

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



Том 17 № 1 2022

ISSN 1992-1098
e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.17 no. 1 2022

SOUTH OF RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT

Журнал «Юг России: экология, развитие» входит в Перечень Высшей аттестационной комиссии (ВАК) и реферативные базы цитирования: Scopus, Web of Science Core Collection (ESCI), Web of Science Zoological Record, Российская система цитирования (РИНЦ), Cyberleninka, Ulrich's Periodicals Directory, Российская государственная библиотека (РГБ), ВИНТИ, The European Library, The British Library, Jisc copas, 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

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

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)

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

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

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

Шагапсоев 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

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

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)

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

Федотова М.С., Филиппова А.Ю., Омаров М.А., Юрченко К.С., Гуляева М.А. SARS-CoV-2: особенности распространения вируса и течение патогенеза коронавирусной инфекции у различных видов животных.....	6-16
Аношко П.Н., Макаров М.М., Устарбекова Д.А., Дзюба Е.В. Соотношение длина-вес у байкальского омуля <i>Coregonus migratorius</i> в нагульный период в районе Селенгинского мелководья озера Байкал.....	17-23
Мухтарова Г.М., Бекшокова П.А., Нахибашева Г.М., Гусейнова Н.О. Эколого-фаунистическая и зоогеографическая характеристика жуков-долгоносиков трибы Baridini Schoencherr, 1836 Дагестана.....	24-35
Балахнина И.В., Пушня М.В., Кремнева О.Ю., Собина А.Ю., Снесарева Е.Г. Биологические особенности меткалфы (<i>Metcalfa pruinosa</i> Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) и вопросы регуляции её численности в центральной зоне Краснодарского края.....	36-48
Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Гаджидадаев М.З., Самудов Ш.М., Чаплыгин В.А., Шевченко Ю.А. Микроэлементный состав каспийского тюленя (<i>Phoca caspica</i> Gmelin, 1788) в условиях техногенеза биосферы.....	49-61

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТОКСИКОЛОГИЯ

Идиятов И.И., Кадиков И.Р., Саитов В.Р., Кашеваров Г.С., Фицев И.М., Тремасова А.М., Перфилова К.В., Сальникова М.М. Изучение токсического действия трихотеценового микотоксина продуцента <i>Fusarium sporotrichioides</i> в опыте на свиньях.....	62-79
--	-------

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Неведров Н.П., Проценко Е.П., Балабина И.П., Фомина М.Ю., Попова Г.И. Почвенные процессы в подзолах песчаных в условиях вариаций климатических параметров лесостепи Среднерусской провинции.....	80-90
Курдюкова О.Н. Особенности формирования и трансформации перелогов, приемы их оптимизации.....	91-98
Морозова Г.Ю., Дебеляя И.Д. Роль особо охраняемых природных территорий в формировании комфортной городской среды.....	99-108

ЛАНДШАФТНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Чибилёв А.А. (мл.), Гулянов Ю.А., Мелешкин Д.С., Григорьевский Д.В. Оценка ландшафтно-экологической устойчивости сельскохозяйственных регионов Урала и Западной Сибири.....	109-118
---	---------

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Гуреев И.И., Нитченко Л.Б., Прущик И.А. Углубленная адаптация технологии возделывания озимой пшеницы в Центрально-Чернозёмном регионе.....	119-127
Левакова О.В., Дедушев И.А., Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А., Болдырев М.А., Гладышева О.В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ.....	128-135
Есаулко А.Н., Письменная Е.В., Голосной Е.В., Ожередова А.Ю., Кузьмина Ю.Н. Влияние погодно-климатических условий на генетико-физиологическую систему растений озимой пшеницы в засушливых условиях Центрального Предкавказья.....	136-150

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Солодовников Д.А., Шинкаренко С.С., Хаванская Н.М., Кукушкина Н.А. Опыт разработки геoinформационной системы пойменных земель Донского бассейна.....	151-161
---	---------

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Рабаданов Р.М. Методологические аспекты бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды.....	162-173
---	---------

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....	174
-----------------------------------	-----

