanian;

REPUBLIC OF MOUNTAIN KARABAGH: Martakert [Distr.], Vardadzor, 12.05.2012, leg. M. Kalashian;

AZERBAIDJAN: Lenkoran, Talysh, Lerik Prov., Zuvand Reserve, Lerik, 30.05.1986, leg. S. Saluk.

Распространение: Армения, Азербайджан, Болгария, Грузия, Россия (юг европейской части), Турция; Азия (Иран, Турция).

***Melanotus sobrinus* Ménétériés, 1832**

Изученный материал: 1 самец.

ARMENIA: Yerevan, July, 1993, leg. A. Sukiasyan;

AZERBAIDJAN: [now Ganja] Elisavetpol, Adshikent;

TURKMENISTAN: Lebap Prov., Kerkichi – Charshanga [Koitedag], 21-11.05.1976, leg. M. Mardjanian; [now Ashgabat], neglected Svintcovij rudnik, 25.06.1976, leg. M. Mardjanian.

Распространение: Армения, Азербайджан, Грузия, Россия (юг европейской части), Иран, Туркменистан.

***Melanotus atricapillus* Reitter, 1891**

Изученный материал: 2 самца.

ARMENIA: Ararat Prov., Vedi, 26.03.1947, leg. A. Richter, M. Ter-Minasian; Yerevan – Sovetashen [now Nubarashen], 04.03.1947, leg. A. Richter, M. Ter-Minasian.

Распространение: Армения, Турция.

***Melanotus fusciceps* Gyllenhal, 1817**

Изученный материал: 6 самцов, 2 самки.

ARMENIA: Lori Prov., Debed riv. bank near Akhtala, N 41.14312° E 44.80680°, 18.06.2013, leg. M. Kalashian; Lori Prov., Teghut mine btw. N 41.091° E 44.8143° & 41.1037° 44.8260°, 01.08.2013, leg. M. Kalashian; Aragatsohn Prov., ~2 km W Melikgijugh, 06.08.2013, leg. M. Kalashian; Ararat Prov., Khosrov State reserve, Vedi area, 16.06.2013, leg. M. Kalashian, Ararat Prov., ~6 km NE Surenavan, 15.07.2013 (light), leg. M. Kalashian; Syunik Prov., Shvanidzor, 15.07.2007, leg. M. Kalashian;

IRAN, Kurdistan Prov., Marivan – Garan, 10.07.2010, leg. H. Ghobari; Kurdistan Prov., Sanandaj – Noshor, 10.08.2011, leg. H. Ghobari; same locality, in garden, 29.08.2011, leg. H. Ghobari.

Распространение: Азербайджан, Азорские острова, Албания, Армения, Болгария, Греция, Грузия, Македония, Молдова, Россия (европейская часть), Румыния, Украина, Хорватия, Швеция, Швейцария; Азия (Израиль, Иордания, Ирак, Иран, Казахстан, Кипр, Ливан, Сирия, Турция).

****Melanotus fulvus* Reitter, 1891**

Изученный материал: 8 самцов, 2 самки.

ARMENIA: Kotayk Prov., Hatsavan, 05.07.1996, leg. M. Kalashian; Ararat Prov., "Goravan Sands" Sanctuary, N 39.8897° E 44.7321°, 980 m, 16.06.2013 (light), leg. M. Kalashian;

Распространение: Иордания, Ирак, Иран, Туркменистан. Впервые указан для Армении. Летит на свет.

****Melanotus persimilis* Dolin & Latifi, 1988**

Изученный материал: 2 самца.

TAJIKISTAN: Vardzob Prov., Takob, 03.07.1975, leg. M. Mardjanian

TURKMENISTAN: [Ost Turkmenistan] Kugitang reserve, 25.05.1976, leg. M. Mardjanian,

Распространение: Таджикистан. Впервые указан для Туркменистана.

***Melanotus vidualis* Gurjeva, 1988**

Изученный материал: 2 самца.

TAJIKISTAN: Khatlon Region, Kumb [now Khuma village], 8.04.1980, leg. L. Golubev and N. Chsherbak; Sumbul vilage, 8.04.1980, leg. L. Golubev and N. Chsherbak.

Распространение. Эндемик Таджикистана.

***Melanotus dichroides* Platia & Gudenzi, 1999**

Изученный материал: 1 самец.

IRAN: Kurdistan Prov., Sanandaj – Noshor, 19.09.2011, leg. H. Ghobari.

Распространение: эндемик Ирана.

***Melanotus richterae* Mardjanyan, 2015**

Изученный материал: 1 самец

IRAN: Mazandaran Prov., Alamdardeh, 24.08.2008, leg. H. Barimani.

Распространение: эндемик Ирана.

***Melanotus gedeoni* Mardjanyan, 2015**

Изученный материал: 1 самец.

ARMENIA: [Vajotsdзор prov.] Her-her, 01.06.1972, leg. M. Mardjanyan.

Распространение: эндемик Армении.

***Melanotus platiai* Mardjanyan, 2015**

Изученный материал: 3 самцов

ARMENIA: Syunik Prov., Meghri, 15.05.1997, leg. K. Aghababayan

Распространение: эндемик Армении.

***Melanotus khnzoriani* Mardjanyan, 2015**

Изученный материал: 3 самца.

ARMENIA: Yerevan, Kanaker, 10.06.2002, leg. M. Mardjanyan; Syunik prov., Shvanidzor, 10.06.2017, leg. G. Karagyan.

Распространение: эндемик Армении.

ВЫВОДЫ

Род *Melanotus* в коллекции Института зоологии НЦЗГ НАН РА представлен 21 видом из разных пунктов Европы, Кавказа и среднеазиатского региона. Коллекции включают эндемиков Армении (*M. gedeoni* Mardjanyan, 2015, *M. platiai* Mardjanyan, 2015, *M. khnzoriani* Mardjanyan, 2015), Таджикистана (*M. fragilloides* Dolin, 1988, *M. vidualis* Gurjeva, 1988) и Ирана (*M. dichroides* Platia & Gudenzi, 1999, *M. richterae* Mardjanyan, 2015). Впервые указаны для фауны Армении *M. castanipes* Paykull, 1800, *M. fulvus* Reitter, 1891, *M. slatkovi* Dolin & Atamuradov, 1986; для фауны Таджикистана – *M. rustamovi* Dolin & Atamuradov 1987, для Туркменистана – *M. persimilis* Dolin & Latifi, 1988.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаем искреннюю благодарность покойным Е.Л. Гурьевой, В.А. Рихтер, В.Г. Долину, и с особой теплотой вспоминаем их консультации, советы и сотрудничество, а также признательны Дж. Платиа (Гаттео, Италия), проф. В.А. Корнееву (Институт зоологии им. Шмальгаузена, Киев, Украина), Г. Гобари (Университет Курдистана, Санандадж, Иран) за предоставление материала и необходимой информации. А также особо признательны М.Ю. Калашяну за полезные советы и корректировку рукописи.

ACKNOWLEDGMENT

We express our sincere gratitude to the late E.L. Gurjeva, V.A. Richter and V.G. Dolin, remembering with special warmth their consultations, advice and cooperation. We are also grateful to Dr G. Platia (Gatteo, Italia), Prof. Valery A. Korneyev (Schmalhausen Institute of Zoology, Kiev,

Ukraine) and Dr H. Gobari (University of Kurdistan, Sanandaj, Iran) for providing material and necessary information. We are especially grateful to Dr Mark Yu. Kalashian for his useful advice and correction of the manuscript.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cate P.C. Family Elateridae // In Löbl I. & Smetana A. (eds.). Catalogue of Palearctic Coleoptera. Vol. 4., Elateroidea – Derodontoidea – Bostrichoidea – Lymexyloidea – Cleroidea – Cucujidae. Stenstrup: Apollo Books, 2007. 935 p.
2. Долин В.Г., Атамуратов Х.И. Жуки-щелкуны (Elateridae) Туркменистана. Киев: Ин-т зоологии НАН Украины, 1993. 176 с.
3. Dolin V.G., Cate P.C. Eine neue Art der Gattung *Melanotus* Eschscholtz aus dem westlichen Kopetdag Gebirge (Turkmenistan) (Coleoptera: Elateridae) // Koleopterologische Rundschau. 1995. N 65. P. 169-170.
4. Platia G., Gudenzi I. Description of eleven new species of click-beetles the Palearctic region, a case of legs teratology and new records of some species of the Italian fauna (Insecta Coleoptera Elateridae) // Quaderno di Studi Natizie di Storia della Romagna. 2005. 21 suppl. P. 109-127.
5. Долин В.Г. Два новых вида жуков-щелкунов рода *Melanotus* Eschz (Coleoptera, Elateridae) из Таджикистана // Вестник зоологии. 1988. Т. 22. N 4. С. 78-81.
6. Dolin V.G. Neue *Melanotus* – Arten aus Zentralasien (Coleoptera: Elateridae) // Koleopterologische Rundschau. 1990. V. 60. P. 117-124.
7. Долин В.Г. Новые виды жуков-щелкунов рода *Melanotus* Eschz (Coleoptera, Elateridae) из Средней Азии // Энтомологическое обозрение. 1997. Т. 76. Вып. 2. С. 350-356.
8. Долин В.Г., Латифи А.О. Новые виды жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) из Таджикской ССР // Вестник зоологии. 1989. Т. 23. N 2. С. 85-87.
9. Dolin V.G., Latifi A.O. Neue Elateriden-Arten (Coleoptera) aus Tadjikistan. Vestnik Zoology. 1997. V. 31. N 3. P. 83-85.
10. Dolin W.G., Cate P.C. Eine neue Art der Gattung *Melanotus* Eschscholtz aus Tadjikistan (Coleoptera: Elateridae) // Koleopterologische Rundschau. 1990. N 60. P. 113-115.
11. Buchholz L., Dolin V.G. A new species of *Melanotus* Eschscholtz (Coleoptera, Elateridae) // Polskoe Pismo Entomologiezne. 1990. V. 59. P. 713-717.
12. Platia G. New species and chorological notes of click beetles from the Palaeartic Region, especially from the Middle East (Coleoptera, Elateridae) // Boletín de Sociedad Entomologica Aragonesa (S.E.A.). 2010. N 46. P. 23-49.
13. Akhter M.A., Platia G., Rizvi S.A., Ahmed Z. A new species of *Melanotus* (Eschscholtz, 1829) with notes on other species of the genus from Pakistan (Coleoptera, Elateridae) // Pakistan J. Zoology. 2011. V. 43. N 3. P. 581-585.
14. Гурьева Е.Л. Новые виды жуков-щелкунов рода *Melanotus* Eschz (Coleoptera, Elateridae) из Афганистана // Проблемы систематики жесткокрылых насекомых. Труды зоологического ин-та АН СССР. 1990. Т. 211. С. 40-49.
15. Platia G. New species and new records of click beetles from the Palaeartic Region (Coleoptera, Elateridae) // Boletín de Sociedad Entomologica Aragonesa (S.E.A.). 2011. N 48. P. 47-60.
16. Platia G. New species and new records of click beetles

from the Palaearctic Region (Coleoptera, Elateridae) // Boletín de Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.). 2016. N 58. P. 63-74.

17. Platia G. Descriptions of ten new species of click beetles from the Palearctic Region, with new distributional records (Coleoptera, Elateridae) // Boletín de Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.). 2012. N 50. P. 199-207.

18. Platia G. Descriptions of fourteen new species of click beetles from the Palearctic Region, with chorological notes (Insecta Coleoptera Elateridae) // Quaderno di Studi Natizie di Storia della. Romagna. 2010. N 30. P. 103-130.

19. Platia G. Click-Beetles collected in Iran by the Expeditions of the Naturkunde museum Erfurt with description of two new Species (Coleoptera, Elateridae) // Vernate. 2013. V. 32. P. 391-402.

20. Марджанян М.А., Гобари Х., Нозари Дж., Хайе Г. Материалы к фауне жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) провинции Голестан (Иран) // Биологический журнал Армении. 2013. Т. 65. N 4. С. 130-132.

21. Platia G., Furlan L., Gudenzi I. Descrizione di sei nuove specie di Elateridi dell'Iran (Insecta, Coleoptera, Elateridae) // Naturalista Valtellinese – Atti Museum civ. Storia natura Morbegno. 2002. N 13. P. 65-77.

22. Platia G., Gudenzi I. New species and new interesting records of click-beetles from Iran and Iraq (Coleoptera, Elateridae) // Entomologica Fennica. 1999. N 10. P. 117-125.

23. Марджанян М.А., Гобари Х., Нозари Дж. Материалы к фауне жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) провинции Курдистан (Иран) // Материалы Всероссийского форума с международным участием «Эколого-экономический потенциал экосистем Северо-Кавказского федерального округа, причины современного состояния и вероятные пути устойчивого развития социоприродного комплекса», г. Махачкала, 24-27 сентября 2015. С. 358-361.

24. Марджанян М.А. Фауна Армянской ССР. Щелкуны (Elateridae). Ереван: Академия наук Армянской ССР, 1987, 204 с.

25. Kesdek M., Platia G., Yildirim E. Contribution to the Knowledge of click-beetles fauna of Turkey (Coleoptera: Elateridae) // Entomofauna (Ztsch. f. Entomologie). 2006. B. 27, H. 31. P. 353-368.

26. Platia G., Tuba Öncül Abacıdil, Niklas Jansson, Tamer Kayis, Mustafa Coskin, Sakin Vural Varli. Click-beetles (Coleoptera, Elateridae) from two oak forests in Turkey // Boletín de Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.). 2014. N 55. P. 41-48.

27. Marjanyan M.A. New species of click beetles of the genus *Melanotus* Eschscholtz 1829 (Coleoptera, Elateridae) from Armenia and Iran // Entomological review. 2015. V. 95. N 3. P. 392-396.

REFERENCES

1. Cate P.C. Family Elateridae. Catalogue of Palearctic Coleoptera. Vol. 4., Elateroidea – Derodontoidea – Bostrichoidea – Lymexyloidea – Cleroidea – Cucujidae. Stenstrup, Apollo Books, 2007, 935 p.
2. Dolin V.G., Atamuradov Kh.I. *Zhuki – shchelkuni (Elateridae) Turkmenistana* [Click beetles (Elateridae) of Turkmenistan]. Kiev, Institute of Zoology NAS of Ukraine Publ., 1993, 176 p. (in Russian)
3. Dolin V.G., Cate P.C. Eine neue Art der Gattung *Melanotus* Eschscholtz aus dem westlichen Kopetdag Gebirge

(Turkmenistan) (Coleoptera: Elateridae). Koleopterologische Rundschau, 1995, no. 65, pp. 169-170.

4. Platia G., Gudenzi I. Description of eleven new species of click-beetles the Palearctic region, a case of legs teratology and new records of some species of the Italian fauna (Insecta Coleoptera Elateridae). Quaderno di Studi Natizie di Storia della. Romagna, 2005, 21 suppl., pp. 109-127.

5. Dolin V.G. Two new species click beetles of genus *Melanotus* Eschz (Coleoptera, Elateridae) from Tadzhikistan. Vestnik zoologii [Vestnik Zoology]. 1988, vol. 22, no. 4, pp. 78-81. (In Russian)

6. Dolin V.G. Neue *Melanotus* – Arten aus Zentralasien (Coleoptera: Elateridae). Koleopterologische Rundschau, 1990, vol. 60, pp. 117-124.

7. Dolin V.G. New species click beetles from Middle Asia. Entomologicheskoe obozrenie [Entomological review]. 1997, vol. 76, iss. 2, pp. 350-356. (In Russian)

8. Dolin V.G., Latifi A.O. New species click beetles from Tadjik SSR. Vestnik zoologii [Vestnik Zoology]. 1989, vol. 23, no. 2, pp. 85-87. (In Russian)

9. Dolin V.G., Latifi A.O. Neue Elateriden – Arten (Coleoptera) aus Tadzhikistan. Vestnik Zoology. 1997, vol. 31, no. 3, pp. 83-85.

10. Dolin W.G., Cate P.C. Eine neue Art der Gattung *Melanotus* Eschscholtz aus Tadzhikistan (Coleoptera: Elateridae). Koleopterologische Rundschau. 1990, no. 60, pp. 113-115.

11. Buchholz L., Dolin V.G. A new species of *Melanotus* Eschscholtz (Coleoptera, Elateridae). Polskoe Pismo Entomologiezne. 1990, vol. 59, pp. 713-717.

12. Platia G. New species and chorological notes of click beetles from the Palaearctic Region, especially from the Middle East (Coleoptera, Elateridae). Boletín de Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.). 2010, no. 46, pp. 23-49.

13. Akhter M.A., Platia G., Rizvi S.A. & Ahmed Z. A new species of *Melanotus* (Eschscholtz, 1829) with notes on other species of the genus from Pakistan (Coleoptera, Elateridae). Pakistan J. Zoology. 2011, vol. 43, no. 3, pp. 581-585.

14. Gurjeva E.L. [New species click beetles of genus *Melanotus* Eschz (Coleoptera, Elateridae) from Afganistan]. In: *Problemy sistematiki zhestkokrylykh nasekomykh* [Problems of the taxonomy of coleopteran insects]. 1990, vol. 211, pp. 40-49.

15. Platia G. New species and new records of click beetles from the Palaearctic Region (Coleoptera, Elateridae). Boletín de Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.). 2011, no. 48, pp. 47-60.

16. Platia G. New species and new records of click beetles from the Palaearctic Region (Coleoptera, Elateridae). Boletín de Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.). 2016, no. 58, pp. 63-74.

17. Platia G. Descriptions of ten new species of click beetles from the Palearctic Region, with new distributional records (Coleoptera, Elateridae). Boletín de Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.). 2012, no. 50, pp. 199-207.

18. Platia G. Descriptions of fourteen new species of click beetles from the Palearctic Region, with chorological notes (Insecta Coleoptera Elateridae). Quaderno di Studi Natizie di Storia della. Romagna. 2010, no. 30, pp. 103-130.

19. Platia G. Click-Beetles collected in Iran by the Expeditions of the Naturkundemuseum Erfurt with description of two new Species (Coleoptera, Elateridae). Vernate, 2013, vol. 32, pp. 391-402.

20. Marjanyan M.A., Ghobari H., Nozari J., Khaye H. Contribution to the knowledge of the fauna of click beetles (Col-

eoptera, Elateridae) of province Golestan (Iran). *Biologicheskii zhurnal Armenii* [Biological Journal of Armenia]. 2013, vol. 65, no. 4, pp. 130-132. (In Russian)

21. Platia G., Furlan L., Gudenzi I. Descrizione di sei nuove specie di Elateridi dell'Iran (Insecta, Coleoptera, Elateridae). *Naturalista Valtellinese – Atti Museum civ. Storia natura Morbegno*. 2002, no. 13, pp. 65-77.

22. Platia G., Gudenzi I. New species and new interesting records of click-beetles from Iran and Iraq (Coleoptera, Elateridae). *Entomologica Fennica*. 1999, no. 10, pp. 117-125.

23. Marjanyan M.A., Gobari H., Nozari J. Materialy k faune zhukov shchelkunov (Coleoptera, Elateridae) provincii Kurdistan (Iran) [Materials for the fauna of click beetles (Coleoptera, Elateridae) of the Kurdistan province (Iran)]. *Materialy vserossiiskogo foruma s mezhdunarodnim uchastiem «Ekologo ekonomicheskii potencial ekosistem Severo Kavkazskogo federalnogo okruga, prichini sostoyaniya i veroyatnie puti istoichivogo razvitiya socprirodnogo kompleksa»*, Makhachkala, 24-27 September 2015 [Proceedings of the All-Russian Forum with international participation "Ecological and economic potential of ecosystems of the

North Caucasian Federal District, the reasons for the current state and probable ways of sustainable development of the socio-natural complex" Makhachkala, 24-27 September 2015]. Makhachkala, 2015, pp. 358-361. (In Russian)

24. Marjanyan M.A. Fauna Armyanskoi SSR. Shchelkunov. (Elateridae) [Click beetles (Elateridae) of Armyanskoi SSR]. Yerevan, Academy of Sciences of the Armenian SSR Publ., 1987, 204 p.

25. Kesdek M., Platia G., Yildirim E. Contribution to the Knowledge of click – beetles fauna of Turkey (Coleoptera: Elateridae). *Entomofauna (Ztsch. f. Entomologie)*. 2006, B. 27, H. 31, pp. 353-368.

26. Platia G., Tuba Öncül Abacidil, Niklas Jansson, Tamer Kayis, Mustafa Coskin, Sakin Vural Varli. Click-beetles (Coleoptera, Elateridae) from two oak forests in Turkey. *Boletin de Sociedad Entomologica Aragonesa (S.E.A)*. 2014, no. 55, pp. 41-48.

27. Marjanyan M.A. New species of click beetles of the genus *Melanotus* Eschscholtz 1829 (Coleoptera, Elateridae) from Armenia and Iran. *Entomological review*. 2015, vol. 95, no. 3, pp. 392-396.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Маргарит А. Марджанян, проведен обзор литературных источников, разработка полученных данных. Аида А. Аветисян, сбор научного материала, корректура рукописи. Авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Margarit A. Marjanyan reviewed the literature and developed the developed the data obtained. Aida A. Avetisyan collected scientific material and proof read the manuscript. The 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

Маргарит А. Марджанян / Margarit A. Marjanyan <https://orcid.org/0000-0002-5539-2684>

Аида А. Аветисян / Aida A. Avetisyan <https://orcid.org/0000-0002-9749-4208>

Оригинальная статья / Original article
УДК 004.94, 620.91
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-152-160

Исследование сезонных изменений частотных характеристик скорости и направления ветра в Приморском Дагестане

Дмитрий Н. Кобзаренко¹, Айшат М. Камилова¹, Булат Д. Паштаев²

¹Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ФГБУН Объединенного института высоких температур РАН, Махачкала, Россия

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

Контактное лицо

Дмитрий Н. Кобзаренко, доктор технических наук, лаборатория комплексного освоения возобновляемых источников энергии, Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал Объединенного института высоких температур РАН; 367030 Россия, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 39а.

Тел. +79882649074

Email kobzarenko_dm@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0963-7935>

Формат цитирования

Кобзаренко Д.Н., Камилова А.М., Паштаев Б.Д. Исследование сезонных изменений частотных характеристик скорости и направления ветра в Приморском Дагестане // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 152-160. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-152-160

Получена 18 мая 2020 г.

Прошла рецензирование 9 июля 2020 г.

Принята 25 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Выполнить анализ сезонных изменений частотных характеристик скорости и направления ветра на территории Приморского Дагестана (рассматриваются районы городских округов Махачкалы и Дербента) с точки зрения ветроэнергетического потенциала.

Материал и методы. Исследование проводится на основе временных рядов – скоростей и направлений ветра за временной период 2011-2018 гг., полученных в результате наблюдений на метеорологических станциях «Махачкала» и «Дербент». В качестве математического инструмента исследования используется непрерывное вейвлет-преобразование с комплексной вейвлет-функцией Морле.

Результаты. Установлено, что основной периодичностью колебания во временных рядах является периодичность в одни сутки и наличие периодичности в одни сутки во временном ряде имеет ярко выраженные сезонные изменения. Также установлены и описаны различия в сезонных изменениях периодичности в одни сутки для скорости и направления ветра между территориями городов Махачкалы и Дербента.

Заключение. Рассмотренные параметры оценки сезонных изменений динамики скорости и направления ветра могут применяться как дополнительные параметры для классификации и кластеризации регионов для выявления лучших территорий ветроэнергетического потенциала.

Ключевые слова

Частотно-временной анализ, скорость ветра, направление ветра, энергия ветра, непрерывное вейвлет-преобразование.

Estimation of seasonal changes in the frequency characteristics of wind speed and direction in coastal Dagestan, Russia

Dmitry N. Kobzarenko¹, Ayshat M. Kamilova¹ and Bulat D. Pashtaev²

¹Institute of Geothermal and Renewable Energy Research, Branch of Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

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

Principal contact

Dmitry N. Kobzarenko, Doctor of Technical Science, Laboratory for Integrated Development of Renewable Energy Sources, Institute of Geothermal and Renewable Energy Research, Branch of Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences; 39A Imama Shamil'ya Prospekt, Makhachkala, Russia 367030.
Tel. +79882649074

Email kobzarenko_dm@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0963-7935>

How to cite this article

Kobzarenko D.N., Kamilova A.M., Pashtaev B.D. Estimation of seasonal changes in the frequency characteristics of wind speed and direction in coastal Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 152-160. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-152-160

Received 18 May 2020

Revised 9 July 2020

Accepted 25 August 2020

Abstract

Aim. To analyse seasonal changes in the frequency characteristics of wind speed and direction in coastal Dagestan, namely the urban districts of the cities of Makhachkala and Derbent, from the point of view of wind power potential.

Material and Methods. The research was based on time series of wind speed and direction for the period 2011-2018, obtained as a result of observations at the Makhachkala and Derbent weather stations. As a mathematical research tool, a continuous wavelet transform with a complex Morlet wavelet function was used.

Results. According to the results of analysis, it was found that the main frequency of fluctuations in the time series is one day and one-day periodicity in the time series has pronounced seasonal changes. Also, differences in seasonal changes of one-day periodicity for wind speed and direction between the regions of Makhachkala and Derbent were established and described.

Conclusion. The parameters considered in assessing seasonal changes in the dynamics of wind speed and direction can be used as additional parameters for the classification and clustering of regions to identify the best areas of wind power potential.

Key Words

Time-frequency analysis, wind speed, wind direction, wind power, continuous wavelet transform.

ВВЕДЕНИЕ

Основным параметром для оценки потенциала энергии ветра является скорость и ее среднемесячные/среднегодовые значения. Для выполнения общего прогноза ресурсного потенциала энергии ветра на определенной территории обычно выполняется статистический анализ скорости ветра, как например, в работе [1]. Такой анализ может дать нам ответ на вопрос, насколько пригодна территория для использования энергии ветра и строительства ветряных электростанций.

Важным вопросом исследования ветроэнергетического потенциала является оценка распределения скорости ветра в открытом море, в частности на побережье [2]. Такое исследование помогает оптимизировать размещение ветряных установок на морском побережье. Для планирования размещения ветряных электростанций необходимо также создание интегрированного инструмента оценки ветровых ресурсов. Пример создания такого инструмента приведен в работе [3].

Много научных работ посвящено предиктивному моделированию скорости ветра различными методами. В последнее время часто для прогнозирования используется математический аппарат нейронной сети, как, например, в работе [4].

Наше исследование направлено на изучение динамики изменения скорости и направления ветра для выявления ее зависимости от времени года и от географического территориального расположения. В последнее время не встречались научные работы, связанные с оценкой такого параметра, как направление ветра. Однако этот параметр также очень важен для ветроэнергетики, и он влияет на выбор типа ветрогенератора. Согласно [5] существует два основных типа ветрогенераторов: с вертикальной и горизонтальной осью вращения. У горизонтального ветрогенератора производительность в момент разворота связанного со сменой направления ветра затухает, поэтому в районах с постоянно меняющимся направлением ветра рекомендуется использовать вертикальные ветрогенераторы, для которых направление ветра не играет роли, но их коэффициент полезного действия ниже, чем у горизонтальных. Таким образом, динамика изменения направления ветра влияет на выбор типа ветрогенерирующей установки.

Технической основой для выполнения исследования являются в разное время разработанные информационные технологии:

- программа для выполнения непрерывного вейвлет-преобразования вейвлетами Mexican Hat и Morlet [6], позволяющая сохранять массивы-результаты в двоичном формате;

- база данных ветромониторинга [7], дополненная возможностями построения розы ветров и расчета средних скоростей ветра;

- программа для расчета и построения гистограмм частотного распределения по результатам непрерывного вейвлет-преобразования функцией morlet [8].

Объектом исследования являются временные ряды – скорости и направления ветра в Приморском

Дагестане, взятые из наблюдений метеорологических станций «Махачкала» и «Дербент», расположенных в одноименных городах.

В качестве математического аппарата частотно-временного анализа используется непрерывное вейвлет-преобразование [9]. Существуют зарубежные научные работы, в которых вейвлет-преобразование используется в качестве инструмента предсказания поведения временного ряда – скорости ветра в будущем. Нами же этот инструмент используется для оценки динамики частотных характеристик временного ряда.

Основная цель исследования – проанализировать сезонные и пространственные зависимости частоты изменения скорости и направления ветра в Приморском Дагестане с точки зрения ветроэнергетического потенциала.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На сегодняшний момент имеется в наличии база данных ветромониторинга по наблюдениям нескольких метеостанций региона, которая охватывает временной период 2011-2018 гг. с частотой 8 измерений в сутки. Для выполнения текущих исследований по Приморскому Дагестану сформированы временные ряды для параметров скорость ветра и направление ветра на основе данных метеорологических станций «Махачкала» и «Дербент».

Вейвлет-преобразование общего временного ряда 2011-2018 гг. является достаточно трудоемким вычислительным процессом. Поэтому для удобства вычислений временной ряд разбивается на двухлетние интервалы: 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017 и 2017-2018. За единицу временного отсчета принят интервал 0,125 суток (что соответствует 8 измерениям в сутках). Таким образом, двухлетний интервал состоит из количества значений $(365 + 365) * 8 = 5840$ или $(365 + 366) * 8 = 5848$.

Непрерывное вейвлет-преобразование временного ряда выполняется по известной формуле (1):

$$W(a, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-x}{a}\right) dt \quad (1)$$

где $W(a, t)$ – коэффициент вейвлет-преобразования; $f(t)$ – временной ряд; t – время; ψ – вейвлет-функция, a – значение периода (частоты); x – временной сдвиг вейвлет-функции.

Для анализа временного ряда используется вейвлет-функция Morlet, которая состоит из вещественной (2) и мнимой (3) частей. Вейвлет-преобразование временного ряда с помощью функции Morlet дает возможность оценить его колебательные свойства для различных временных периодов.

$$\psi(t)_{RE} = \cos(w_0 t) \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2)$$

$$\psi(t)_{IM} = \sin(w_0 t) \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (3)$$

где w_0 – частота модуляции, обычно принимаемая равной 6.

На основе соотношения (1) вейвлет-преобразование выполняется для вещественной части $W(a, t)_{RE}$ с использованием (2) и мнимой части $W(a, t)_{IM}$

с использованием (3), а затем рассчитывается значение модуля по формуле (4).

$$W(a, t) = \sqrt{W(a, t)_{RE}^2 + W(a, t)_{IM}^2} \quad (4)$$

В результате операций (1-4) генерируется матрица коэффициентов вейвлет-преобразования $W[a, t]$ с количеством строк a (периодичность) и количеством столбцов t (время). Визуализация матрицы $W[a, t]$ на примере модельного сигнала, описанная нами в работе [10] позволяет наглядно увидеть динамику изменения его частот во времени.

Относительно данных ветромониторинга вейвлет-преобразование дает возможность проанализировать изменчивость частотных характеристик параметров ветра по месяцам, сезонам, полугодиям. В рамках текущего исследования выполнены расчеты (1-4), в которых периодичность a принимается в диапазоне от 1 до 51 суток с шагом 0,25 суток (6 часов). Имея в наличии сгенерированный набор матриц $W[a, t]$ можно строить

и анализировать гистограммы распределения периодичностей a в различные периоды времени. Наличие периодичности a в период времени t определяется из условия:

$$W[a - 1, t] \leq W[a, t] \leq W[a + 1, t].$$

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим основные результаты, полученные с помощью частотно-временного анализа. Заранее отметим, что расчеты выполнены на основе набора данных временного периода 2011-2018 гг., поскольку задачей текущего исследования является изучение общих частотных закономерностей временных рядов.

На рис. 1 представлены гистограммы распределения периодичностей в диапазоне 0,5-7,25 суток: один график соответствует данным скорости ветра, другой – данным направления ветра.

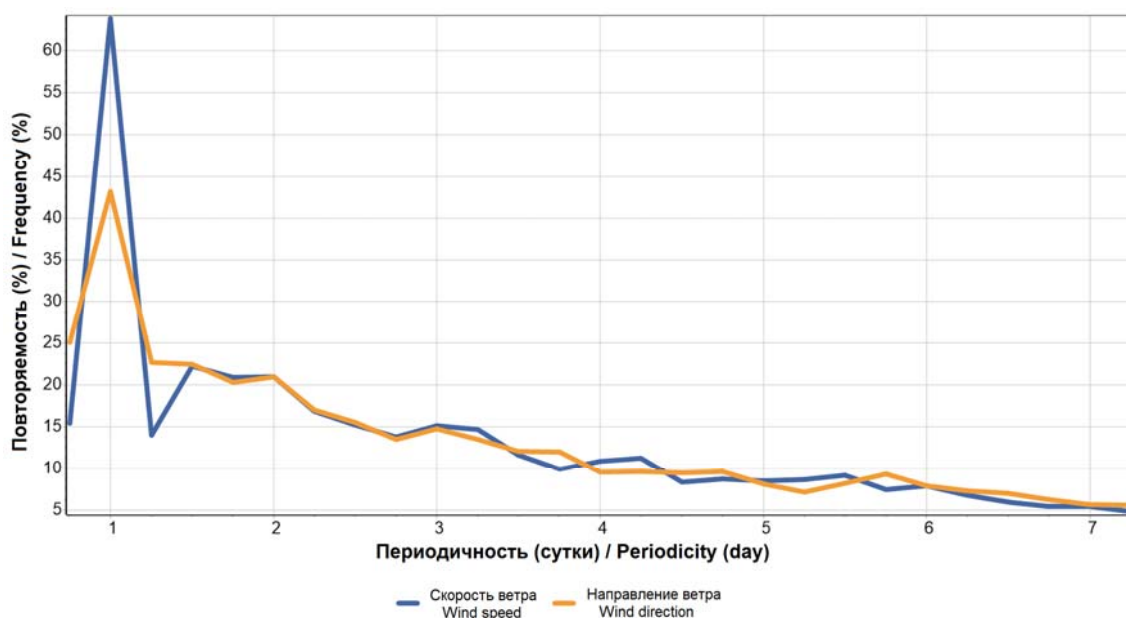


Рисунок 1. Гистограммы распределения периодичностей во временных рядах по скорости и по направлению ветра на основе данных двух метеостанций

Figure 1. Histograms of periodicities distribution in time series of wind speed and direction from both weather stations

Для каждого графика (рис. 1) взяты данные обеих рассматриваемых метеостанций. На гистограмме можно наблюдать факт того, что основной периодичностью во временных рядах является периодичность в одни сутки и эта периодичность стоит подробного рассмотрения. Для скорости ветра она составляет около 67%, а для направления ветра – около 43%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что суточное изменение скорости ветра для Приморского Дагестана в среднем происходит в 1,5 раза динамичнее, чем изменение направления ветра.

Поскольку периодичность в одни сутки является определяющей в рассматриваемых временных рядах, то далее все внимание уделим ее оценке.

Рассмотрим гистограммы, на которых сравним графики получение отдельно по данным метеорологических станций «Дербент» и «Махачкала». Гистограммы изображены на рис. 2-3. На основе их сопоставления делаем вывод о том, что для скорости ветра (рис. 2) повторяемость периодичности в одни сутки в среднем выше для данных метеорологической станции «Дербент», а для направления ветра (рис. 3) эта же повторяемость в среднем выше для данных метеорологической станции «Махачкала». В результате можно предположить, что с точки зрения динамики скорости ветра для ветроэнергетики предпочтительней является район Махачкалы, а с точки зрения динамики направления ветра в более выигрышной ситуации находится район Дербента.

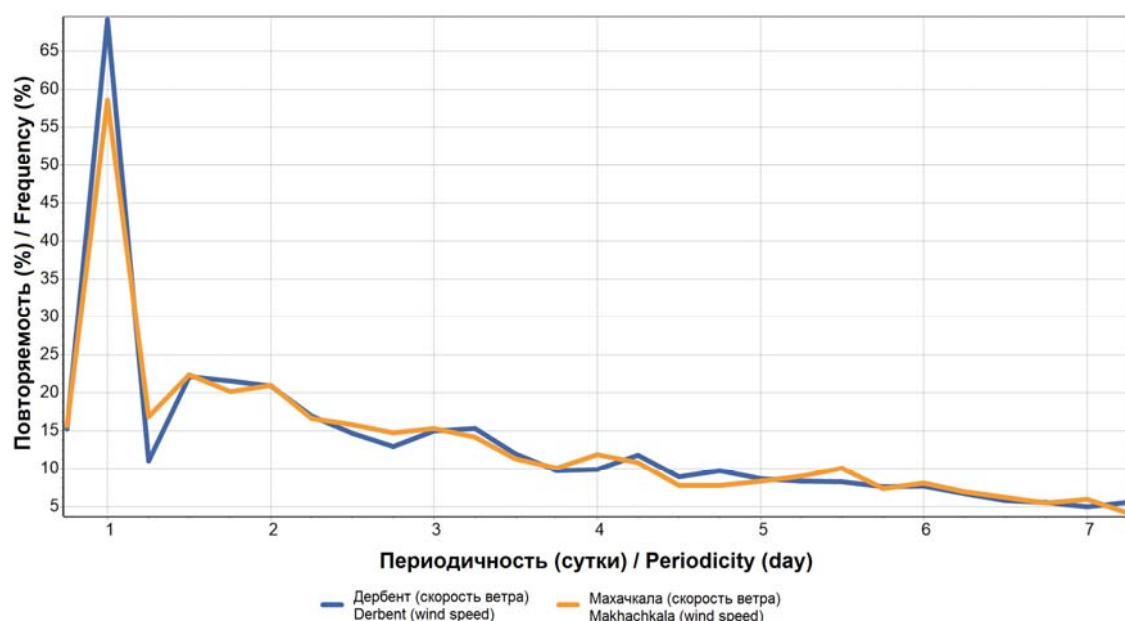


Рисунок 2. Гистограммы распределения периодичностей во временных рядах по скорости ветра
Figure 2. Histograms of the periodicities distribution in time series of wind speed

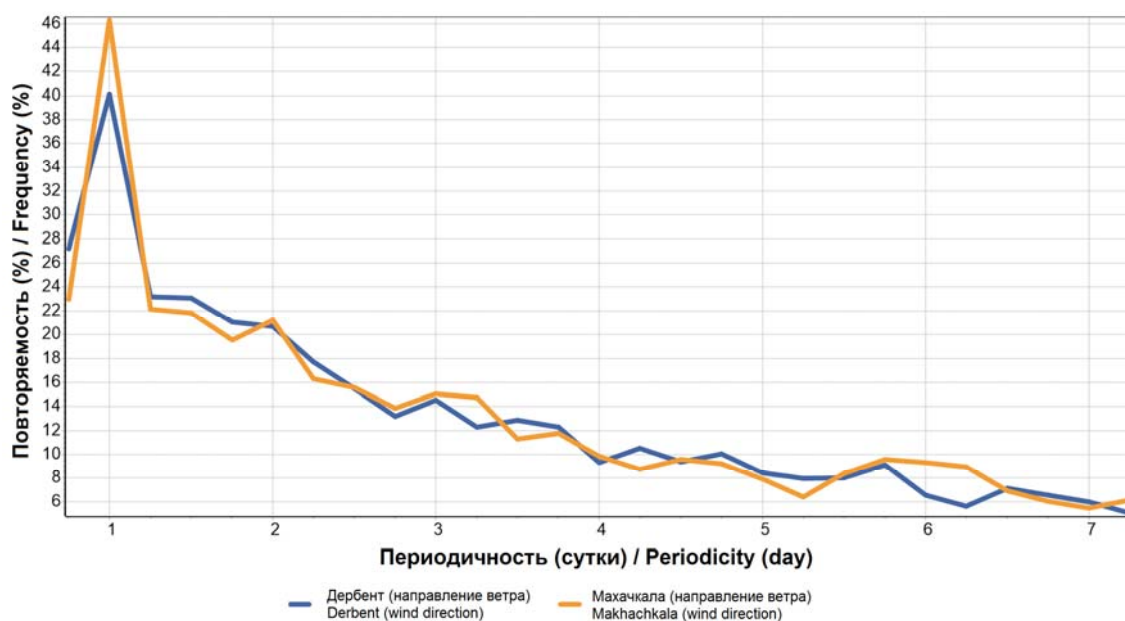


Рисунок 3. Гистограммы распределения периодичностей во временных рядах по направлению ветра
Figure 3. Histograms of periodicities distribution in time series of wind direction

Теперь объединим набор данных обеих метеорологических станций и разделим его по временам года (рис. 4-5). Полученные таким способом результаты показывают, что повторяемость периодичности в один день и для скорости ветра, и для направления ветра существенно зависят от времени года и меняются от зимнего периода к летнему.