ECOLOGY OF ANIMALS

<i>Fedotova M.S., Filippova A.Yu., Omarov M.A., Yurchenko K.S., Gulyaeva M.A.</i> SARS-CoV-2: the prospects of the virus spreading and the course of the pathogenesis of coronavirus infection in various species of animals.....	6-16
<i>Anoshko P.N., Makarov M.M., Ustarbekova D.A., Dzyuba E.V.</i> Length-weight relationships of Baikal omul <i>Coregonus migratorius</i> during the feeding season in the Selenga area, Russia.....	17-23
<i>Mukhtarova G.M., Bekshokova P.A., Nakhibasheva G.M., Guseynova N.O.</i> Ecological-faunistic and zoogeographic characteristics of weevils of the tribe Baridini Schoencherr, 1836 of Dagestan.....	24-35
<i>Balakhnina I.V., Pushnya M.V., Kremneva O.Yu., Sobina A.Yu., Snesareva E.G.</i> Biological features of Metcalfa (<i>Metcalfa pruinosa</i> Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) and the issues of regulation of its abundance in the central zone of Krasnodar Territory.....	36-48
<i>Ershova T.S., Zaitsev V.F., Gadzhidadaev M.Z., Samudov Sh.M., Chaplygin V.A., Shevchenko Yu.A.</i> Trace element composition of organs and tissues of the Caspian seal (<i>Phoca caspica</i> Gmelin, 1788) in the conditions of technogenesis of the biosphere.....	49-61

ECOLOGICAL TOXICOLOGY

<i>Idiyatov I.I., Kadikov I.R., Saitov V.R., Kashevarov G.S., Fitsev I.M.,</i> <i>Tremasova A.M., Perfilova K.V., Salnikova M.M.</i> Study of the toxic effect of trichothecene mycotoxin produced by <i>Fusarium sporotrichioides</i> in an experiment on pigs.....	62-79
---	-------

GEOECOLOGY

<i>Nevedrov N.P., Protzenko E.P., Balabina I.P., Fomina M.Yu., Popova G.I.</i> Soil processes in sandy podzols under conditions of variations in climatic parameters of the forest steppe of the Central Russian province.....	80-90
<i>Kurdyukova O.N.</i> Features of formation and transformation of fallows and methods for their optimization.....	91-98
<i>Morozova G.Yu., Debelaya I.D.</i> The role of protected areas in the formation of a comfortable urban environment formation.....	99-108

LANDSCAPE ECOLOGY

<i>Chibilyov A.A. (jr.), Gulyanov Yu.A., Meleshkin D.S., Grigorevsky D.V.</i> An assessment of landscape-ecological stability in agricultural regions of Ural and West Siberia.....	109-118
--	---------

AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Gureev I.I., Nitchenko L.B., Prushcik I.A.</i> In-depth adaptation of winter wheat cultivation technology in the Central Chernozem region.....	119-127
<i>Levakova O.V., Dedushev I.A., Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko A.N.,</i> <i>Eroshenko N.A., Boldyrev M.A., Gladysheva O.V.</i> Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation.....	128-135
<i>Esaulko A.N., Pismennaya E.V., Golosnoi E.V., Ozheredova A.Yu., Kuzminova Yu.N.</i> Influence of weather and climatic conditions on the genetic and physiological system of winter wheat plants in arid conditions of the Central Caucasus, Russia.....	136-150

METHODS OF ENVIRONMENTAL STUDIES

<i>Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S., Khavanskaya N.M., Kukushkina N.A.</i> Developmental experience of the geoinformation system for floodplain lands of the Don basin.....	151-161
---	---------

GENERAL PROBLEMS

<i>Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Rabadanov R.M.</i> Methodological aspects of accounting of expenditures on environmental safety and environmental restoration.....	162-173
---	---------

CONTACT INFORMATION	174
----------------------------------	-----

Обзорная статья / Review article
УДК 598.2 – 578.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-6-16

SARS-CoV-2: особенности распространения вируса и течение патогенеза коронавирусной инфекции у различных видов животных

Марина С. Федотова^{1,2}, Анастасия Ю. Филиппова^{1,2}, Магомедсаид А. Омаров³,
Ксения С. Юрченко², Марина А. Гуляева^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

³ФКУ «Главное бюро медико-социальной экспертизы по г. Москве», Москва, Россия

Контактное лицо

Марина А. Гуляева, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник;
Новосибирский государственный университет;
630090 Россия, г. Новосибирск, Новосибирская обл., ул. Пирогова, д. 2.
Федеральное Государственное Бюджетное Научное Учреждение «Федеральный Исследовательский Центр Фундаментальной и Трансляционной Медицины»; 630117 Россия, г. Новосибирск, Новосибирская обл., ул. Тимакова, д. 2.
Тел. +79529136513
Email mgulyaeva@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

Формат цитирования

Федотова М.С., Филиппова А.Ю., Омаров М.А., Юрченко К.С., Гуляева М.А. SARS-CoV-2: особенности распространения вируса и течение патогенеза коронавирусной инфекции у различных видов животных // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 6-16. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-6-16

Получена 27 декабря 2021 г.
Прошла рецензирование 24 января 2022 г.
Принята 7 февраля 2022 г.

Резюме

Цель. Проанализировать имеющиеся литературные данные о возможности заражения коронавирусной инфекцией и тяжести протекания заболевания у различных видов животных с целью оценки значимости данного заболевания в контексте сохранения благополучия диких, домашних и сельскохозяйственных животных.

Обсуждение. Согласно литературным данным, SARS-CoV-2 произошел от коронавирусов летучих мышей. Вирус проникает в клетку посредством связывания с рецептором ACE2, аффинитет к которому отличается в зависимости от вида животного. У зараженных животных обнаруживается вирусная РНК и могут наблюдаться клинические симптомы. Известно, что вирус произошел от одних животных, а другие могут являться переносчиками. Причем, это могут быть как дикие, так и домашние и сельскохозяйственные животные, которые близко контактируют с человеком. Поэтому целесообразно провести исследование степени угрозы для людей, связанной с персистенцией вируса в животных сообществах.

Заключение. Имеется достаточное количество литературных данных, подтверждающих возможность инфицирования различных видов млекопитающих, однако их недостаточно для полного понимания того, насколько существенную роль могут играть те или иные животные в распространении коронавирусной инфекции среди людей и насколько серьезный вред для них самих она может нанести.

Ключевые слова

Коронавирусы, COVID-19, SARS-CoV-2, дикие животные, домашние животные.

SARS-CoV-2: the prospects of the virus spreading and the course of the pathogenesis of coronavirus infection in various species of animals

Marina S. Fedotova^{1,2}, Anastasia Yu. Filippova^{1,2}, Magomedsaid A. Omarov³,
Ksenia S. Yurchenko² and Marina A. Gulyaeva^{1,2}

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

²Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

³Main Bureau of Medical and Social Expertise in Moscow, Moscow, Russia

Principal contact

Marina A. Gulyaeva, PhD in Biology, Associate Professor, Research Scientist, Novosibirsk State University; 2 Pirogova St, Novosibirsk, Russia 630090;

Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine; 2 Timakova St, Novosibirsk, Russia 630117.

Tel. +79529136513

Email mgulyaeva@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

How to cite this article

Fedotova M.S., Filippova A.Yu., Omarov M.A., Yurchenko K.S., Gulyaeva M.A. SARS-CoV-2: the prospects of the virus spreading and the course of the pathogenesis of coronavirus infection in various species of animals. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 6-16. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-6-16

Received 27 December 2021

Revised 24 January 2022

Accepted 7 February 2022

Abstract

Aim. Analyse available literature data about the possibility of coronavirus infection with and the severity of the course of infection in various animal species in order to evaluate the significance of this possibility in the context of preservation of the well-being of both wild and domestic animals.

Discussion. SARS-CoV-2 is thought to have originated from bat CoV. The virus enters the cell by binding to the ACE2 receptor, the affinity for which differs depending on the animal species. Infected animals show viral RNA and may show clinical symptoms. It is known that the virus originated from some animals, while others may be carriers. Moreover, it can be that wild as well as domestic and farm animals are in close contact with humans. Therefore, it is advisable to conduct a study of the degree of threat to humans associated with the persistence of the virus in animal communities.

Conclusion. There is ample literature on the possibility of infection in various animals. However, it is not enough to fully understand how significant is the role that animals can play in the spread of coronavirus infection among humans and how much harm it can bring to themselves.

Key Words

Coronaviruses, COVID-19, SARS-CoV-2, wild animals, domestic animals.

ВВЕДЕНИЕ

Коронавирусы (CoV) – семейство вирусов, которое на май 2021 года включает 43 вида РНК-содержащих вирусов (SARS-CoV, MERS-CoV, SARS-подобный CoV летучих мышей и др.), поражающих млекопитающих, включая человека, птиц и земноводных [1].

Коронавирусы широко распространены среди представителей животного мира. Описаны случаи их выявления у различных животных, среди которых есть птицы, различные представители семейства кошачьих, приматов, рептилий, копытных и многие другие.