Между зимними и летними значениями повторяемости периодичности в один сутки (рис. 4-5) наблюдается двукратная разница, а примерно в середине интервала между зимними и летними пиковыми значениями располагаются пиковые значения осени и весны.

Рассмотрим подробнее сезонные изменения повторяемости периодичности в один сутки. Для этого зафиксируем соответствующие значения по месяцам, и все результаты сведем в единую диаграмму, которая показана на рис. 6. Здесь мы можем наблюдать то, что все графики подвержены сезонному изменению по месяцам и в общем случае образуют годовой период колебательного процесса. Диаграмма показывает, что для данных метеорологической станции «Махачкала» разность между графиками скорости и направления ветра меньше, чем для данных метеорологической станции «Дербент».

Если мы посмотрим на графики сезонных изменений повторяемости скорости ветра более 4 м/с (рис. 7), то на обоих графиках прослеживается четкая волнообразная зависимость: ранней весной повторяемость увеличивается, затем к лету происходит падение и затем плавный подъем к декабрю месяцу. Таким образом, сезонные изменения характерны и для повторяемости

скорости ветра в рассматриваемом регионе. Если сопоставить диаграммы на рис. 6 (по скорости ветра) и на рис. 7, то можно увидеть, что сравнительно большие значения периодичности в одни сутки для данных метеостанции «Дербент» приводят к сравнительно меньшим значениям повторяемости скорости ветра больше 4 м/с.

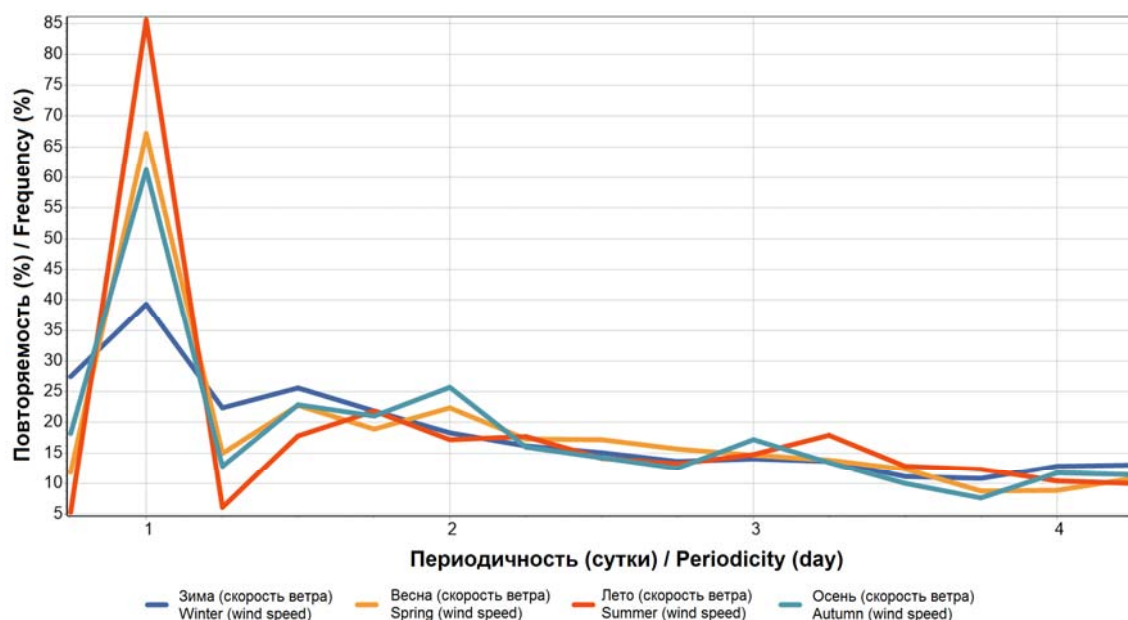


Рисунок 4. Гистограммы распределения периодичностей во временных рядах по скорости ветра на основе данных двух метеостанций по временам года

Figure 4. Histograms of periodicities distribution in time series of wind speed from both weather stations by season

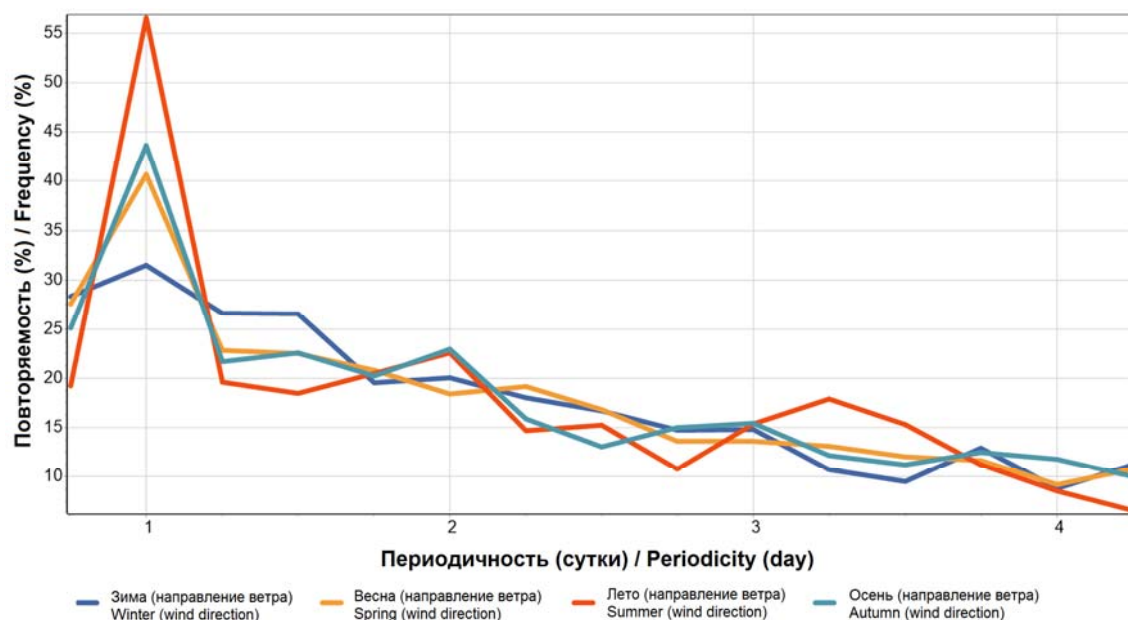


Рисунок 5. Гистограммы распределения периодичностей во временных рядах по направлению ветра на основе данных двух метеостанций по временам года

Figure 5. Histograms of periodicities distribution in time series of wind direction from both weather stations by season

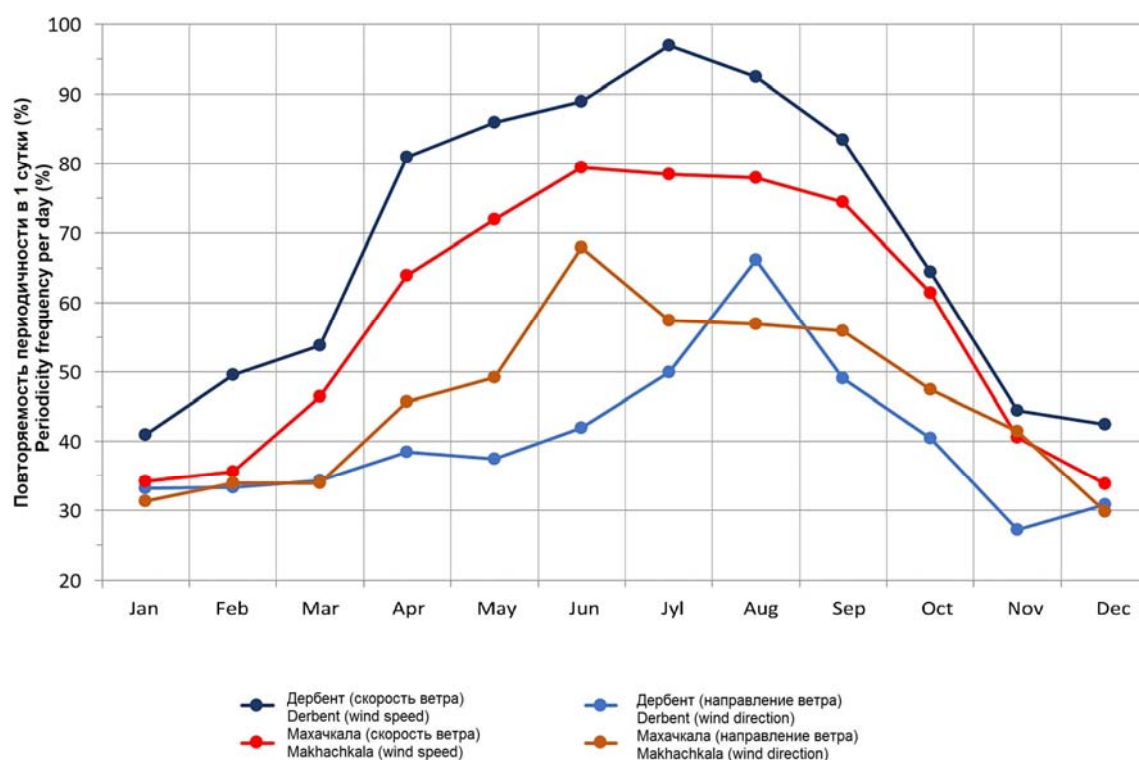


Рисунок 6. Сезонные изменения повторяемости периодичности в одни сутки по месяцам

Figure 6. Seasonal changes in the availability of one-day periodicity

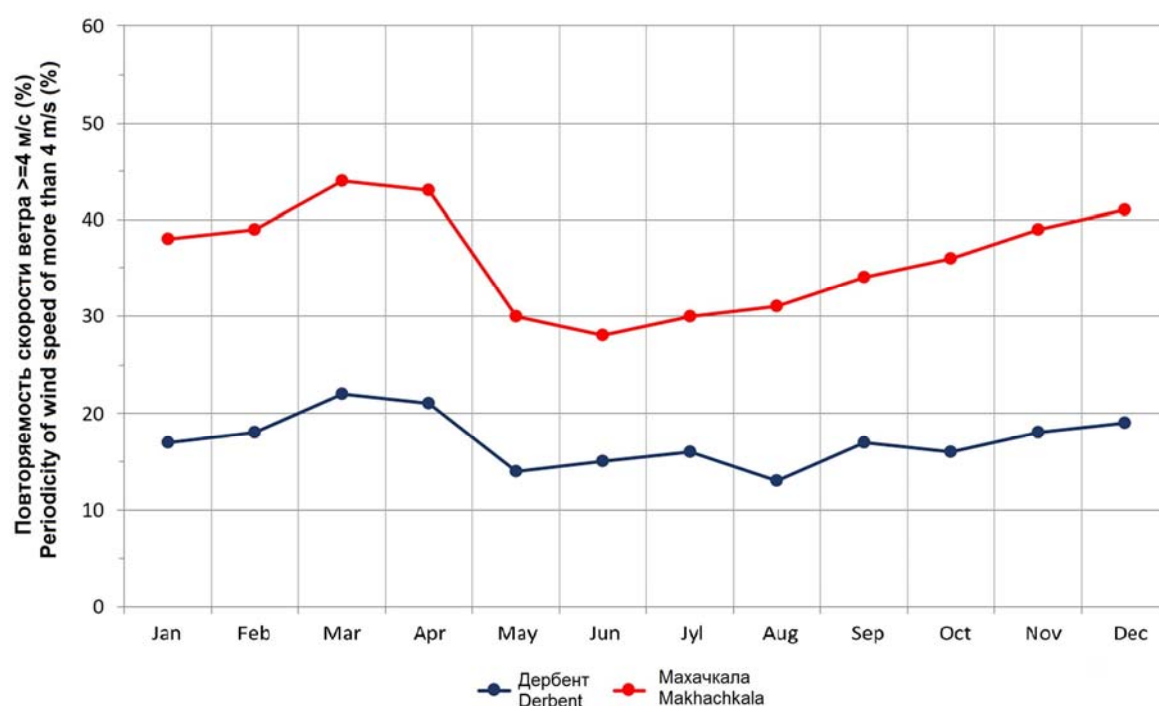


Рисунок 7. Сезонные изменения повторяемости скорости ветра более 4 м/с по месяцам

Figure 7. Seasonal changes of periodicity of wind speed of more than 4 m/s

Относительно повторяемости скорости ветра (рис. 7) следует отметить факт того, что метеорологические станции «Махачкала» и «Дербент» находятся в город-

ской черте. Поэтому реальные значения скоростей ветра на морском побережье будут выше и более пригодными для ветроэнергетики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено исследование по оценке сезонных изменений частотных характеристик временных рядов по скорости и направлению ветра в Приморском Дагестане на основе данных метеорологических станций «Махачкала» и «Дербент», полученных с 2011 по 2018 гг.

Основные выводы сводятся к следующим:

1) Установлено, что основной периодичностью колебания во временных рядах является периодичность в одни сутки.

2) Установлено, что наличие периодичности в одни сутки во временном ряде имеет ярко выраженные сезонные изменения. Этот параметр возрастает к лету и убывает к зиме.

3) Установлены различия в сезонных изменениях периодичности в одни сутки для скорости и направления ветра между рассматриваемыми территориями. В районе города Махачкалы наблюдается более благоприятная картина для ветроэнергетики с точки зрения динамики и повторяемости скорости ветра по сравнению с районом города Дербент. Однако в районе города Дербент в среднем наблюдается меньшая интенсивность изменения направления ветра, что играет свою положительную роль для КПД горизонтального ветрогенератора.

Рассмотренные параметры оценки сезонных изменений динамики скорости и направления ветра могут применяться как дополнительные параметры для классификации и кластеризации регионов для выявления лучших территорий ветроэнергетического потенциала. Поэтому данное исследование планируется продолжать для других территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Olaofe Z.O., Folly K.A. Statistical Analysis of the Wind Resources at Darling for Energy Production // *International Journal of Renewable Energy Research*. 2012. V. 2. N 2. P. 250-261.
2. Olaofe Z.O. Assessment of the Offshore Wind Speed Distributions at Selected Stations in the South-West Coast, Nigeria // *International Journal of Renewable Energy Research*. 2017. V. 7. N 2. P. 566-577.
3. Gualtieri G. An Integrated Wind Resource Assessment Tool for Wind Farm Planning: System's Upgrades and Applications // *International Journal of Renewable Energy Research*. 2016. V. 6. N 4. P. 1464-1475.
4. Paramasivan S.K., Lopez D. Forecasting of Wind Speed Using Feature Selection and Neural Networks // *International Journal of Renewable Energy Research*. 2016. V. 6. N 3. P. 833-837.
5. Белгородский институт альтернативной энергетики / энергия ветра. URL: <http://altenergo-nii.ru/renewable/wind/> (дата обращения: 30.04.2020)
6. Гаджиев А.А., Гаджиев Р.А., Кобзаренко Д.Н. Вейвлет-анализ колебаний уровня Каспийского моря и влияния на сейсмический режим Дагестанского клина // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2000. N 3. С. 230-236.
7. Кобзаренко Д.Н. К созданию средств автоматизации выборки данных ветромониторинга с сервера «Погода России» // *Программная инженерия*. 2014. N 2. С. 27-32.

8. Кобзаренко Д.Н., Камилова А.М., Шихсаидов Б.И. Средства автоматизации процесса построения гистограмм частотного распределения по результатам непрерывного вейвлет-преобразования с помощью функции morlet // *Программная инженерия*. 2019. Т. 10. N 6. С. 281-288. DOI: 10.17587/prin.10.281-288
9. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // *Успехи физических наук*. 1996. N 11(166). С. 1145-1170. DOI: 10.3367/UFNr.0166.199611a.1145
10. Кобзаренко Д.Н., Камилова А.М., Газанова Н.Ш., Дадашев А.М. Применение непрерывного вейвлет-преобразования в изучении временных рядов ветромониторинга на примере Дагестана // *Информационные технологии*. 2018. Т. 24. N 3. С. 201-208.

REFERENCES

1. Olaofe Z.O., Folly K.A. Statistical Analysis of the Wind Resources at Darling for Energy Production. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2012, vol. 2, no. 2, pp. 250-261.
2. Olaofe Z.O. Assessment of the Offshore Wind Speed Distributions at Selected Stations in the South-West Coast, Nigeria. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2017, vol. 7, no. 2, pp. 566-577.
3. Gualtieri G. An Integrated Wind Resource Assessment Tool for Wind Farm Planning: System's Upgrades and Applications. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2016, vol. 6, no. 4, pp. 1464-1475.
4. Paramasivan S.K., Lopez D. Forecasting of Wind Speed Using Feature Selection and Neural Networks. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2016, vol. 6, no. 3, pp. 833-837.
5. *Belgorodskii institut al'ternativnoi energetiki / energiya vetra* [Belgorod Institute of Alternative Energy / Wind Power]. Available at: <http://altenergo-nii.ru/renewable/wind/> (accessed 30.04.2020)
6. Gadgiev A.A., Gadgiev R.A., Kobzarenko D.N. Wavelet Analysis of Fluctuations in the Level of the Caspian Sea and the Impact on the Seismic Regime of the Dagestan Wedge. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]. 2000, no. 3, pp. 230-236. (In Russian)
7. Kobzarenko D.N. Automation for Sample Data of Wind Monitoring from the "Russia's Weather" Server. *Programnaya inzheneriya* [Software Engineering]. 2014, no. 2, pp. 27-32. (In Russian)
8. Kobzarenko D.N., Kamilova A.M., Shikhsaidov B.I. Automatic Tools for Construction Process of Frequency Distribution Histograms on the Results of Continuous Wavelet Transform by Morlet Function. *Software Engineering*, 2019, vol. 10, no. 6, pp. 281-288. (In Russian) DOI: 10.17587/prin.10.281-288
9. Astaf'eva N.M. Wavelet analysis: basic theory and some applications. *Phys. Usp.*, 1996, no. 11(166), pp. 1145-1170. (In Russian) DOI: 10.3367/UFNr.0166.199611a.1145
10. Kobzarenko D.N., Kamilova A.M., Gazanova N.Sh., Dadashov A.M. Application of Continuous Wavelet-Transformation in the Study of Time Series of Wind Monitoring on the Example of Dagestan. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies]. 2018, vol. 24, no. 3, pp. 201-208. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Айшат М. Камилова выполнила сбор и обработку данных с помощью программного обеспечения. Булат Д. Паштаев консультировал в области применения математического аппарата вейвлет-преобразования для анализа временных рядов. Дмитрий Н. Кобзаренко разработал концепцию исследования, проанализировал его результаты, написал 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

Ayshat M. Kamilova collected and processed data using software. Bulat D. Pashtaev advised on the application of mathematical calculation of wavelet transform for time series analysis. Dmitry N. Kobzarenko developed the research concept, analysed the results and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Дмитрий Н. Кобзаренко / Dmitry N. Kobzarenko <https://orcid.org/0000-0002-0963-7935>

Айшат М. Камилова / Ayshat M. Kamilova <https://orcid.org/0000-0002-6779-4744>

Булат Д. Паштаев / Bulat D. Pashtaev <https://orcid.org/0000-0001-6005-7429>

Оригинальная статья / Original article
УДК 616-022;616-092;616-097
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-161-167

Клинико-иммунологические сопоставления результатов тестирования на COVID-19 сотрудников поликлиники крупного промышленного центра в период пандемии

Ольга О. Обухова¹, Александр Н. Трунов¹, Ольга М. Горбенко¹, Аля П. Шваюк¹,
Татьяна И. Рябиченко¹, Галина А. Скосырева¹, Александр В. Обухов²

¹Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

²Городская клиническая поликлиника №13, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Ольга О. Обухова, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории иммунологии, Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины; 630117 Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2. Тел. +79139403293
Email trio188@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9834-1799>

Формат цитирования

Обухова О.О., Трунов А.Н., Горбенко О.М., Шваюк А.П., Рябиченко Т.И., Скосырева Г.А., Обухов А.В. Клинико-иммунологические сопоставления результатов тестирования на COVID-19 сотрудников поликлиники крупного промышленного центра в период пандемии // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 161-167. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-161-167

Получена 14 октября 2020 г.

Прошла рецензирование 2 ноября 2020 г.

Принята 6 ноября 2020 г.

Резюме

Цель. Определить наличие/отсутствие специфических антител класса IgG к антигенам SARS-CoV-2 у сотрудников амбулаторно-поликлинического звена и проведение клинико-иммунологических сопоставлений за период с апреля по август 2020 года.

Материал и методы. Обследовано 386 сотрудников поликлиники г. Новосибирска. Определение IgG-антител к антигенам SARS-CoV-2 в сыворотке крови осуществляли с помощью метода ИФА. Выделение РНК SARS-CoV-2 из соскоба из носоглотки и ротоглотки проводили с использованием ПЦР-диагностики.

Результаты. Специфические IgG-антитела к антигенам SARS-CoV-2 были выявлены у 32 (8,42%) сотрудников поликлиники. У 91,58% сотрудников антитела не были выявлены. В группе сотрудников с наличием антител у 9 человек (28,12%) наблюдались клинические симптомы заболевания разной степени тяжести. В этой группе у 4 человек (12,51%) диагностирована двусторонняя внебольничная пневмония с признаками, характерными для COVID-инфекции. Еще у 5 сотрудников (15,61%) с наличием антител имели место признаки ОРВИ легкой и средней степени тяжести. РНК SARS-CoV-2 в группе сотрудников с наличием антител и клиническими проявлениями не была выявлена ни в одном случае. У 23 (71,88%) сотрудников с наличием IgG-антител клинических проявлений заболевания не наблюдалось.

Заключение. Наличие специфических антител к SARS-CoV-2 у сотрудников с клиническими проявлениями COVID-19 без обнаружения РНК вируса является ретроспективным подтверждением этиологии перенесенной инфекции. Обнаружение специфических антител у лиц без клинических проявлений может служить подтверждением бессимптомного течения перенесенной коронавирусной инфекции.

Ключевые слова

Коронавирус, SARS-CoV-2, антитела, люди, иммунитет, медицинские сотрудники, амбулаторная помощь.

Clinical and immunological comparisons of the results of testing for COVID-19 of employees of an outpatient medical organization of a large industrial centre during a pandemic

Olga O. Obukhova¹, Alexander N. Trunov¹, Olga M. Gorbenko¹, Alya P. Shvayuk¹, Tatyana I. Ryabichenko¹, Galina A. Skosyreva¹ and Alexander V. Obukhov²

¹Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

²City Clinical Polyclinic №13, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Olga O. Obukhova, Doctor of Medical Science, Laboratory of Immunology, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine; 2 Timakova St, Novosibirsk, Russia 630117.

Tel. +79139403293

Email trio188@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9834-1799>

How to cite this article

Obukhova O.O., Trunov A.N., Gorbenko O.M., Shvayuk A.P., Ryabichenko T.I., Skosyreva G.A., Obukhov A.V. Clinical and immunological comparisons of the results of testing for COVID-19 of employees of an outpatient medical organization of a large industrial centre during a pandemic. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 161-167. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-161-167

Received 14 October 2020

Revised 2 November 2020

Accepted 6 November 2020

Abstract

Aim. To determine the presence or absence of specific IgG antibodies against SARS-CoV-2 antigens in outpatient clinic staff and to compare clinical and immunological features from April to August 2020.

Materials and Methods. The control group comprised 386 employees of the Novosibirsk City Clinical Polyclinic №13. The determination of IgG antibodies against SARS-CoV-2 antigens in blood serum was performed by using the ELISA method. A real time method of reverse transcription and polymerase chain reaction was used to extract RNA SARS-CoV-2 from nasopharyngeal and oropharyngeal swabs.

Results. Specific IgG antibodies against SARS-CoV-2 antigens were detected in 32 (8.42%) employees of the polyclinic. Antibodies were not detected in 91.58% of employees. 9 members (28.12%) had clinical symptoms of varying degrees of disease severity in the group of employees with the presence of antibodies, 4 members of this group (12.51%) had bilateral community-acquired pneumonia with signs of COVID infection, another 5 members (15.61%) with antibodies had signs of ARVI of mild and moderate severity. RNA SARS-CoV-2 in the group of employees with the presence of antibodies and clinical implications was not detected in any case; 23 (71.88%) members with the presence of IgG-antibodies did not have clinical implications of the disease.

Conclusion. The presence of specific antibodies against SARS-CoV-2 in employees with clinical implications of COVID-19 without detection of the RNA virus in the biological material is a retrospective confirmation of the etiology of the transferred infection. The detection of specific antibodies in persons who did not have clinical implications can serve as confirmation of the asymptomatic course of the transferred coronavirus infection.

Key Words

Coronavirus, SARS-CoV-2, antibodies, people, immunity, medical staff, outpatient care.

ВВЕДЕНИЕ

Появление нового коронавируса SARS-CoV-2 поставило перед исследователями множество вопросов, связанных как со свойствами самого вируса, так и с развитием иммунологических реакций в ответ на антигенную стимуляцию. Безусловно, механизм заражения SARS-CoV-2 и дальнейшее развитие инфекционного процесса определяется эндогенными факторами организма человека. При этом существуют предположения, что в сложившейся ситуации возможно дальнейшее увеличение масштаба патологии и прогрессирования COVID-19 именно с позиций патофизиологии процесса инфицирования [1]. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что большая площадь поверхности и воздушно-капельный механизм распространения инфекции делает легкие уязвимыми для SARS-CoV-2. Это, однако, не объясняет тяжесть клинического течения при поражении легких [2]. На основании клинической картины развития COVID-19 у пациентов с тяжелой формой заболевания делается вывод, что наибольшую угрозу для жизни представляет не инфекция как таковая, а следующий за ней цитокиновый шторм с избыточной продукцией IL-1 β , IL-6, IFN- γ [3; 4]. В то же время, на настоящий момент отсутствует единая точка зрения, является ли ключевым индуктором цитокинового шторма IL-6, IL-1 β [5] или гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор (granulocyte-macrophage colony-stimulating factor, GM-CSF) [6]. Также было показано, что высокое отношение нейтрофилов к лимфоцитам (NLR) и концентрация специфических антител к SARS-CoV-2 коррелирует с повышенной концентрацией IL-2, IL-6, IL-10 и с тяжестью заболевания [7]. В ранее проведенных исследованиях отмечено, что у пациентов с тяжелой SARS-инфекцией не наблюдалось перехода от гиперактивного врожденного иммунного ответа к адаптивному иммунному ответу [8]. Вместе с тем, тяжесть течения заболевания может быть обусловлена не только наличием сопутствующей «фоновой» патологии, влияющей на эффективность развития иммунного ответа (сахарный диабет, гипертоническая болезнь и др.) [1]. Значимым фактором может быть исходное состояние цитокиновой сети и активности ее отдельных звеньев на момент внедрения вирусного агента, что обеспечивает эффективное или гиперактивное реагирование с развитием избыточных аутореактивных процессов. На текущий момент считается, что новая коронавирусная инфекция протекает бессимптомно у 40-50%. У 80% пациентов с наличием клинических проявлений отмечается легкое течение, у 15% – тяжелое, у 5% – критически тяжелое [9; 10].

В связи с большим количеством бессимптомных случаев, а также случаев, протекающих нетяжело и не требующих госпитализации, большая нагрузка ложится на врачей амбулаторной практики как в плане диагностики, так и лечения таких пациентов. В то же время в проведенном М. Ebrahimi и соавт. метаанализе 480 исследований на текущий момент подтверждено несоответствие клинической картины и результатов лабораторного тестирования, особенно на раннем этапе заболевания [11].

Согласно данным литературы, у большинства пациентов с COVID-19 иммуноглобулины класса G выявляются через 2-3 недели после первых признаков

заболевания и хорошо коррелируют с клинической симптоматикой [12]. В то же время, в ряде исследований было показано практически одновременное появление антител IgM и IgG [13-15]. Также было показано, что тест на суммарные антитела IgM/IgA/IgG имеет более высокую чувствительность по сравнению с дифференцированным определением иммуноглобулинов IgM и IgG [14], возможно, за счет выявления IgA [15]. Представленные данные демонстрируют, что для COVID-19 характерна атипичная картина сероконверсии с возможной длительной персистенцией антител класса IgM [13-15].

Целью проведенного исследования явилось определение наличия/отсутствия специфических антител класса IgG к антигенам SARS-CoV-2 у сотрудников амбулаторно-поликлинического звена и проведение клинико-иммунологических сопоставлений за период с апреля по август 2020 года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Клинико-лабораторное исследование проводилось в период с апреля по август 2020 года. Собирались данные по заболеваемости коронавирусной инфекцией у сотрудников поликлиники с учетом клинической картины и степени тяжести заболевания (в том числе при постановке диагноза только на основе характерных клинических проявлений без лабораторного подтверждения диагноза). В августе проведено обследование 386 медицинских работников ГБУЗ НСО «Городская клиническая поликлиника №13» г. Новосибирска на наличие/отсутствие специфических антител класса IgG к SARS-CoV-2. Все сотрудники дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании, которое соответствовало этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией. Сбор анамнеза проводился путем опроса и анкетирования. Определение антител к SARS-CoV-2 класса IgG в сыворотке крови осуществляли с помощью наборов реагентов «SARS-CoV-2-IgG-ИФА-БЕСТ» («АО Вектор-Бест», Россия) по инструкции производителя. Следует отметить, что исследование на наличие антител к антигенам SARS-CoV-2 класса IgG проводили не ранее, чем через месяц после перенесенной клинически выраженной формы инфекции.

В течение всего периода исследования у сотрудников поликлиники в случае наличия клинических симптомов, позволяющих заподозрить наличие COVID-19, проводилось тестирование на выделение РНК SARS-CoV-2 в соответствии с рекомендациями Министерства здравоохранения Российской Федерации. В качестве исследуемого материала использовались соскобы из носоглотки и ротоглотки. Вирус идентифицировали методом ПТ-ПЦР с помощью «Набора реагентов для выявления РНК коронавирусов SARS-CoV-2 и подобных SARS-CoV методом обратной транскрипции и полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (SARS-CoV-2/ SARS-CoV)» (ООО НПО «ДНК-Технология», Россия).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Всего обследовано 386 медицинских работников амбулаторно-поликлинического звена. Из них в сыворотке крови были обнаружены IgG-антитела у 32 человек, что

составило 8,42%. У остальных 354 (91,71%) IgG-антитела к SARS-CoV-2 не выявлены. Хотя в группе с отрицательным результатом на наличие антител, у 10 человек (2,59% от общего числа обследованных) имели место клинические признаки нетяжелого течения ОРВИ без

выявления РНК коронавируса SARS-CoV-2. Структура общей обследованной группы на наличие/отсутствие специфических антител представлена на рисунке 1.

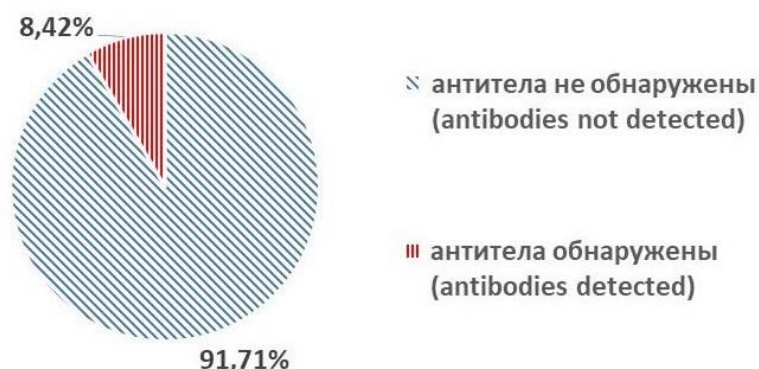


Рисунок 1. Структура обследованных сотрудников поликлиники на наличие IgG к SARS-CoV-2

Figure 1. Structure of polyclinic employees surveyed for the presence of IgG to SARS-CoV-2

Следует отметить, что в группе сотрудников, у которых были выявлены специфические антитела к SARS-CoV-2, имели место как клинически выраженные проявления заболевания разной степени тяжести, так и бессимптомное течение процесса (рис. 2).

Так, развернутая клиническая картина острого вирусного процесса наблюдалась у 9 человек, что составило 28,12%. Из них у 4 человек (12,51% от числа тех, у кого были выявлены антитела) было отмечено тяжелое течение заболевания с присоединением двусторонней внебольничной пневмонии с фебрильной температурой (39°C и выше), сатурацией SpO₂ < 93% и с наличием синдрома «матового стекла» по данным компью-

терной томографии. Еще у 5 сотрудников (15,61% от числа тех, у кого были выявлены антитела) коронавирусная инфекция протекала в виде острой респираторной инфекции легкой и средней степени тяжести без осложнений. Следует отметить, что РНК SARS-CoV-2 у всех пациентов с клиническими проявлениями заболевания в отделяемом носоглотки и ротоглотки обнаружена не была.

У 71,88% лиц с наличием IgG-антител имело место бессимптомное течение новой коронавирусной инфекции.

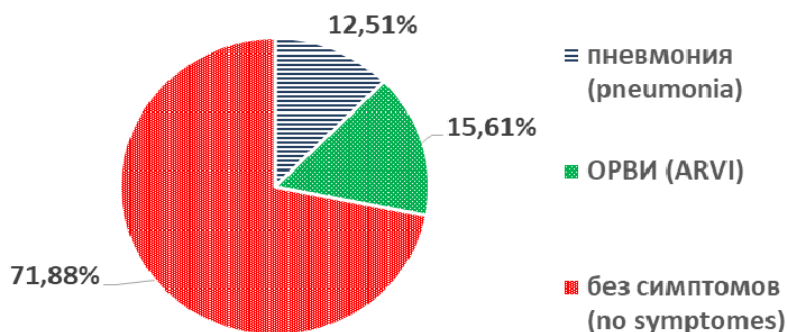


Рисунок 2. Структура клинических проявлений COVID-19 у лиц с наличием специфических IgG-антител

Figure 2. Structure of clinical manifestations of COVID-19 in individuals with specific IgG antibodies

Безусловно, остается неясным имеются ли различия в эффективности синтезирующихся антител при клинически значимом и бессимптомном течении процесса, а также в динамике их продукции у разных групп лиц с различными клиническими проявлениями перенесенной инфекции.

Следует отметить, что у всех сотрудников, у которых коронавирусная инфекция протекала с клиническими проявлениями, в отделяемом носо- и ротоглотки РНК вируса методом ПЦР не обнаружено. Исходя из имеющихся литературных данных, причины отрицательных результатов ПЦР могут быть различными. В том

числе, они могут быть связаны с особенностями лабораторной диагностики, начиная от проблем на преаналитическом этапе, до чувствительности и специфичности используемых тест-систем. Обращает на себя внимание, что в некоторых исследованиях отмечается, что частота выделения РНК коронавируса составляет не более 70-80%, а в некоторых случаях тестирование дает ложноотрицательные результаты и доля таких результатов значительна [16; 17].

Кроме того, как показывает опыт китайского регистра по COVID-19, около 1/3 пациентов с характерной клинической и рентгенологической картиной могут

иметь отрицательный результат тестирования на наличие SARS-CoV-2 при заборе материала из верхних дыхательных путей [18]. Отмечается также, что причины ложноотрицательных и ложноположительных результатов молекулярных тестов – это проблема, которая требует отдельного изучения [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При клиническом подозрении на COVID-19 отрицательных ПЦР-тестах положительный иммуноферментный анализ на наличие специфических антител класса IgG к антигенам SARS-CoV-2 позволяет ретроспективно подтвердить диагноз. Учитывая результаты уже имеющихся исследований, возможно, клиническую эффективность иммунологических исследований можно повысить при сокращении серонегативного периода используемых тестов, например, при внедрении тест-систем на суммарные антитела (IgM+IgG) [14; 17].

При бессимптомном течении коронавирусной инфекции наличие IgG-антител может служить подтверждением имевшегося контакта с вирусными антигенами и обеспечение определенных защитных реакций на момент обнаружения антител.

Подтвержденный диагноз COVID-19 дает возможность провести необходимые мероприятия реабилитационного характера для эффективного восстановления функциональных и структурных повреждений, которые могут иметь место даже при перенесенной бессимптомной форме коронавирусной инфекции. Кроме того, проведение реабилитации при установлении SARS-CoV-2 как этиологического фактора перенесенного инфекционного процесса, необходимо для предотвращения возможного ухудшения состояния по имеющимся фоновым заболеваниям. В дальнейшем планируется определение уровня антител в динамике, а также исследование некоторых иммунологических показателей, оказывающих значимое влияние на развитие эффективного противоинфекционного иммунного ответа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинов А.С., Савин А.В., Кухтина А.А. Долгосрочные перспективы внегочного персистирования коронавируса SARS-CoV-2 // Медицина. 2020. Т. 8. N 1. С. 51-73. DOI: 10.29234/2308-9113-2020-8-1-51-73
2. Hofmann H., Pyrc K., van der Hoek L., Geier M., Berkhout B., Pöhlmann S. Human coronavirus NL63 employs the severe acute respiratory syndrome coronavirus receptor for cellular entry // Proc. Natl Acad. Sci. USA. 2005. V. 102. Iss. 22. P. 7988-7993. DOI: 10.1073/pnas.0409465102
3. Tisoncik J.R., Korth M., Simmons C.P., Farrar J., Martin T.R., Katze M.G. Into the eye of the cytokine storm // Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2012. V. 76. N 1. P. 16-32. DOI: 10.1128/MMBR.05015-11
4. Zhang C., Wu Z., Li J.-W., Zhao H., Wang G.-Q. The cytokine release syndrome (CRS) of severe COVID-19 and Interleukin-6 receptor (IL-6R) antagonist Tocilizumab may be the key to reduce the mortality // International Journal of Antimicrobial Agents. 2020. V. 55. Iss. 5. 105954. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105954
5. Giavridis T., van der Stegen S.J., Eyquem J., Hamieh M., Piersigilli A., Sadelain M. CAR T cell-induced cytokine re-

lease syndrome is mediated by macrophages and abated by IL-1 blockade // Nat Med. 2018. V. 24. N 6. P. 731-738. DOI: 10.1038/s41591-018-0041-7

6. Sterner R.M., Sakemura R., Cox M.J., Yang N., Khadka R.H., Forsman C.L., Hansen M.J., Jin F., Ayasoufi K., Hefazi M., Schick K.J., Walters D.K., Ahmed O., Chappell D., Sahmoud T., Durrant C., Nevala W.K., Patnaik M.M., Pease L.R., Hedin K.E., Kay N.E., Johnson A.J., Kenderian S.S. GM-CSF inhibition reduces cytokine release syndrome and neuroinflammation but enhances CAR-T cell function in xenografts // Blood. 2019. V. 133. N 7. P. 697-709. DOI: 10.1182/blood-2018-10-881722
7. Zhang B., Zhou X., Zhu C., Song Y., Feng F., Qiu Y., Feng J., Jia Q., Song Q., Zhu B., Wang J. Immune phenotyping based on neutrophil-to-lymphocyte ratio and IgG predicts disease severity and outcome for patients with COVID-19 // Front. Mol. Biosci. 2020. V. 7. Article: 157. DOI: 10.3389/fmolb.2020.00157
8. Cameron M.J., Bermejo-Martin J.F., Danesh A., Muller M.P., Kelvin D.J. Human immunopathogenesis of severe acute respiratory syndrome (SARS) // Virus Res. 2008. V. 133. N 1. P. 13-19. DOI: 10.1016/j.virusres.2007.02.014
9. Методические рекомендации Минздрава России «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции COVID-19» (версия 7 от 3.06.2020)
10. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). 16-24 February 2020. URL: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf> (дата обращения: 06.10.2020)
11. Ebrahimi M., Malehi A.S., Rahim F. Laboratory findings, signs and symptoms, clinical outcomes of Patients with COVID-19 Infection: an updated systematic review and meta-analysis. BMJ. 2020 // MedRxiv. 2020. URL: <https://doi.org/10.1101/2020.03.25.20043703> (дата обращения: 06.10.2020)
12. Liu R., Liu X., Han H., Shereen M.A., Niu Z., Li D., Liu F., Wu K., Luo Z., Zhu C. The comparative superiority of IgM-IgG antibody test to real-time reverse transcriptase PCR detection for SARS-CoV-2 infection diagnosis // MedRxiv. 2020. URL: <https://doi.org/10.1101/2020.03.28.20045765> (дата обращения: 06.10.2020)
13. Adams E.R., Ainsworth M., Anand R. et al. Antibody testing for COVID-19: A report from the National COVID Scientific Advisory Panel [version 1; peer review: 1 approved] // Wellcome Open Res. 2020. Iss. 5. P. 139. DOI: 10.12688/wellcomeopenres.15927.1
14. Zhao J., Yuan Q., Wang H., Liu W., Liao X., Su Y., Wang X., Yuan J., Li T., Li J., Qian S., Hong C., Wang F., Liu Y., Wang Z., He Q., Li Z., He B., Zhang T., Fu Y., Ge S., Liu L., Zhang J., Xia N., Zhang Z. Antibody Responses to SARS-CoV-2 in Patients With Novel Coronavirus Disease 2019 // Clinical Infectious Diseases. 2020. V. 71. Iss. 16. P. 2027-2034. DOI: 10.1093/cid/ciaa344
15. Tan W., Lu Y., Zhang J., et al. Viral Kinetics and Antibody Responses in Patients with COVID-19 // MedRxiv. URL: <https://doi.org/10.1101/2020.03.24.20042382> (дата обращения: 06.10.2020)
16. Баклаушев В.П., Кулемзин С.В., Горчаков А.А., Лесняк В.Н., Юсубалиева Г.М., Сотникова А.Г. COVID-19. Этиология, патогенез, диагностика и лечение // Клиническая практика. 2020. Т. 11. N 1. С. 7-20. DOI: 10.17816/clinpract26339