В XXI в. SARS-CoV-2 стал третьим в истории коронавирусом, вызвавшим эпидемию среди людей. Особо важным моментом является то, что вызвавшие эпидемии вирусы, предположительно, перешли к человеку от животных. SARS-CoV-2 – одноцепочечный (+)РНК-вирус, относящийся к роду бета-коронавирусов (Betacoronavirus).

В настоящее время SARS-CoV-2 имеет широкое распространение среди людей, поэтому существует опасность того, что некоторые животные, например, домашние или сельскохозяйственные, могут оказаться восприимчивыми к вирусу и заразиться через близкий контакт с инфицированными людьми. Такая межвидовая передача SARS-CoV-2 от человека к другим млекопитающим может представлять угрозу животному миру, а также влиять на сохранение дикой природы. В связи с этим, целью исследований является анализ современных литературных данных по восприимчивости разных видов млекопитающих к вирусу SARS-CoV-2, изучение динамики инфицирования в популяциях восприимчивых видов животных, а также имеющихся мер профилактики COVID-19 у животных [1].

ОБСУЖДЕНИЕ

Существуют сообщения о возможности заражения SARS-CoV-2 кошек, собак, тигров и львов. Новая коронавирусная инфекция серьезно затронула популяцию норок, и зоонозный перенос штамма SARS-CoV-2 был подтвержден в Дании, Нидерландах, США и Испании, что свидетельствует о возможности передачи патогена от животных к человеку и от животных к животным на норковых фермах. В литературе упоминаются экспериментальные исследования, подтверждающие восприимчивость различных видов животных к SARS-CoV-2, таких как мыши, золотистые (сирийские) хомячки, кошки, хорьки, нечеловекообразные приматы и землеройки [2]. Разнообразие видов, восприимчивых к инфекции SARS-CoV-2, указывает на то, что вирус способен преодолевать межвидовой барьер [3]. Следовательно, многие животные, как дикие, так и домашние, могут быть инфицированы и выступать в качестве промежуточных хозяев для вируса SARS-CoV-2 [4; 5].

SARS-CoV-2 у диких животных

Летучие мыши. Существует множество исследований, подтверждающих, что летучие мыши являются главным природным резервуаром для

некоторых коронавирусов [6]. Возбудители SARS и MERS произошли от летучих мышей, и перешли к промежуточным хозяевам – пальмовым цветкам и верблюдам соответственно [7]. Поэтому было высказано предположение, что летучая мышь может быть потенциальным источником SARS-CoV-2. На основе секвенирования генома и эволюционного анализа было показано, что геном SARS-CoV-2 примерно на 96,2% идентичен геному SARS-подобного CoV (RaTG13) летучей мыши (*Rhinolophus affinis*) [8-11]. Это сходство предполагает возможность того, что SARS-CoV-2 возник от вирусов летучих мышей [10-13], таких как SARS-CoV и MERS-CoV [14]. Было высказано предположение, что, по крайней мере, два вида летучих мышей, *R. affinis* и *R. malaynus*, могут быть предполагаемыми естественными хозяевами вируса SARS-CoV-2 [15]. Из-за отсутствия прямого контакта между летучими мышами и людьми прямое заражение человека коронавирусом (CoV) летучими мышами встречается редко. Ранее предполагалось, что передача SARS-CoV-2 от летучих мышей человеку происходит через неизвестного промежуточного хозяина, который может облегчить его передачу человеку [10-12; 16]. Анализ геномных последовательностей CoVs показал, что SARS-CoV-2 – рекомбинантный вирус, который возник в результате рекомбинации CoV летучей мыши и другого коронавируса неизвестного происхождения [16]. Между тем, мутация в S-гликопротеине и N-белке SARS-CoV-2 отличает его от SARS-подобного CoV летучих мышей [11]. SARS-CoV-2 проникает в клетки в основном за счет связывания белка S вируса и рецептора клетки-хозяина, ангиотензин-превращающего фермента 2 (ACE2) [17; 18]. Хотя SARS-CoV-2 распознает ACE2 от различных видов животных, SARS-CoV-2 приобретает способность инфицировать людей, а также распространяться в человеческой популяции [18]. Его аффинность связывания с человеческим ACE2 выше, чем у SARS-CoV [17; 18], что предполагает возможность передачи человеку [19] и быстрого распространения этого вируса [17; 18]. С другой стороны, у экспериментально зараженных египетских плодовых летучих мышей не было никаких симптомов болезни, более того, они не заразили других летучих мышей [20]. То есть, несмотря на то, что летучие мыши были источником SARS-CoV-2, на данный момент, считается, что они не являются его природным резервуаром.