17. Ferran M. Coronavirus tests are pretty accurate, but far from perfect. May 6, 2020. URL: <https://theconversation.com/coronavirus-tests-are-pretty-accurate-but-far-from-perfect-136671> (дата обращения: 06.10.2020)

18. Yang Y., Yang M.H., Shen C.G., Wang F., Yuan J., Li J., Zhang M., Wang Z., Xing L., Wei J., Peng L., Wong G., Zheng H., Wu W., Liao M., Feng K., Li J., Yang Q., Zhao J., Zhang Z., Liu L., Liu Y. Laboratory Diagnosis and Monitoring the Viral Shedding of SARS-CoV-2 Infection // *The Innovation*. 2020. V. 1. Iss. 3. 100061. DOI: 10.1016/J.XINN.2020.100061

19. Patel R., Babady E., Theel E.S., Storch G.A., Pinsky B.A., George K.St., Smith T.C., Bertuzzi S. Report from the American Society for Microbiology COVID-19 International Summit, 23 March 2020: Value of Diagnostic Testing for SARS-CoV-2/COVID-19 // *mBio*. 2020. V. 11. Iss. 2. e00722-20. DOI: 10.1128/mBio.00722-20

REFERENCES

1. Litvinov A.S., Savin A.V., Kuhtina A.A. Long-term prospects for extrapulmonary persistence of SARS-CoV-2 coronavirus. *Medicine*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 51-73. (In Russian) DOI: 10.29234/2308-9113-2020-8-1-51-73

2. Hofmann H., Pyrc K., van der Hoek L., Geier M., Berkhout B., Pöhlmann S. Human coronavirus NL63 employs the severe acute respiratory syndrome coronavirus receptor for cellular entry. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 2005, vol. 102, iss. 22, pp. 7988-7993. DOI: 10.1073/pnas.0409465102

3. Tisoncik J.R., Korth M., Simmons C.P., Farrar J., Martin T.R., Katze M.G. Into the eye of the cytokine storm. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2012, vol. 76, no. 1, pp. 16-32. DOI: 10.1128/MMBR.05015-11

4. Zhang C., Wu Z., Li J.-W., Zhao H., Wang G.-Q. The cytokine release syndrome (CRS) of severe COVID-19 and Interleukin-6 receptor (IL-6R) antagonist Tocilizumab may be the key to reduce the mortality. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2020, vol. 55, iss. 5, 105954. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105954

5. Giavridis T., van der Stegen S.J., Eyquem J., Hamieh M., Piersigilli A., Sadelain M. CAR T cell-induced cytokine release syndrome is mediated by macrophages and abated by IL-1 blockade. *Nat Med.*, 2018, vol. 24, no. 6, pp. 731-738. DOI: 10.1038/s41591-018-0041-7

6. Sterner R.M., Sakemura R., Cox M.J., Yang N., Khadka R.H., Forsman C.L., Hansen M.J., Jin F., Ayasoufi K., Hefazi M., Schick K.J., Walters D.K., Ahmed O., Chappell D., Sahnoud T., Durrant C., Nevala W.K., Patnaik M.M., Pease L.R., Hedin K.E., Kay N.E., Johnson A.J., Kenderian S.S. GM-CSF inhibition reduces cytokine release syndrome and neuroinflammation but enhances CAR-T cell function in xenografts. *Blood*, 2019, vol. 133, no. 7, pp. 697-709. DOI: 10.1182/blood-2018-10-881722

7. Zhang B., Zhou X., Zhu C., Song Y., Feng F., Qiu Y., Feng J., Jia Q., Song Q., Zhu B., Wang J. Immune phenotyping based on neutrophil-to-lymphocyte ratio and IgG predicts disease severity and outcome for patients with COVID-19. *Front. Mol. Biosci.*, 2020, vol. 7, article: 157. DOI: 10.3389/fmolb.2020.00157

8. Cameron M.J., Bermejo-Martin J.F., Danesh A., Muller M.P., Kelvin D.J. Human immunopathogenesis of severe acute respiratory syndrome (SARS). *Virus Res.*, 2008, vol. 133, no. 1, pp. 13-19. DOI: 10.1016/j.virusres.2007.02.014

9. *Metodicheskie rekomendatsii Minzdrava Rossii*

«Profilaktika, diagnostika i lechenie novoi koronavirusnoi infektsii COVID-19» [Methodical recommendations of the Ministry of Health of Russia "Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection COVID-19"]. Version 7 from 03.06.2020. (In Russian)

10. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). 16-24 February 2020. Available at: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf> (accessed 06.10.2020)

11. Ebrahimi M., Malehi A.S., Rahim F. Laboratory findings, signs and symptoms, clinical outcomes of Patients with COVID-19 Infection: an updated systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2020. *MedRxiv*, 2020. URL: <https://doi.org/10.1101/2020.03.25.20043703> (accessed 06.10.2020)

12. Liu R., Liu X., Han H., Shereen M.A., Niu Z., Li D., Liu F., Wu K., Luo Z., Zhu C. The comparative superiority of IgM-IgG antibody test to real-time reverse transcriptase PCR detection for SARS-CoV-2 infection diagnosis. *MedRxiv*, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.03.28.20045765> (accessed 06.10.2020)

13. Adams E.R., Ainsworth M., Anand R. et al. Antibody testing for COVID-19: A report from the National COVID Scientific Advisory Panel [version 1; peer review: 1 approved]. *Wellcome Open Res.*, 2020, iss. 5, 139 p. DOI: 10.12688/wellcomeopenres.15927.1

14. Zhao J., Yuan Q., Wang H., Liu W., Liao X., Su Y., Wang X., Yuan J., Li T., Li J., Qian S., Hong C., Wang F., Liu Y., Wang Z., He Q., Li Z., He B., Zhang T., Fu Y., Ge S., Liu L., Zhang J., Xia N., Zhang Z. Antibody Responses to SARS-CoV-2 in Patients With Novel Coronavirus Disease 2019. *Clinical Infectious Diseases*, 2020, vol. 71, iss. 16, pp. 2027-2034. DOI: 10.1093/cid/ciaa344

15. Tan W., Lu Y., Zhang J., et al. Viral Kinetics and Antibody Responses in Patients with COVID-19. *MedRxiv*. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.03.24.20042382> (accessed 06.10.2020)

16. Baklaushev V.P., Kulemzin S.V., Gorchakov A.A., Le-snyak V.N., Yusubalieva G.M., Sotnikova A.G. COVID-19. Aetiology, pathogenesis, diagnosis and treatment. *Journal of Clinical Practice*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 7-20. DOI: 10.17816/clinpract26339

17. Ferran M. (2020, May 6) Coronavirus tests are pretty accurate, but far from perfect. The Conversation. Available at: <https://theconversation.com/coronavirus-tests-are-pretty-accurate-but-far-from-perfect-136671> (accessed 06.10.2020)

18. Yang Y., Yang M.H., Shen C.G., Wang F., Yuan J., Li J., Zhang M., Wang Z., Xing L., Wei J., Peng L., Wong G., Zheng H., Wu W., Liao M., Feng K., Li J., Yang Q., Zhao J., Zhang Z., Liu L., Liu Y. Laboratory Diagnosis and Monitoring the Viral Shedding of SARS-CoV-2 Infection // *The Innovation*. 2020. V. 1. Iss. 3. 100061. DOI: 10.1016/J.XINN.2020.100061

19. Patel R., Babady E., Theel E.S., Storch G.A., Pinsky B.A., George K.St., Smith T.C., Bertuzzi S. Report from the American Society for Microbiology COVID-19 International Summit, 23 March 2020: Value of Diagnostic Testing for SARS-CoV-2/COVID-19. *mBio*, 2020, vol. 11, iss. 2, e00722-20. DOI: 10.1128/mBio.00722-20

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга О. Обухова и Александр Н. Трунов сформулировали концепцию исследования, написали рукопись. Ольга М. Горбенко и Аля П. Шваюк проводили лабораторное определение антител. Татьяна И. Рябиченко и Галина А. Скосырева проводили анкетирование лиц, принимавших участие в исследовании. Александр В. Обухов обеспечил организацию проведения исследования, принимал участие в написании рукописи. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga O. Obukhova and Alexander N. Trunov formulated the research concept and wrote the manuscript. Olga M. Gorbenko and Alya P. Shvayuk carried out laboratory determination of antibodies. Tatyana I. Ryabichenko and Galina A. Skosyreva conducted a survey questionnaire of people who took part in the study. Alexander V. Obukhov ensured the organization of the research and took part in writing the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга О. Обухова / Olga O. Obukhova <https://orcid.org/0000-0002-9834-1799>

Александр Н. Трунов / Alexander N. Trunov <https://orcid.org/0000-0002-7592-8984>

Ольга М. Горбенко / Olga M. Gorbenko <https://orcid.org/0000-0002-5672-9234>

Аля П. Шваюк / Alya P. Shvayuk <https://orcid.org/0000-0002-8247-7085>

Татьяна И. Рябиченко / Tatyana I. Ryabichenko <https://orcid.org/0000-002-0990-0078>

Галина А. Скосырева / Galina A. Skosyreva <https://orcid.org/0000-0001-5477-3445>

Александр В. Обухов / Alexander V. Obukhov <https://orcid.org/0000-0002-1948-9745>

Оригинальная статья / Original article
УДК: 57.048
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-168-176

Влияние качества источников питьевого водоснабжения на формирование эколого-зависимой патологии населения Республики Дагестан

Мадина Г. Даудова¹, Разият Б. Багомедова¹, Казбек К. Бекшоков³, Марьям М. Меджидова², Симурдэн М. Нахшибашев^{1,2}, Патимат А. Бекшокова¹, Азиза Г. Гасангаджиева¹

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, Россия

³Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

Контактное лицо

Мадина Г. Даудова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и биоразнообразия, Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79288095666
Email mia0603@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0456-3698>

Формат цитирования

Даудова М.Г., Багомедова Р.Б., Бекшоков К.К., Меджидова М.М., Нахшибашев С.М., Бекшокова П.А., Гасангаджиева А.Г. Влияние качества источников питьевого водоснабжения на формирование эколого-зависимой патологии населения Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 168-176. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-168-176

Получена 12 августа 2020 г.

Прошла рецензирование 30 сентября 2020 г.

Принята 5 ноября 2020 г.

Резюме

Цель. Изучение влияния качества питьевой воды на эколого-зависимую заболеваемость населения Республики Дагестан.

Материал и методы. Использованы методы текущего и ретроспективного анализа показателей регионального здоровья, методы математико-статистического и медико-географического анализа. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета прикладных программ STATISTICA и Excel. При проведении лабораторных исследований по качеству питьевой воды пользовались прибором фирмы «Люмекс» – атомно-абсорбционный спектрометр «МГА-915МД».

Результаты. Многочисленные гигиенические исследования свидетельствуют о непосредственном влиянии неудовлетворительного качества питьевой воды на состояние здоровья населения. Доказана связь между санитарно-химическими показателями и уровнем заболеваемости по ряду нозологических форм. Общеизвестно, что на здоровье человека влияют факторы образа жизни (условия труда, быта и отдыха), наследственность, экологическое состояние территории проживания, в том числе и качество питьевой воды. Не представляется возможным дифференцировать долю отрицательного эффекта от потребления некачественной питьевой воды, но заболеваемость отдельными нозологическими формами (онкозаболеваемость пищевода, желудочно-кишечного тракта и почек) в рассматриваемых районах Республики Дагестан коррелирует с характеристиками питьевой воды.

Заключение. Проблема загрязнения источников водоснабжения населения в многолетней динамике остается одной из приоритетных. Качество и безопасность питьевой воды снижается, что не может не оказать негативного воздействия на здоровье населения. Корреляционные связи между показателями качества питьевой воды и онкозаболеваемостью населения установлены и при показателях ниже предельно допустимых концентраций, что соответствует типичной логистической модели причинно-следственных связей, и служит доказательством высокой зависимости нарушений здоровья от химических загрязнений источников водоснабжения.

Ключевые слова

Качество питьевой воды, тяжелые металлы, эколого-зависимые заболевания, корреляционные связи, онкозаболеваемость.

Influence of the quality of drinking water supply sources on the formation of the ecologically-dependent pathology of the population of the Republic of Dagestan

Madina G. Daudova¹, Raziya B. Bagomedova¹, Kazbek K. Bekshokov³, Maryam M. Medzhidova², Simurden M. Nakhbashev^{1,2}, Patimat A. Bekshokova¹ and Aziza G. Gasangadzhieva¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Russian Ministry of Health, Moscow, Russia

Principal contact

Madina G. Daudova, PhD (Biology), Associate Professor, Department of Biology and Biodiversity, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University, 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, 367001 Russia

Tel. +79288095666

Email mia0603@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0456-3698>

How to cite this article

Daudova M.G., Bagomedova R.B., Bekshokov K.K., Medzhidova M.M., Nakhbashev S.M., Bekshokova P.A., Gasangadzhieva A.G. Influence of the quality of drinking water supply sources on the formation of the ecologically-dependent pathology of the population of the Republic of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 168-176. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-168-176

Received 12 August 2020

Revised 30 September 2020

Accepted 5 November 2020

Abstract

Aim. Study of the influence of drinking water quality on the ecologically-dependent morbidity of the population of the Republic of Dagestan.

Material and Methods. Methods of current and retrospective analysis of regional health indicators and methods of mathematical-statistical and medical-geographical analysis were used. Statistical processing of the results was carried out using the STATISTICA and Excel software packages. When carrying out laboratory studies on the quality of drinking water, we used a Lumex atomic absorption spectrometer "MGA-915MD".

Results. Numerous hygiene studies indicate the direct impact of unsatisfactory drinking water quality on the health of a population. The relationship between sanitary and chemical indicators and the incidence rate for a number of nosological forms has been proven. It is generally accepted that human health is influenced by lifestyle factors (working, living and relaxation conditions), heredity and the ecological condition of the area of residence, including the quality of drinking water. Although it is not possible to differentiate the share of the negative effect caused by the consumption of poor quality drinking water but the incidence of certain nosological forms (cancer of the esophagus, gastrointestinal tract and kidney diseases) in the those regions of the Republic of Dagestan under consideration correlates with the characteristics of drinking water.

Conclusion. The problem of pollution of water supply sources for the population in the dynamics of the long-term remains a priority concern. The quality and safety of drinking water are decreasing, which cannot but have a negative impact on public health. Correlation linkages between indicators of drinking water quality and oncological morbidity of the population were also established in indicators below the maximum permissible concentrations, which corresponds to a typical logistic model of causal relationships and serves as evidence of the high dependence of health disorders on chemical contamination of water supply sources.

Key Words

Drinking water quality, heavy metals, environmental-related diseases, correlations, cancer incidence.

ВВЕДЕНИЕ

Качество природных вод является одним из основных факторов, влияющих на здоровье человека. Оно выступает интегральным показателем благополучия общества, гармоничности его развития, отражением сложного процесса взаимодействия индивида с окружающей средой [1; 2]. При этом из всех компонентов общественного здоровья (рождаемость, физическое развитие, заболеваемость, инвалидность, смертность) именно показатели заболеваемости, особенно экологически обусловленной, являются ранними индикаторами санитарно-эпидемиологического благополучия территории. Среди многочисленных предикторов нездоровья населения: природно-климатических, биологических, антропогенных, социально-экономических, образа жизни – потребление недоброкачественной питьевой воды занимает далеко не последнее место. Исследование экологического состояния поверхностных водотоков и подземных вод в зависимости от природных и антропогенных условий формирования качества водных ресурсов необходимо для оценки качества воды, используемой во всех сферах человеческой деятельности: от производства сельскохозяйственной, промышленной продукции до хозяйственно-питьевого водоснабжения, для разработки оздоровительных мероприятий. Снабжение населения питьевой водой надлежащего качества является важным элементом обеспечения социально-экономического развития территории и санитарно-эпидемиологического благополучия населения [3].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основных опубликованных источников информации использованы статистические сборники Министерства здравоохранения Республики Дагестан за 2009-2018 гг.: «Показатели состояния здоровья населения Республики Дагестан». Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием пакета прикладных программ STATISTICA и Excel [4].

Отбор проб источников питьевого водоснабжения проводился в период с 2009 по 2018 гг. с использованием передвижной лаборатории экологического мониторинга Дагестанского государственного университета в ходе комплексного исследования качества жизни и состояния окружающей среды в районах низменного (Тарумовский, Кизлярский районы), горного (Ахвахский район) Дагестана и в г. Кизилюрт, расположенного на границе низменного и предгорного Дагестана. Во всех отобранных образцах питьевой воды проведены анализы на содержание опасных для здоровья человека тяжелых металлов, таких как медь, свинец, кадмий, мышьяк, цинк, марганец, железо. При проведении лабораторных исследований по качеству питьевой воды пользовались прибором фирмы «Люмекс» – атомно-абсорбционный спектрометр «МГА-95».

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обнаружение и предотвращение вероятного негативного воздействия качества питьевой воды на организм человека являются важными звеньями профилактических мероприятий по сохранению и поддержанию здо-

ровья населения региона. Ряд микроэлементов в концентрациях, встречающихся в природной воде, может оказывать неблагоприятное влияние на здоровье или изменять органолептические свойства воды.

Сравнение содержания тяжелых металлов в источниках питьевого водоснабжения различных регионов республики свидетельствует о том, что наиболее высокие их концентрации наблюдаются в пробах питьевой воды Кизлярского района, которые значительно выше, чем в пробах воды г. Кизилюрт.

Данные химического анализа проб питьевой воды в исследованных районах Дагестана свидетельствуют о значительной вариабельности концентраций тяжелых металлов (табл. 1-4).

Результаты наших исследований выявили характерную особенность питьевых вод Кизлярского и Тарумовского районов низменного Дагестана – это сверхнормативное содержание мышьяка. Согласно общемировым нормативам содержания мышьяка в питьевой воде 0,01 мг/л (гигиенически безопасный уровень). Однако из 16 проанализированных нами источников питьевой воды населенных пунктах Кизлярского района, в 7 источниках отмечено превышение допустимого значения мышьяка от 5 до 50 ПДК. Из 14 обследованных источников воды Тарумовского района, 13 не отвечали установленным санитарно-гигиеническим нормативам. Содержание в них мышьяка варьировало от 1,9 до 19 ПДК (табл. 1, 2). Основными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения в Тарумовском и Кизлярском районах являются подземные источники артезианского бассейна, поэтому столь значительное превышение допустимого уровня мышьяка является существенным фактором риска для здоровья населения. Так, в работе Т.О. Абдулмуталимовой и Г.В. Мамашевой отмечается, что более 40% экспонированного населения района исследования используют для питья воду с содержанием мышьяка в 20-50 раз выше гигиенически допустимого уровня [5].

В Кизлярском районе наиболее значительные концентрации мышьяка обнаружены в пробах питьевой воды, отобранных в источниках сел. Малое Козыревское, где отмечено превышение допустимого уровня в 50 раз, в сел. Кардоновка, сел. Суюткино – превышение нормы в 7 раз, в сел. Крайновка (источники 3 и 4) – превышение нормы в 5 раз (табл. 1; рис. 1).

Анализ данных таблицы 1 демонстрирует наличие в исследованных нами питьевых источниках Кизлярского района высокие концентрации ионов тяжелых металлов. Так, концентрация меди превышала допустимый уровень в 1,2-2,2 раз в 13% отобранных проб; свинца – в 1,8-5,4 раз в 50% проб; железа – в 1,1-6,4 раз в 44% проб; марганца – в 6-14 раз в 88% проб; цинка – в 5,5-11,2 раз в 44% проб.

Рассматривая загрязнение мышьяком питьевых вод населенных пунктов Тарумовского района, следует отметить значительное превышение допустимого гигиенического норматива в пос. Кочубей (в 19 раз), в источниках №4 и №1 колхоза Коминтерна (в 14 и 8 раз соответственно), в остальных населенных пунктах превышение нормы фиксировалось от 2 до 6 раз (табл. 2; рис. 2).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в источниках питьевого водоснабжения Кизлярского района РД
Table 1. Content of heavy metals in sources of drinking water supply of Kizlyar district, RD

Населенный пункт Settlement ПДК / MPC	Источники питьевой воды Drinking water sources	Загрязняющее вещество, мг/л Pollutant, mg/l						
		Cu	Pb	Cd	Fe	Mn	Zn	As
		1,0	30	1,0	0,3	0,1	1,0	0,01
Суюткино Suyatkinovo	Ист. №1 / Source №1	0,08	75,0*	0,28	0,58*	0,8*	0,09	0,01
	Ист. №2 / Source №2	0,03	3,0	0	0,18	0,7*	0,10	0,07*
	Ист. №3 / Source №3	0,20	31,0*	0,10	1,92*	1,0*	0,15	0,01
Крайновка Krainovka	Ист. №1 / Source №1	2,17*	65,0*	0,03	0,33*	1,1*	0,08	0,01
	Ист. №2 / Source №2	0,11	12,0	0,17	0,29	0,6*	0,14	0
	Ист. №3 / Source №3	0,04	21,0	0,01	0,17	1,2*	0,11	0,05*
	Ист. №4 / Source №4	0,03	71,0*	0,10	0,14	0,6*	0,12	0,05*
Новотеречное Novoterechnoe	Ист. №1 / Source №1	1,23*	11,0	0,12	0,14	0,9*	0,05	0
	Ист. №2 / Source №2	0,13	18,0	0,13	3,24*	1,4*	0,26	0
	Ист. №3 / Source №3	0	8,0	0,12	0,35*	0	11,20*	0
Брянск Bryansk	Ист. №1 / Source №1	0,13	91,0*	0,03	0,27	0,9*	5,48*	0,05*
	Ист. №2 / Source №2	0,08	7,0	0	0,32*	1,0*	7,68*	0,01
	Ист. №3 / Source №3	0,13	55,0*	0	0,24	1,3*	6,8*	0,05*
Кардоновка Kardonovka	Ист. №1 / Source №1	0,04	10,0	0,35	0,10	0,9*	7,84*	0,07*
Новый Кохан Novi Kokhan	Ист. №1 / Source №1	0,09	163,0*	0,32	0,07	0,6*	7,02*	0
Малое Козыревское Maloe Kozyrevskoe	Ист. №1 / Source №1	0,03	34,0*	0,37	0,31*	0,3*	6,08*	0,5*

Примечание: * – превышение ПДК
 Note: * – in excess of MPC

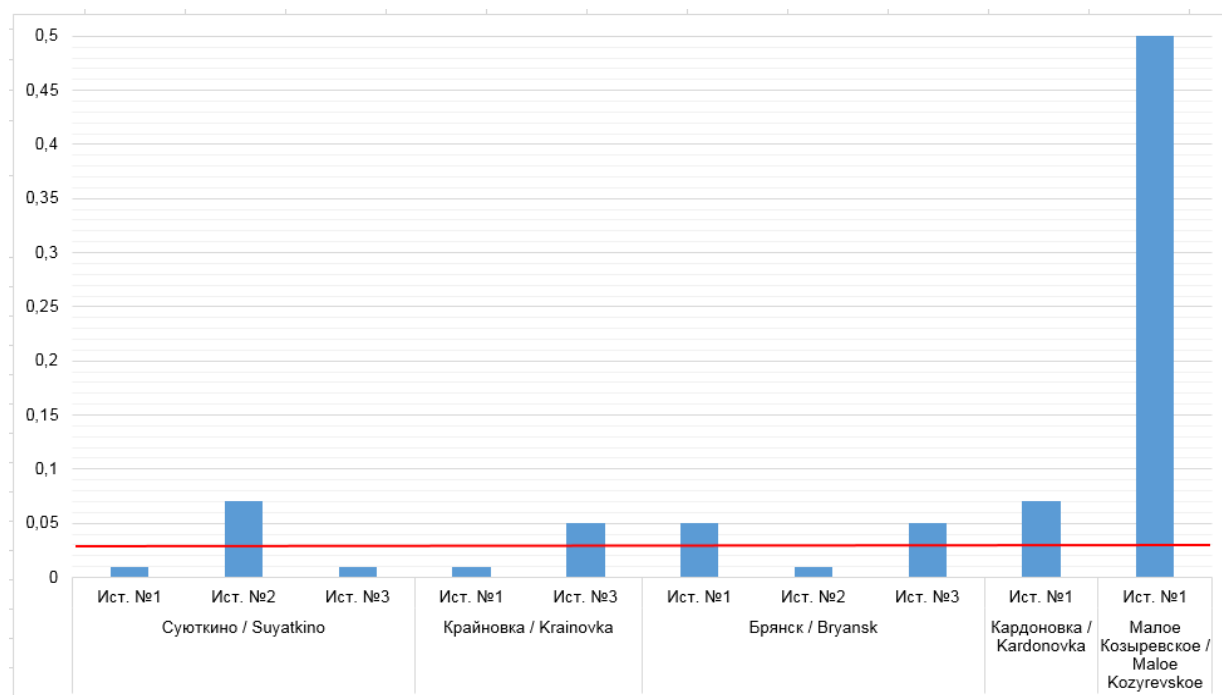


Рисунок 1. Содержание мышьяка в источниках питьевого водоснабжения Кизлярского района
Figure 1. Arsenic content in sources of drinking water supply of Kizlyar district, RD

Как следует из таблицы 2, сверхнормативное содержание марганца установлено в источниках воды, используемых для хозяйственно-питьевых нужд в Тарумовском

районе. В 29% отобранных проб превышение его содержания варьировало от 39 до 66 ПДК.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в источниках питьевого водоснабжения Тарумовского района РД
Table 2. Content of heavy metals in the sources of drinking water supply in Tarumovsky district, RD

Населенный пункт Settlement	Источники питьевой воды Drinking water sources	Загрязняющее вещество, мг/л Pollutant, mg/l					
		Cu	Pb	Cd	Mn	Zn	As
ПДК / MPC		1,0	30	1,0	0,1	1,0	0,01
Кочубей Kochubei	Ист. № 1 / Source №1	0,0019	0	0,002	0,0058	0	0,19*
	Ист. № 2 / Source №2	0,0008	0,07	0	0,0049	0	0,05*
	Ист. № 3 / Source №3	0,0008	0	0	0,0072	0	0,05*
Клх. Коминтерна Klkh. Kominterna	Ист. № 1 / Source №1	0,0013	0,51	0,003	0,0020	0	0,08*
	Ист. № 2 / Source №2	0,0001	3,42	0	0,0022	0	0,05*
	Ист. № 3 / Source №3	0,0025	5,14	0,034	0,0130	0	0,05*
	Ист. № 4 / Source №4	0,0004	0,18	0,009	0,0110	0	0,14*
	Ист. № 5 / Source №5	0,0001	0,94	0,029	0,0067	0	0,06*
	Ист. № 6 / Source №6	0,0006	0,61	0,052	0,0036	0	0,06*
	Ист. № 7 / Source №7	0	0,16	0	0,0025	0	0,01
Клх. Димитрова Klkh. Dimitrova	Ист. № 1 / Source №1	0,0001	0,073	0	3,96*	0,0017	0,05*
	Ист. № 2 / Source №2	0,0007	0,030	0,003	3,88*	0	0,02*
	Ист. № 3 / Source №3	0,0001	0	0,086	6,64*	0,0013	0,03*
	Ист. № 4 / Source №4	0,0003	0	0,007	6,41*	0	0,05*

Примечание: * – превышение ПДК

Note: * – in excess of MPC

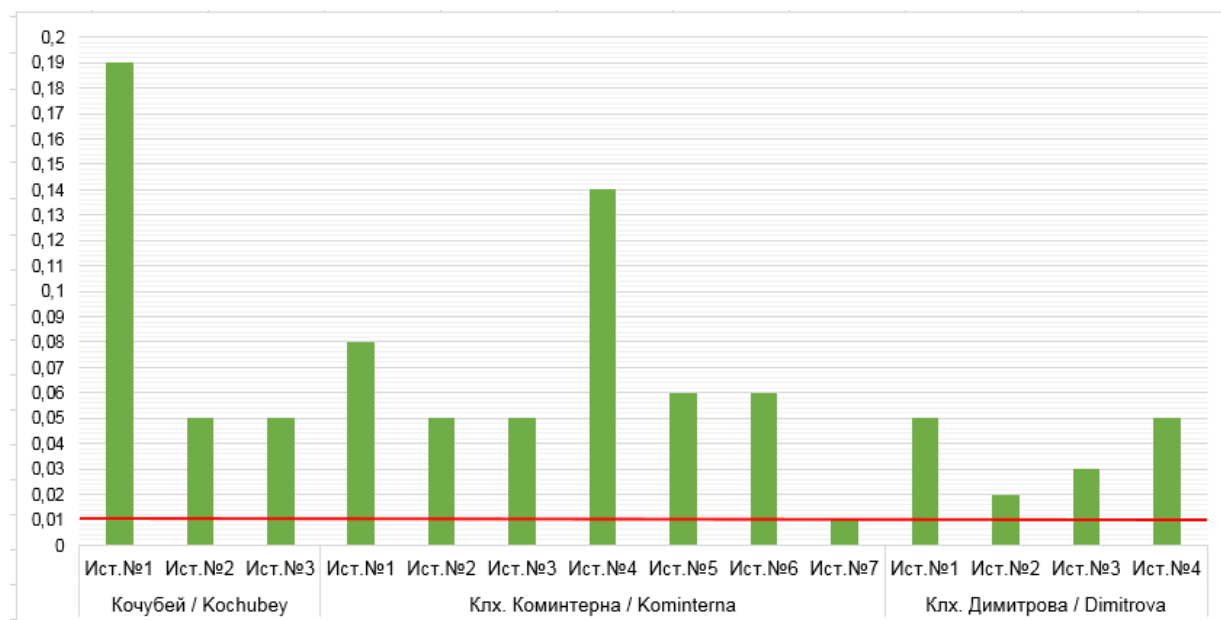


Рисунок 2. Содержание мышьяка в источниках питьевого водоснабжения Тарумовского района

Figure 2. Arsenic content in sources of drinking water supply in Tarumovsky district, RD

Ахвахский район, расположенный в горной части Дагестана, относится к экологически благополучным геохимическим территориям. Однако в пробах питьевой воды населенных пунктов указанного района выявлено превышение допустимого уровня концентраций меди и марганца. Концентрация меди в 1,7-3,3 раза превышает норму в 15% отобранных проб питьевой воды, а концентрация марганца – в 2-6 раз в 40% проб (табл. 3).

Исследования качества питьевой воды в г. Кизил-юрт на содержание ионов тяжелых металлов не выявили превышения установленных предельно допустимых значений. Концентрации ионов меди, свинца, кадмия, железа, цинка и мышьяка находились в пределах нормы. Следует, однако, обратить внимание на концен-

трацию ионов железа, которая в двух источниках г. Кизил-юрт (№4 и №7) находилась на уровне предельно допустимых значений (табл. 4).

Тяжелые металлы являются токсичными элементами, обладающими способностью к кумуляции в тканях и органах человека [6]. Многочисленные литературные данные свидетельствуют о наличии корреляции между избыточным поступлением тяжелых металлов и развитием предпатологических и патологических состояний, в том числе злокачественных новообразований [7-9]. В частности, доказан канцерогенный эффект для мышьяка и его соединений, которые Международным агентством изучения рака отнесены к первому классу опасности [10].

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в источниках питьевого водоснабжения Ахвахского района РД
Table 3. Content of heavy metals in sources of drinking water supply in Akhvakhsky district, RD

Населенный пункт Settlement	Источники питьевой воды Drinking water sources	Загрязняющее вещество, мг/л Pollutant, mg/l							
		Cu	Pb	Cd	Fe	Mn	Zn	Ni	As
ПДК / MPC		1,0	0,03	1,0	0,3	0,1	1,0	0,1	0,01
Ингердах Ingerdakh	Ист. № 1 / Source №1	0,05	0	0,03	0,05	0,2*	0,11	0,042	0
	Ист. № 2 / Source №2	0,05	0	0	0,05	0,1	0,07	0,02	0
Верх. Инхело Verkh. Inkhele	Ист. № 1 / Source №1	0,10	0	0	0,03	0,1	0,07	0,017	0
Тад-Магитль Tad-Magitl	Ист. № 1 / Source №1	0,04	0	0	0,05	0,2*	0,04	0	0
	Ист. № 2 / Source №2	0,01	0	0	0,01	0,1	0,09	0,002	0
	Ист. № 3 / Source №3	0,06	0	0	0,01	0,1	0,07	0,007	0
	Ист. № 4 / Source №4	0,02	0	0	0,01	0,3*	0,08	0	0
Маштада Mashtada	Ист. № 1 / Source №1	0,18	0	0	0,04	0,1	0,08	0,002	0
	Ист. № 2 / Source №2	2,04*	0	0	0,07	0,2*	0,04	0,05	0
Анчих Anchikh	Ист. № 1 / Source №1	0,16	0	0	0,03	0,2*	0,07	0,006	0
	Ист. № 2 / Source №2	0,07	0	0,02	0,01	0,1	0,07	0,01	0
Тлибишо Tlibisho	Ист. № 1 / Source №1	0,04	0	0	0,01	0,4*	0,07	0	0
	Ист. № 2 / Source №2	0,12	0	0	0,01	0,1	0,06	0	0
Карата Karata	Ист. № 1 / Source №1	0,66	0	0	0,06	0,2*	0,12	0,015	0
	Ист. № 2 / Source №2	3,33*	0	0	0,04	0,3*	0,07	0,077	0
	Ист. № 3 / Source №3	0,06	0	0	0,02	0,1	0,06	0	0
	Ист. № 4 / Source №4	1,70*	0	0	0,02	0,2*	0,06	0	0
	Ист. № 5 / Source №5	0,68	0	0	0,05	0,3*	0,11	0	0
	Ист. № 6 / Source №6	0,08	0	0	0,03	0,4*	0,05	0	0
	Ист. № 7 / Source № 7	0,03	0	0	0,05	0,6*	0,04	0	0

Примечание: * – превышение ПДК

Note: * – in excess of MPC

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в источниках питьевого водоснабжения г. Кизилюрт РД
Table 4. Content of heavy metals in sources of drinking water supply in Kizilyurt district, RD

Источники питьевой воды Drinking water sources	Загрязняющее вещество, мг/л Pollutant, mg/l						
	Cu	Pb	Cd	Fe	Zn	Ni	As
ПДК / MPC	1,0	0,05	0,003	0,3	3,0	0,1	0,01
Ист. № 1 / Source № 1	0	0,00007	0,000003	0,09	0,0053	0,0013	0,0002
Ист. № 2 / Source №2	0,00064	0	0,000018	0,13	0	0,0025	0
Ист. № 3 / Source №3	0,0007	0	0,00008	0,09	0	0,0015	0,005
Ист. № 4 / Source №4	0,00092	0	0,000004	0,25	0,0041	0,0020	0
Ист. № 5 / Source №5	0,0041	0,00005	0	0,22	0,0062	0,0033	0
Ист. № 6 / Source №6	0,00091	0,000001	0,000016	0,22	0,0041	0,0021	0,0003
Ист. № 7 / Source №7	0,0076	0	0,000006	0,27	0	0,0027	0,0003
Ист. № 8 / Source №8	0	0,00015	0,000012	0	0	0,0029	0
Ист. № 9 / Source №9	0,00034	0	0,000003	0,2	0	0,0043	0,00006

Для определения степени влияния хронического поступления токсичных ионов тяжелых металлов питьевой водой на здоровье популяции нами была проанализирована заболеваемость злокачественными новообразованиями населения районов исследования (рис. 3).

Как видно из рис. 3 наиболее высокий уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями, рассчитанный на 100 тыс. населения, отмечается в районах низменного Дагестана (Тарумовский район), самая низкая заболеваемость – в г. Кизилюрт. Вместе с тем, во всех районах нашего исследования наблюдается рост онкозаболеваемости, наиболее выраженный в Тарумовском (на 27,5%) и Ахвахском (на 39,3%). Следует обратить внимание на

увеличение числа онкобольных в г. Кизилюрт в 2010 и 2011 гг., когда происходит рост онкозаболеваемости на 67,2% и 68,4% соответственно по сравнению с показателями 2009 года.

Для установления причинно-следственных связей между качеством питьевой воды и показателями онкозаболеваемости населения исследуемых районов низменного, горного Дагестана и, расположенного на границе между ними, г. Кизилюрт, нами проведен корреляционный анализ. Анализ полученных материалов свидетельствует о наличии связи между качеством питьевой воды и онкозаболеваемостью населения, проживающих в отличающихся климато-географических условиях.

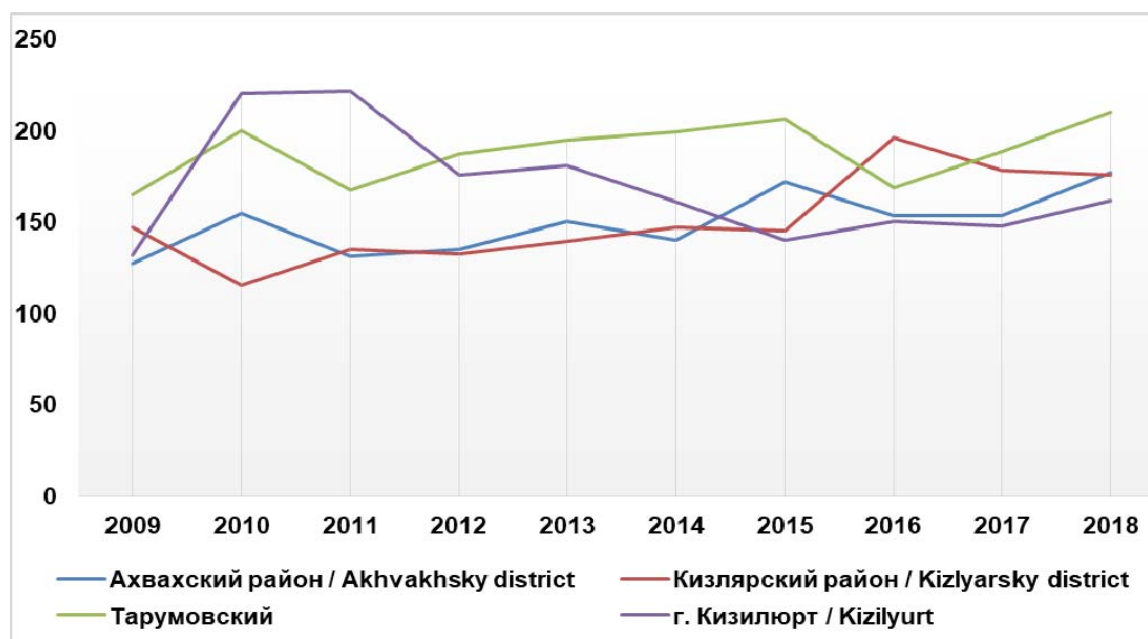


Рисунок 3. Состояние заболеваемости злокачественными новообразованиями в Кизлярском, Тарумовском, Ахвахском районах и г. Кизилюрт в период с 2009 по 2018 гг. (на 100 тыс. населения)

Figure 3. The state of incidence of malignant neoplasms in Kizlyar, Tarumovsky, Akhvakhsky districts and the city of Kizilyurt in the period from 2009 to 2018. (per 100 thousand population)

Установлена прямая корреляционная зависимость между содержанием мышьяка в источниках питьевого водоснабжения и онкозаболеваемостью населения районов низменного Дагестана: в Тарумовском районе коэффициент корреляции составил 0,38, в Кизлярском – 0,12. Полученные данные согласуются с результатами анализа питьевых вод на территории Северного Дагестана, проведенные Т.О. Абдулмуталимовой и Б.А. Ревичем. Авторами подчеркивается, что длительное хроническое поступление мышьяка, при постоянном использовании артезианских вод, формирует высокие уровни канцерогенного риска для здоровья населения [7].