Панголин. Панголин является весьма вероятным кандидатом на роль промежуточного хозяина для SARS-CoV-2. Весь геном CoV, выделенного из малайского панголина (*Manis javanica*), очень похож на геном SARS-CoV-2 и CoV летучей мыши [21]. Но сходство между CoV панголина и SARS-CoV-2 выше, чем у CoV летучей мыши [22; 23]. Более того, у CoV панголина 5 идентичных аминокислот с SARS-CoV-2, тогда как CoV летучей мыши RaTG13 имеет только одну общую аминокислоту с SARS-CoV-2. Это позволяет предположить, что панголин может быть потенциальным промежуточным хозяином, который может опосредовать межвидовую передачу

SARS-CoV-2 [5; 24]. Кроме того, рецептор, связывающий домен (RBD) CoV панголина, был почти идентичен таковому у SARS-CoV-2 с высокой способностью связываться с человеческим ACE2, что может указывать на участие панголина в рекомбинации SARS-CoV-2 [21]. Однако филогенетический анализ подтверждает, что SARS-CoV-2 не возник непосредственно от CoV панголина [23; 24]. Таким образом, было высказано предположение, что SARS-CoV-2 возник в результате рекомбинации CoV панголина и вируса, подобного CoV летучей мыши (RaTG13).

Обезьяны. Первый известный случай естественной передачи SARS-CoV-2 человекообразным обезьянам был зафиксирован в зоопарке Сан-Диего (Калифорния) 25 января 2021 года. У некоторых горилл проявились такие симптомы, как легкий кашель, заложенность носа, выделения из носа и периодическая летаргия [25].

Также существуют данные о заражении нескольких видов нечеловекообразных приматов в рамках исследований, посвященных поиску животных моделей для изучения SARS-CoV-2. Были проведены исследования, свидетельствующие о возможности инфицирования макак-резусов [26-29] и африканских зеленых мартишек [29; 30].

В исследовании Shuaiyao Lu, Yuan Zhao et al. [28] участвовали представители макак-резусов (*Macaca mulatta*), макак-крабоедов (*Macaca fascicularis*) и обыкновенной игрунки (*Callithrix jacchus*). Вирусная РНК была обнаружена в крови и мазках из носовой полости, горла и анального отверстия всех 3 видов обезьян, однако выраженность клинических проявлений для представителей разных видов существенно отличалась. Так, представители *M. mulatta* оказались наиболее восприимчивыми к инфекции SARS-CoV-2 по сравнению с *M. fascicularis* и *C. jacchus* [28]. В исследовании Роберта В. Блэйера отмечается возникновение острого респираторного дистресс-синдрома, ассоциированного с инфицированием SARS-CoV-2, у двух зеленых африканских мартишек (*Chlorocebus aethiops sabaeus*), в отличие от четырех макак-резусов, чьи клинические проявления были значительно более мягкими [29].

Можно сделать вывод, что, несмотря на филогенетическую близость человека и приматов, сложно предсказать выраженность клинических проявлений даже у близкородственных видов, хотя вирусная РНК была обнаружена во всех случаях.

Тигры и львы. В марте 2020 года были зарегистрированы случаи заражения тигров и львов COVID-19, первые подтвержденные случаи естественного инфицирования среди видов, не являющихся домашними. Тест на SARS-CoV-2 у малайского тигра в зоопарке Бронкса, Нью-Йорк, США, является первым случаем заражения животных в США. Этот тигр был первым инфицированным тигром в мире и первым случаем передачи инфекции от человека не домашним животным [31; 32]. Позже инфекция была обнаружена у четырех тигров и трех

львов [33; 34], что указывает на восприимчивость различных видов кошек к инфекции SARS-CoV-2 [32]. Было показано, что эпидемиологические и геномные данные указывают на передачу вируса SARS-CoV-2 от человека тигру [35], также было выявлено, что тигры и львы были инфицированы разными генотипами SARS-CoV-2, что указывает на два независимых случая передачи патогена животным [19; 35]. Предполагалось, что один из тигров заразился от инфицированного бессимптомного сотрудника [3; 31; 34].