Прямая корреляционная зависимость обнаружена также между заболеваемостью раком населения Кизлярского района и содержанием в питьевой воде токсичных ионов тяжелых металлов меди (0,26), свинца (0,39), железа (0,49), марганца (0,41), цинка (0,34).

Показатели онкозаболеваемости населения Ахвахского района имеет прямую корреляционную зависимость от концентрации ионов меди (0,29) и марганца (0,38).

Не установлено причинно-следственной связи между содержанием токсикантов в питьевой воде г. Кизилюрт и заболеваемостью злокачественной патологией

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных данных свидетельствует о наличии более высоких концентраций токсичных ионов тяжелых металлов в источниках питьевого водоснабжения на территории низменного Дагестана, нежели в горной его части, а также, расположенном на границе между ними, г. Кизилюрт.

Наиболее высокие показатели заболеваемости злокачественной патологией в период с 2009 по 2018 гг. установлены для населения Тарумовского района (210,2 на 100 тыс. населения). В тоже время прирост онкозаболеваемости за указанный период регистрируется во всех районах нашего исследования.

Сверхнормативное содержание мышьяка в источниках питьевого водоснабжения Кизлярского и Тарумовского районов может обуславливать высокие риски развития неинфекционных заболеваний, в том числе злокачественной патологии. Нами установлена прямая корреляционная зависимость между концентрацией мышьяка в источниках питьевой воды и онкозаболеваемостью населения низменных районов Дагестана.

Использование питьевой воды, обогащенной медью, свинцом, железом, марганцем, цинком, жителями экологически неблагополучных районов низменного Дагестана (Тарумовский, Кизлярский районы) создает угрозу накопления в организме токсичных металлов и формирует высокие уровни канцерогенного риска для здоровья населения.

Полученная корреляционная связь позволила нам на примере онкозаболеваний получить характеристику роли конкретных экологических факторов (качество питьевой воды) в изменении медико-географических процессов. С помощью корреляционного анализа стало возможным предположить влияния отдельных экологических факторов на медико-географическую ситуацию в республике за исследуемый период (2009-2018 гг.), который можно использовать для разработки дифференцированной социально-экологической политики региона, направленной на улучшение состояния окружающей среды и оздоровления населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захаренков В.В., Виблая И.В. Спектр влияния социальных условий на состояние здоровья населения Новокузнецка в 2006-2009 г. Кемерово: Примула, 2010. 112 с.
2. Веселкова Н.С., Морозова О.Г., Миронов П.В., Пен Р.З., Стародубцева Ж.А., Устинович О.В. О качестве питьевой воды территории бореальной зоны лесов Красноярского края // Материалы V Всероссийской конференции «Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья», Барнаул, 2012. С. 491-493.
3. Пен Р.З., Морозова О.Г., Вчерашний П.М., Мажаров В.Ф., Шахматов С.А. Качество питьевой воды в восточной зоне Красноярского края как предиктор здоровья населения // Fundamental research. 2014. N 12. С. 258-262.
4. Гасангаджиева А.Г., Габибова П.И., Даудова М.Г., Галкина И.В., Гираев К.М., Магомедова З.Я. Медико-экологическая оценка и прогноз социально значимой патологии населения Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 4. С. 147-164. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-147-164
5. Абдулмуталимова Т.О., Мамашева Г.Д. Качество питьевой воды как фактор риска возникновения кожных патологий у жителей Северного Дагестана // Медицинский вестник Юга России. 2018. Т. 3. N 9. С. 58-64. DOI: 10.21886/2219-8075-2018-9-3-58-64
6. Храмов А.В., Контрош Л.В., Панкратова М.Ю., Веженкова И.В. Влияние химического состава питьевой воды на уровень накопления токсичных металлов в организме человека // Экология человека. 2019. N 6. С. 11-16. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-6-11-16
7. Абдулмуталимова Т.О., Ревич Б.А. Оценка канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного высоким содержанием мышьяка в питьевой артезианской воде Северного Дагестана // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. N 8. С. 743-746. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-8-743-746
8. Безгоднов И.В., Ефимова Н.В., Кузьмина М.К. Качество питьевой воды и риск для здоровья населения сельских территорий Иркутской области // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. N 2. С. 15-19.
9. Smith A.H., Steinmaus C.M. Health effects of arsenic and chromium in drinking water: recent human findings // Ann. Rev. Public Health. 2009. V. 30. P. 107-122.
10. IARC: A Review of Human Carcinogen: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2012. vol. 100.

REFERENCES

1. Zakharenkov V.V., Viblaya I.V. *Spektr vliyaniya sotsial'nykh uslovii na sostoyaniye zdorov'ya naseleniya Novokuznetska v 2006-2009 g* [The spectrum of influence of

- social conditions on the health status of the population of Novokuznetsk in 2006-2009]. Kemerovo, Primula Publ., 2010. 112 p. (In Russian)
2. Veselkova N.S., Morozova O.G., Mironov P.V., Pen R.Z., Starodubtseva Zh.A., Ustinovich O.V. O kachestve pit'evoi vody territorii boreal'noi zony lesov Krasnoyarskogo kraya [On the quality of drinking water in the territory of the boreal forest zone of the Krasnoyarsk Territory]. *Materialy V Vserossiiskoi konferentsii «Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoi tekhnologii rastitel'nogo syr'ya»*, Barnaul, 2012 [Proceedings in the All-Russian conference "New achievements in the chemistry and chemical technology of plant raw materials", Barnaul, 2012]. Barnaul, 2012, pp. 491-493. (In Russian)
3. Pen R.Z., Morozova O.G., Vcherashnii P.M., Mazharov V.F., Shakhmatov S.A. The quality of drinking water in the eastern zone of the Krasnoyarsk Territory as a predictor of public health. *Fundamental research*. 2014, no. 12, pp. 258-262. (In Russian)
4. Gasangadzhieva A.G., Gabibova P.I., Daudova M.G., Galkina I.V., Giraev K.M., Magomedova Z.Y. Medical-Environmental Assessment and Forecasting of Socially Significant Pathology of the Population of the Republic of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 4, pp. 147-164. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-147-164
5. Abdulmutalimova T.O., Mamasheva G.D. The quality of drinking water as a risk-factor of skin lesions among the North Dagestan population. *Medical Bulletin of the South of Russia*, 2018, vol. 3, no. 9, pp. 58-64. (In Russian) DOI: 10.21886/2219-8075-2018-9-3-58-64
6. Hramov A.V., Kontrosh L.V., Pankratova M.Y., Vezhenkova I.V. Hemical composition of drinking water and accumulation of toxic metals in a human body. *Human ecology*, 2019, no. 6, pp. 11-16. (In Russian) DOI: 10.33396/1728-0869-2019-6-11-16
7. Abdulmutalimova T.O., Revich B.A. Assessment of the carcinogenic risk to public health due to the high content of arsenic in the drinking artesian water of Northern Dagestan. *Hygiene and sanitation*, 2017. vol. 96, no. 8, pp. 743-746. (In Russian) DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-8-743-746
8. Bezgodov I.V., Efimova N.V., Kuz'mina M.K. Assessment of the quality of drinking water and risk for the population's health in rural territories in the Irkutsk region. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 2015, vol. 94, no. 2, pp. 15-19. (In Russian)
9. Smith A.H., Steinmaus C.M. Health effects of arsenic and chromium in drinking water: recent human findings. *Ann. Rev. Public Health*. 2009, vol. 30, pp. 107-122.
10. IARC: A Review of Human Carcinogen: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2012, vol. 100.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Азиза Г. Гасангаджиева и Мадина Г. Даудова написали статью, корректировали рукопись до подачи в редакцию. Патимат А. Бекшокова, Разият Б. Багомедова, Казбек К. Бекшоков, Марьям М. Меджидова и Симурдэн М. Нахибашев участвовали в сборе материала, составлении

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Aziza G. Gasangadzhieva and Madina G. Daudova wrote and corrected the article before submitting it to the Editor. Patimat A. Bekshokova, Raziya B. Bagomedova, Kazbek K. Bekshokov, Maryam M. Medzhidova and Simurden M. Nakhibashev participated in collecting material, compiling a

базы данных и проведении статистического анализа. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

database and conducting statistical analysis. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Мадина Г. Даудова / Madina G. Daudova <https://orcid.org/0000-0003-0456-3698>

Разият Б. Багомедова / Raziya B. Bagomedova <https://orcid.org/0000-0002-8889-6133>

Казбек К. Бекшоков / Kazbek K. Bekshokov <https://orcid.org/0000-0003-0147-1341>

Марьям М. Меджидова / Maryam M. Medzhidova <https://orcid.org/0000-0002-7353-0497>

Симурдэн М. Нахибашев / Simurden M. Nakhibashev <https://orcid.org/0000-0002-3488-8349>

Патимат А. Бекшокова / Patimat A. Bekshokova <https://orcid.org/0000-0001-5473-0728>

Азиза Г. Гасангаджиева / Aziza G. Gasangadzhieva <https://orcid.org/0000-0002-7210-6571>

Рецензия / Review

УДК 55:[004.78:002]:528.94

DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-177-183

Геоинформационное картографирование в урбоэкологии (рецензия на монографии: Оценка и геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации на территории города Воронежа: Сборник научных статей / Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 219 с.; Экологические риски территорий интенсивного техногенного освоения / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, Т.И. Прожорина и др. / Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 191 с.)

Наталья В. Костина¹, Наталья В. Лазарева², Геннадий С. Розенберг¹

¹Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия

²Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

Резюме

Рецензия на сборник научных статей «Оценка и геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации на территории города Воронежа» (под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 219 с.) и монографию «Экологические риски территорий интенсивного техногенного освоения» (С.А. Куролап, О.В. Клепиков, Т.И. Прожорина и др. / Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 191 с.) написана в ходе самоизоляции и удалённого доступа к работе авторов в связи с пандемией коронавируса COVID-19.

Контактное лицо

Геннадий С. Розенберг, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт экологии Волжского бассейна РАН; 445003 Россия, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10.

Тел. +79036879448

Email genarozenberg@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8820-4459>

Формат цитирования

Костина Н.В., Лазарева Н.В., Розенберг Г.С. Геоинформационное картографирование в урбоэкологии (рецензия на монографии: Оценка и геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации на территории города Воронежа: Сборник научных статей / Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 219 с.; Экологические риски территорий интенсивного техногенного освоения / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, Т.И. Прожорина и др. / Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. 191 с.) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 177-183. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-177-183

Получена 22 июля 2020 г.

Принята 25 августа 2020 г.

© 2020 Авторы. Юг России: экология, развитие. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Geoinformation mapping in urban ecology. Review of: "Assessment and geoinformation mapping of the medical and environmental situation in the city of Voronezh: Collection of scientific articles" / Under general editorship of S.A. Kurolap and O.V. Klepikov. Voronezh: Digital printing, 2019. 219 p. and of "Environmental risks of regions of intensive technogenic development" / S.A. Kurolap, O.V. Klepikov, T.I. Prozhorina *et al* / Under general editorship of S.A. Kurolap and O.V. Klepikov. Voronezh: Digital printing, 2019. 191 p.

Natalia V. Kostina¹, Natalia V. Lazareva², Gennady S. Rosenberg¹

¹Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia

²Samara State University of Economics, Samara, Russia

Abstract

Review of the collection of scientific articles "Assessment and geoinformation mapping of the medical and environmental situation in the city of Voronezh" (under the general editorship of S. A. Kurolap and O. Klepikov. Voronezh: Digital Printing, 2019, 219 p.) and of the monograph "Environmental risks of territories of intensive technogenic development" (S.A. Kurolap, O.V. Klepikov, T.I. Prozhorina et al / Under the general editorship of S.A. Kurolap and O.V. Klepikov). Voronezh: Digital printing, 2019. 191 p. The review was written during the period of self-isolation and remote access to the authors' work associated with the COVID-19 pandemic.

Principal contact

Gennady S. Rozenberg, Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Sciences, 10 Komzin St, Togliatti, Samara region, Russia 445003.

Tel. +79036879448

Email genarozenberg@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8820-4459>

How to cite this article

Kostina N.V., Lazareva N.V., Rosenberg G.S. Geoinformation mapping in urban ecology. Review. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 177-183. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-177-183

Received 22 July 2020

Accepted 25 August 2020

Результаты исследований, изложенные в рецензируемых сборнике и монографии, выполнены в рамках грантов Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований. Уже сам факт того, что эти работы были поддержаны столь уважаемыми (но к сожалению для нашей страны, весьма немногочисленными) фондами, свидетельствует о том, что геоинформационно-аналитические разработки в области оценки рисков для здоровья населения весьма актуальны и перспективны. Наш опыт проведения сходного рода исследований (назовем здесь только некоторые брошюры и монографии [1-9], позволяет нам критически рассмотреть эти труды, вышедшие под совместной редакцией профессоров, доктора географических наук С.А. Куролапа и доктора биологических наук О.В. Клепикова.

Сборник работ, как это и следует из его названия, посвящен оценке медико-экологической ситуации в городе Воронеже – одном из крупнейших промышленных центров Черноземья. Современные промышленно развитые города – центры острых экологических проблем, что требует постоянного совершенствования систем регионального геоэкологического мониторинга с систематическим наблюдением за состоянием различных компонентов среды обитания и общественного здоровья.

Открывает сборник статья С.А. Куролапа с соавторами «Геоинформационное картографирование состояния окружающей среды промышленного города (опыт практической реализации на примере города Воронежа)» (с. 6-54); это самая крупная статья сборника, около четверти его объема. Фактически, авторы делают презентацию электронного «Медико-экологического атласа города Воронежа» (35 карт масштабом 1 : 25 000) [10]. Атлас включает следующие разделы: состояние окружающей среды (экологический фон: параметры техногенного воздействия и загрязнения атмосферы, почвы, снежного покрова; состояние родников; радиационный фон; фитотоксические эффекты; состояние биоты); состояние здоровья населения (по основным социально значимым классам заболеваний отдельно для взрослого и детского населения по территориям обслуживания поликлиник города); оценка экологического риска для здоровья населения (рисков, связанных с микроклиматическими условиями, промышленно-транспортным воздействием и техногенным загрязнением городской среды). Каждый из этих блоков подробно прокомментирован и проиллюстрирован картами распределения загрязняющих веществ по территории города.

В качестве примера, остановимся на разделе «Состояние водных объектов: размещение и гидрохимическая оценка качества воды родников» (с. 28-36). Родники вообще редко попадают в «поле зрения» экологов (именно, в контексте «водных ресурсов» территории); даже уже поэтому работу по инвентаризации родников г. Воронежа и налаживанию дальнейшей системы мониторинга гидрохимического качества родниковой воды, следует только приветствовать. Естественно, если к этим работам будут подключены микро- и гидробиологи, эффективность оценки существенно повысится.

Завершает статью раздел «Интегральная медико-экологическая оценка» (с. 49-54). Такая оценка получена авторами работы после «обобщения закономерностей статистических связей в системе "окружающая среда – здоровье населения" с применением современных эколого-геохимических, вероятностно-статистических и геоинформационных методов исследования» (с. 49). Здесь следует сделать несколько замечаний. Прежде всего, используемый для анализа показатель канцерогенного риска по своей сути мало чем отличается от, например, ИЗВ (индекса загрязненности воды) или ИЗА (индекса загрязнения атмосферы); разница лишь в том, что реальная концентрация вещества i в пробе нормируется для ИЗ величиной ПДК_i, а для канцерогенного риска – величиной реферативной (безопасной) концентрации. Как и для ИЗ, анализ обычно проводится на основе «детального исследования ограниченного числа приоритетных веществ, которые наилучшим образом (*кто это оценивает?* – Авторы) характеризуют реальный риск для здоровья населения, проживающего на исследуемой территории» [11]. В этой ситуации возрастает шанс пропустить важное для анализа вещество. Вызывает сомнение и «суммируемость рисков» при расчете индекса суммарного эффекта (*критериев приемлемости*), – авторы исключают возможные эффекты взаимодействия и загрязняющих веществ, и канцерогенных рисков. Наконец, отсутствуют микробиологические показатели, что также (как и для ИЗ) снижает качество обобщенных индексов.

В статье Е.М. Студениковой с соавторами «Геоинформационные системы в оценке уровня заболеваемости городского населения массовыми неинфекционными заболеваниями» (с. 55-83) рассматривается раздел базы данных по заболеваемости населения для «Медико-экологического атласа города Воронежа». Выявлены территории риска и даны ареалы заболеваемости населения (две группы: до 14 лет и старше 18 лет) по основным классам болезней (общая заболеваемость, болезни органов дыхания, пищеварения, мочеполовой системы, болезней крови, а также врожденных аномалий детского населения и злокачественных новообразований у взрослого). Авторы делают справедливый вывод о том, что «анализ многолетней информации об уровнях заболеваемости населения свидетельствует о многогранности проблемы сохранения здоровья жителей промышленно-развитого города» (с. 82).

Остальные статьи сборника посвящены более частным аспектам геоинформационного картографирования. Так, в статье А.А. Куролапа с соавторами «Экологическая оценка параметров автотранспортного шума, микроклимата и техногенного загрязнения атмосферы города Воронежа» (с. 83-94) дано эколого-микроклиматическое зонирование территории города (рисунок на с. 91). Несомненный интерес представляет изучение воздействия на здоровье человека достаточно редко исследуемого фактора шумового загрязнения. Было бы интересным, провести сравнение результатов по городу Воронежу и городу Тольятти [12; 13]. Вопросам естественного самоочищения атмосферного воздуха в городах (планировочные решения, учет рельефа, зеленые зоны и другие элементы природного каркаса)

посвящена статья С.А. Епринцева и С.В. Шекоян «Микроклимат и природный каркас городской среды как факторы формирования зон экологического риска (на примере города Воронежа)» (с. 94-105).

Статьи Ю.С. Калашникова и О.В. Клепикова «Анализ экологических рисков, связанных с техногенной нагрузкой и рекреационным воздействием на реку Дон в пределах Воронежской городской агломерации» (с. 105-130), Т.И. Прожориной и О.А. Гребенниковой «Экологические проблемы утилизации загрязненного снега, вывозимого с территории города Воронежа» (с. 130-138) и Т.И. Прожориной с соавторами «Исследование влияния несанкционированной снегосвалки на экосистему территории Ботанического сада Воронежского университета» (с. 139-146), если можно так обобщить, посвящены «водному блоку» базы данных. Здесь внимание привлекают данные по органолептическим, санитарно-гигиеническим и микробиологическим показателям качества воды в р. Дон (особенно, в зонах рекреации), которые позволили авторам сделать вывод о «существенном ухудшении показателей качества воды оцениваемого водного объекта» (с. 129). Негативную картину демонстрирует и анализ снега на городской снегосвалке (взвешенные вещества превышают фоновые значения в 30 раз, содержание ионов Cl – в 34 раза, Ca и Mg – в 5 раз); еще хуже результаты для несанкционированной свалки около Ботанического сада ВГУ (взвешенные вещества превышают фоновые значения почти в 3000 раз, содержание ионов Cl – в 300 раз, общая жесткость воды – в 18 раз). Правда, вывод, который делают авторы из этой ситуации, выглядит как-то беспомощным: «если не предпринять срочные меры по ликвидации незаконной снегосвалки, то в ближайшее время после весеннего снеготаяния засоленные талые воды могут нанести непоправимый вред уникальному природному комплексу...».

Статья М.А. Клевцовой и Е.А. Добровой «Биоиндикационная оценка пылеулавливающей способности листовых пластинок тополя итальянского в условиях техногенного загрязнения городской среды» (с. 147-160) посвящена анализу морфометрических параметров листовых пластинок тополя (*Populus italica*) и накоплению пыли на ассимилирующих органах. За период 2016-2018 гг. запыленность атмосферного воздуха (по минимальным значениям) выросла почти в 2 раза, по максимальным – на 50%.

«Почвенному блоку» базы данных посвящены статьи Н.В. Кавериной «Городские техногенные аномалии: загрязнение нефтепродуктами и легкорастворимыми солями поверхностного горизонта почв города Воронежа» (с. 161-173) и «Полициклические ароматические углеводороды в почвах функциональных зон города Воронежа» (с. 174-185) и статья Л.О. Середа, С.А. Куролап «Токсикологический анализ почвенного покрова города Воронежа» (с. 185-195). Результаты исследований свидетельствуют о том, что городские почвы серьезно загрязнены, а для «почвенных образцов, отобранных в промышленной зоне, характерно в основном превышение критерия токсичности, что составляет в среднем 30-50%» (с. 191).

Завершают сборник две статьи теоретико-методического плана: С.А. Епринцев, С.В. Шекоян «Геоинформационно-экологический мониторинг террито-

рии города Воронежа как средство обеспечения экологической безопасности городской среды» (с. 196-206) и С.А. Куролап с соавторами «Геоинформационное обеспечение создания системы медико-экологического мониторинга крупного промышленного центра: методические принципы и рекомендации» (с. 206-216). Развитие представлений о средствах и способах решения информационных задач привели к появлению *геоинформационных* (ГИС) и *экоинформационных систем* (ЭИС), которые обеспечивают хранение и оперативный доступ к совокупности данных и знаний об экосистемах, о взаимодействии природы и общества. С.А.Куролап с коллегами подробно комментирует 9 основных принципов создания ГИС.

Хотелось бы заметить, что геоинформатика поражает и покоряет немислимыми массивами данных, которыми она играючи оперирует, однозначностью и воспроизводимостью получаемых результатов. При создании «классических» ГИС активно пропагандируются современные методы географического мониторинга – аэрокосмический, подспутниковый и т. д. Однако генерирование новой информации, свойственное ГИС-технологиям, содержательно и интересно только тогда, когда кто-то извне, представитель иной сферы знания или же целая другая наука «вкладывает» в уста геоинформатики содержательное понимание определенной задачи (необходима *база знаний*). При этом, ни в коей мере не отрицая необходимости и желательности проведения специальных (в том числе и дистанционных) видов исследований, следует иметь в виду, что общие затраты на создание такого рода ГИС для достаточно скромного по размерам региона становятся огромными.

В то же время в территориальных органах охраны природы, учебных заведениях, отраслевых институтах и специализированных краеведческих организациях накоплен богатый материал по различным аспектам исследований в области экономики, природопользования и медицины региона. В подавляющем большинстве случаев этот материал никак серьезно не обрабатывался и хранится в виде полузабытой «бумажной субстанции». Не исключено, что собранная статистическими методами в «административном аспекте», эта информация «зашумлена» и даже тенденциозна, а её пространственная привязка нередко оказывается весьма размытой. Тем не менее, при разумном подходе к её обработке и интерпретации эти данные становятся не только важным, но и определяющим звеном информационной модели территории. Во всяком случае, вывод о необходимости проведения комплекса дорогостоящих дистанционных исследований разумно делать лишь после обобщения всего багажа уже имеющейся эколого-экономической информации. Именно в этом смысле геоинформатика тесно смыкается с экиноформатикой, о чем свидетельствует наш опыт создания ЭИС разного масштаба [7; 14]. Пожертвовав географической эстетичностью, которая по отношению к пространственно размытым («грязным») данным вряд ли оправдана необходимостью, такая ЭИС приобретает не менее привлекательные качества: дешевизна, экономичность в ресурсах, простота в освоении, эксплуатации и интерпретации выходных данных. Более того, она позволяет строить статистические модели разной

сложности для оценки связей и прогнозирования в системе «окружающая среда – здоровье населения».

Завершая обзор этого интересного сборника, отметим, что и авторы, и мы вместе с ними находимся лишь в начале пути. Вот что пишут в своем обзоре об анализе рисков С.Г. Харченко и Е.Ю. Дорохина [15]: «Анализируя тенденции и перспективы анализа риска окружающей среды в России, необходимо отметить, что работы в области безопасности и анализа риска окружающей среды в России были начаты по инициативе академика В.А. Легасова еще в начале 80-х годов. Но только после Чернобыльской аварии это направление получило возможность развиваться, хотя и не так стремительно, как это происходило в США, Канаде, странах Евросоюза, Японии и Австралии. К сожалению, до сих пор законодательная и нормативная база в России построена не на основе концепции риска, а на основе ПДВ и ПДК, и само понятие риска упоминается только в одном из более 50 законов, посвященных безопасности, – в Федеральном Законе «О техническом регулировании» 2002 г. И вообще, ни в одном из них не допускается количественная оценка безопасности, а количественная оценка опасности производится на основе предельно допустимых концентраций вредных веществ, не позволяющая выполнять интегральную оценку опасности. Однако концептуально и методологически анализ риска до сих пор не является научной основой ни нашего законодательства, ни практической деятельности, в отличие от вышеупомянутых развитых стран. Хотя в отечественной науке достигнуты заметные результаты в этой области».

Несколько слов о второй работе – коллективной (14 авторов) монографии «Экологические риски территорий интенсивного техногенного освоения». В книге 6 глав, «Введение» и «Заключение». Уже во «Введении» авторы постулируют, что «методология исследований базируется на комплексных экспедиционных, лабораторно-инструментальных эколого-геохимических, радиоэкологических, биоиндикационных и геоинформационно-аналитических исследованиях» (с. 5).

В первой главе «Интегральная оценка экологического состояния территорий интенсивного техногенного воздействия: подходы и опыт реализации» (с. 6-56) представлены обсуждаются теоретико-методологические основы оценки и мониторинга экологических рисков территорий, находящихся под интенсивной техногенной нагрузкой. Не вдаваясь здесь в историю вопроса о соотношении здоровья и качества окружающей нас природы (согласно данным Всемирной организации здравоохранения [ВОЗ], вклад состояния окружающей среды в здоровье населения в среднем составляет 18-22%; при этом наибольший вклад [50-52%] вносит образ жизни [национальные особенности, привычки и т. п.]; вклад биологического фактора [генетика] оценивается в 20-22%, а роль медицины – в 7-12%; аналогичную схему приводят и авторы на с. 10), заметим, что уже древние греки чувствовали и понимали эту связь; древнегреческий целитель, врач («отец медицины»), философ Гиппократ (ок. 460 г. до н. э. – 370 г. до н. э.) писал: «Болезни излечивает природа, врач только помогает ей».

В главе обсуждаются основные критерии и методы оценки экологических рисков для здоровья насе-

ления, методологические основы создания региональных систем экологического мониторинга техногенно загрязнённых территорий, качественно новая информация о состоянии объектов окружающей среды промышленно развитого города (в основном, на примере г. Воронежа) и связанного с этим риском для здоровья населения, полученной на основе технологий геоинформационных систем.

Вторая глава «Оценка экологических рисков, связанных с качеством хозяйственно-питьевого водоснабжения урбанизированных и сельских территорий» (с. 57-73) посвящена анализу состояния централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения малых городов и поселков городского типа Воронежской области (Анна, Богучар, Лиски, Новохоперск и Россошь). Этот анализ показал крайне неудовлетворительное состояние качества питьевой воды (только 16% проб оказались соответствующими нормативам). Так, для Новохоперска характерна повышенная жесткость воды, превышение нормативов по хлоридам и нитратам.

Главы 3-5 («Оценка экологического состояния водных объектов и городской среды методами биоиндикации и биотестирования» [с. 74-116], «Радиоэкологические исследования на территории города Воронежа» [с. 117-125] и «Экогеохимия урбанизированных территорий» [с. 126-173]) во многом перекликаются с уже рассмотренным выше сборником работ «Оценка и геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации на территории города Воронежа». Здесь особо выделим небольшую по объему главу 4, в которой представлены результаты наблюдений за гамма-излучением на открытой местности городского пространства (70 точек). Было установлено, что мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (гамма-фона) на территории города Воронежа не превышает допустимых значений, но максимальные уровни гамма-фона были отмечены в тех местах, где для благоустройства использовался обработанный гранит.

Завершает монографию глава 6 «Геоинформационное картографирование селитебно-промышленных территорий: опыт практической реализации» (с. 174-188). Эта глава – явно методического плана и её место должно было бы быть в начале монографии (сразу после первой главы). Интерес представляет сравнение двух методов интерполяции данных на геоинформационных картах: методом обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting – IDW) и нерегулярной сети треугольников (Triangulated Irregular Network – TIN); предпочтение отдано первому методу IDW. Часть представленных результатов носит частный («программистский») характер – выбор тех или иных «штатных» инструментов ГИС MapInfo, задание «горячих клавиш», обоснование необходимости использования специального языка программирования MapBasic и пр. Все эти приемы позволили произвести «оценку качества окружающей среды по критерию риска возникновения у населения экологически-обусловленных заболеваний» (с. 183) с существенной экономией времени расчетов. К этой главе рецензируемой монографии можно сделать то же замечание, что было сделано выше, при рецензировании сборника: в таком теоретически-методическом разделе хотелось бы видеть предложения по синтезу статистических моделей разной

сложности для оценки связей и прогнозирования в системе «окружающая среда – здоровье населения».

Фундаментальной основой обеспечения устойчивого развития социо-эколого-экономических систем регионов России является оптимизация разного рода рисков (социальных, экологических, экономических [финансовых] и пр.). В большинстве регионов высокий инвестиционный потенциал сочетается с высоким уровнем социально-экологических рисков [16]. Однако в настоящее время, как отмечено рядом исследователей [17], «практически отсутствуют методы количественной оценки техногенных социально-экологических рисков причинения вреда здоровью населения под воздействием вредных факторов окружающей среды. Существующие методы основаны на масштабных долгосрочных и дорогостоящих медико-биологических исследованиях и не учитывают специфические для конкретного региона факторы». Прорецензированные работы вносят определенный вклад в заполнение такого рода «лакун» для объективизации оценок экологических рисков и создания эффективного геоинформационно-картографического инструментария при анализе медико-экологических ситуаций на территориях разного масштаба и разной антропогенной нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С. Здоровье населения как критерий оценки качества среды. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 53 с.
2. Шапеева Е.В., Юрицына Н.А., Лифиренко Н.Г., Юнина В.П., Афанасьева Н.В. Эколого-информационные системы разных масштабов для комплексной оценки состояния природной среды в регионах с интенсивной антропогенной нагрузкой (город, область, Волжский бассейн). Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 53 с.
3. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Сульдмиров Г.К. Экологические проблемы города Тольятти (Территориальная комплексная схема охраны окружающей среды). Тольятти: ИЭВБ РАН, 1995. 222 с.
4. Розенберг Г.С., Рянский Ф.Н., Лазарева Н.В., Саксонов С.В., Симонов Ю.В., Хасаев Г.Р. Общая и прикладная экология: учеб. пособие. Самара; Тольятти: Изд-во Самар. гос. экон. ун-та, 2016. 452 с. URL: <http://www.ievbras.ru/books/books.html> (дата обращения: 24.03.2020)
5. Горелик Д.О., Ишанин Г.Г., Конопелько Л.А., Хворов Г.В., Розенберг Г.С. и др. Экологический атлас г. Тольятти. СПб.: НПО "Мониторинг", 1996. 9 карт масштаба 1 : 40 000.
6. Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Глебова О.В., Сурова Н.А., Сидоренко М.В., Юнина В.П. Природный комплекс большого города: ландшафтно-экологический анализ. М.: Наука, 2000. 286 с.
7. Костина Н.В. REGION: экспертная система управления биоресурсами. Тольятти: Самар. НЦ РАН, 2005. 132 с.
8. Костина Н.В. Анализ состояния и сценарии развития социо-эколого-экономических систем территорий разного масштаба с помощью экспертной информационной системы REGION. Тольятти: Кассандра, 2015. 200 с.
9. Зибарев А.Г., Розенберг Г.С., Саксонов С.В. и др. Институт экологии Волжского бассейна РАН и город Тольятти. Экологические инновации для устойчивого развития города. Аналитический доклад. Тольятти: Кассандра, 2012. 87 с.
10. Медико-экологического атлас города Воронежа (35 карт масштабом 1 : 25 000). URL: <http://www.geogr.vsu.ru/atlas.htm> (дата обращения: 08.07.2020)
11. Степанова Н.В., Валеева Э.Р., Фомина С.Ф. Оценка канцерогенного риска для здоровья населения при воздействии химических веществ. Казань: К(П)ФУ; ИФМиБ. 2016. 128 с.
12. Васильев А.В., Лифиренко Н.Г., Костина Н.В., Розенберг Г.С. Шумовое загрязнение и его оценка как фактора риска заболеваемости населения // Труды X Всероссийского конгресса «Экология и здоровье человека», 11-13 октября 2005 г. Самара: Самар. обл. Дом науки и техн., 2005. С. 49-51.
13. Васильев А.В., Розенберг Г.С. Мониторинг акустического загрязнения селитебной территории г. Тольятти и оценка его влияния на здоровье населения // Безопасность в техносфере. 2007. N 3. С. 9-12.
14. Розенберг Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра, 2009. 477 с.
15. Харченко С.Г., Дорохина Е.Ю. Анализ рисков окружающей среды // Вопросы анализа риска. 2009. N 1-2. С. 92-105.
16. Розенберг Г.С., Зибарев А.Г., Костина Н.В., Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г. Оценки рисков и ущербов как инструмент социальной экологии // Биосфера. 2019. Т. 11. N 2. С. 75-86.
17. Бразговка О.В., Сугак Е.В. Интеллектуальный анализ социально-экологических рисков населения промышленного региона // Фундаментальные проблемы науки: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (20 июня 2017 г., Казань). Часть 4. Уфа: АЭТЕРНА; 2017. С. 212-214.

REFERENCES

1. Krasnoshchekov G.P., Rozenberg G.S. *Zdorov'e nasele-niya kak kriterii otsenki kachestva sredy* [Public Health as a Criterion for Assessing the Quality of the Environment]. Tol'yatti, Institute of Ecology of the Volga Basin RAS Publ., 1994, 53 p. (In Russian)
2. Shapeeva E.V., Yuritsyna N.A., Lifirenko N.G., Yunina V.P., Afanas'eva N.V. *Ekologo-informatsionnye sistemy raznykh masshtabov dlya kompleksnoi otsenki sostoyaniya prirodnoi sredy v regionakh s intensivnoi antropogennoi nagruzkoi (gorod, oblast', Volzhskii bassein)* [Ecological Information Systems of Various Scales for a Comprehensive Assessment of the State of the Natural Environment in Regions with Intense Anthropogenic Pressure (City, Region, Volga River Basin)]. Tol'yatti, Institute of Ecology of the Volga Basin RAS Publ., 1994, 53 p. (In Russian)
3. Rozenberg G.S., Krasnoshchekov G.P., Sul'dimirov G.K. *Ekologicheskie problemy goroda Tol'yatti (Territorial'naya kompleksnaya skhema okhrany okruzhayushchei sredy)* [Ecological Problems of the City of Togliatti (Territorial Integrated Scheme of Environmental Protection)]. Tol'yatti, Institute of Ecology of the Volga Basin RAS Publ., 1995, 222 p. (In Russian)

4. Rozenberg G.S., Ryanskiy F.N., Lazareva N.V., Saksonov S.V., Simonov Yu.V., Khasaev G.R. *Obshchaya i prikladnaya ekologiya* [General and Applied Ecology]. Samara, Tol'yatti, SSEU Publ., 2016, 452 p. (In Russian) Available at: <http://www.ievbras.ru/books/books.html> (accessed 24.03.2020)
5. Gorelik D.O., Ishanin G.G., Konopel'ko L.A., Hovorov G.V., Rozenberg G.S. et al. *Ekologicheskii atlas g. Tol'yatti* [Ecological Atlas of Togliatti]. SPb., NPO "Monitoring" Publ., 1996. (In Russian)
6. Kolomyts E.G., Rozenberg G.S., Glebova O.V., Surova N.A., Sidorenko M.V., Yunina V.P. *Prirodnyi kompleks bol'shogo goroda: landshaftno-ekologicheskii analiz* [Natural Complex of a Big City: Landscape-Ecological Analysis]. Moscow, Nauka Publ., 2000, 286 p. (In Russian)
7. Kostina N.V. *REGION: ekspertnaya sistema upravleniya bioresursami* [REGION: an Expert Bio-Resource Management System]. Tol'yatti, SSC RAS Publ., 2005, 132 p. (In Russian)
8. Kostina N.V. *Analiz sostoyaniya i stsennosti razvitiya sotsio-ekologo-ekonomicheskikh sistem territorii raznogo masshtaba s pomoshch'yu ekspertnoi informatsionnoi sistemy REGION* [Analysis of the State and Scenarios for the Development of Socio-Ecological-Economic Systems of Territories of Different Scales Using the Expert Information System REGION]. Tol'yatti, Cassandra Publ., 2015, 200 p. (In Russian)
9. Zibarev A.G., Rozenberg G.S., Saksonov S.V. et al. *Institutologii Volzhskogo basseina RAN i gorod Tol'yatti. Ekologicheskie innovatsii dlya ustoychivogo razvitiya goroda. Analiticheskii doklad* [Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences and the city of Togliatti. Environmental Innovation for Sustainable City Development. Analytical Report]. Tol'yatti, Cassandra Publ., 2012, 87 p. (In Russian)
10. *Mediko-ekologicheskogo atlas goroda Voronezha (35 kart masshtabom 1 : 25 000)* [Medical and ecological atlas of the city of Voronezh (35 maps in scale 1: 25,000)]. URL: <http://www.geogr.vsu.ru/atlas.htm> (accessed 08.07.2020). (In Russian)
11. Stepanova N.V., Valeeva E.R., Fomina S.F. *Otsenka kantserogennogo riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv* [Assessment of Carcinogenic Risk to Public Health When Exposed to Chemicals]. Kazan', K(V)FU, IFMB Publ., 2016, 128 p. (In Russian)
12. Vasil'ev A.V., Lifirenko N.G., Kostina N.V., Rozenberg G.S. *Shumovoe zagryaznenie i ego otsenka kak faktora riska zabolevaemosti naseleniya* [Noise Pollution and its Assessment as a Risk Factor for Morbidity in the Population]. *Trudy X Vserossiiskogo kongressa «Ekologiya i zdorov'e cheloveka»*, Samara, 11-13 oktyabrya 2005 [Proceedings of X All-Russian Congress "Ecology and Human Health", Samara, 11-13 October 2005]. Samara, 2005, pp. 49-51. (In Russian)
13. Vasil'ev A.V., Rozenberg G.S. *Monitoring of acoustic pollution of the residential area of Togliatti and assessment of its impact on public health. Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in the Technosphere]. 2007, no. 3, pp. 9-12. (In Russian)
14. Rozenberg G.S. *Volzhskii bassein: na puti k ustoichivomu razvitiyu* [Volga River Basin: Towards Sustainable Development]. Tol'yatti, IEVB RAN, Cassandra Publ., 2009, 477 p. (In Russian)
15. Kharchenko S.G., Dorokhina E.Yu. *Analysis of environmental risks. Voprosy analiza riska* [Issues of Risk Analysis]. 2009, no. 1-2, pp. 92-105. (In Russian)
16. Rozenberg G.S., Zibarev A.G., Kostina N.V., Kudina G.E., Rozenberg A.G. *Assessment of risks and damages as a tool of social ecology. Biosfera* [Biosphere]. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 75-86. (In Russian)
17. Brazgovka O.V., Sugak E.V. *Intellectual analysis of social and environmental risks of the population of an industrial region*. In: *Fundamental'nye problemy nauki* [Fundamental Problems of Science]. Ufa, AETERNA Publ., 2017, pp. 212-214. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья В. Костина, Наталья В. Лазарева, Геннадий С. Розенберг подготовили и написали рецензию. Авторы несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Gennady S. Rozenberg, Natalia V. Kostina and Natalia V. Lazareva prepared and wrote the review. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Наталья В. Костина / Natalia V. Kostina <https://orcid.org/0000-0002-8666-2130>

Наталья В. Лазарева / Natalia V. Lazareva <https://orcid.org/0000-0001-6528-1585>

Геннадий С. Розенберг / Gennady S. Rozenberg <https://orcid.org/0000-0002-8820-4459>

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»

можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:

Гусейнова Надира Орджоникидзевна, к.б.н., доцент, Email dagecolog@mail.ru
моб. тел. +79285375323

Иванушенко Юлия Юрьевна, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

Адрес редакции: 367001, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, тел./факс: +7(8722) 56-21-40

Учредитель (соучредители) журнала:

ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate
Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Yuliya Yu. Ivanushenko, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
tel. / fax: +7 (8722) 56-21-40

Founders of journal:

The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Издание зарегистрировано Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.

Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.

Подписано в печать 25.11.2020.

Объем 23. Тираж 100. Заказ № 49.

Формат 70х90%. Печать офсетная.

Бумага офсетная № 1.

Тиражировано в типографии издательства ДГУ

г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е