Хорьки. Хорьки оказались высоко восприимчивыми при искусственном заражении. Вирусная РНК была обнаружена в сыворотке крови, смывах из носа, слюне, моче, кале, носовых раковинах, трахее, легких, кишечнике и почках, при этом вирус обнаруживается в носовых смывах, слюне и моче до 7 дней после заражения. Вирус после заражения передавался естественным образом хорькам друг от друга воздушно-капельным путем [35]. После контакта инфицированных хорьков со здоровыми у последних через два дня обнаруживалась РНК вируса. Кроме того, у здоровых хорьков после непрямого контакта с инфицированными животными также были обнаружены вирусные РНК. По литературным данным у животных, зараженных SARS-CoV-2, наблюдалась пониженная активность, повышенная температура тела и иногда кашель [36; 37]. Также у животных были зафиксированы признаки острого бронхолита. Для хорьков инфекция не является летальной. Авторы предполагают, что хорьки могут представлять собой животную модель COVID-19, которая может способствовать разработке терапевтических средств и вакцин для вируса SARS-CoV-2 [37].

Енотовидные собаки. Фреулинг и др. в своем исследовании провели экспериментальное заражение SARS-CoV-2 девяти енотовидных собак и выявили вирусную нагрузку до 4,87 log₁₀ копий генома/мл в слизистой оболочке носа на 4 день. При вскрытии, серьезных повреждений в органах, вызванных инфекцией SARS-CoV-2, не обнаружилось. В первые 2 недели у всех инфицированных животных выявился легкий ринит. Антитела к SARS-CoV-2 обнаружены у 4 (57,1%) из 7 инфицированных животных на 8 день с помощью ELISA и непрямого иммунофлуоресцентного анализа (> 1:64). Титры увеличились до 1:1024 на 28 день. Данное экспериментальное исследование демонстрирует, что енотовидные собаки восприимчивы к инфекции SARS-CoV-2, при этом наблюдаются лишь незначительные клинические признаки и поражения тканей только в носовых раковинах [38]. По мнению авторов, инфицированные собаки способны передавать вирус контактным животным, что позволяет предположить, что енотовидные собаки могут быть потенциальным резервуаром для SARS-CoV-2 [38].

Хомяковые и скунсовые. Боско-Лаут с соавторами сообщают, что белоногие хомячки, пышнохвостые лесные хомяки и полосатые скунсы оказались

восприимчивы к вирусу SARS-CoV-2 и были заразны на протяжении 2-5 дней после инфицирования [39]. Животные в исследованиях были подвергнуты воздействию высоких доз вируса, что вряд ли возможно в естественной среде обитания. Кроме того, авторы утверждают, что экспериментальные инфекции с использованием небольшого количества, по-видимому, здоровых, иммунокомпетентных животных не дают полную характеристику по инфицированности животных данного вида, что может зависеть также от возраста и состояния здоровья животных. Однако результаты этой работы демонстрируют то, что существует возможность заражения SARS-CoV-2 у животных в дикой природе, и эта инфекция может стать эндемичной для видов, не имеющих отношения к человеку [39].

Рептилии. Анализ структурного механизма связывания рецепторов SARS-CoV-2 RBD и ACE2 показал, что черепахи (*Chrysemys picta bellii*, *Pelodiscus sinensis* и *Chelonia mydas*) и змеи могут выступать в качестве одного из потенциальных промежуточных хозяев, передающих SARS-CoV-2 в организм человека [40; 41]. Более того, эволюционный анализ и анализ предпочтения кодонов SARS-CoV-2 показали, что змеи могут быть потенциальным резервуаром диких животных для SARS-CoV-2 [9; 40]. Однако ACE2 черепахи и змеи потерял способность связываться с белком S SARS-CoV-2, поэтому эти рептилии не должны рассматриваться как потенциальные хозяева для SARS-CoV-2 [42].

SARS-CoV-2 у сельскохозяйственных животных

Норки. Норки – первые интенсивно выращиваемые виды, пострадавшие от вспышки COVID-19, что указывает на высокую восприимчивость к SARS-CoV-2 [43]. Летом 2020 года сообщалось о первых случаях заражения норки коронавирусом, затем инфекция на норковых фермах стала стремительно распространяться по всему миру. Известно о заражении норки во многих странах: в Нидерландах, Дании, Испании, США, Швеции, Италии, Греции, Франции, Литве, Канаде и Польше [44-48]. Предполагалось, что вирусная инфекция передается норкам от инфицированного работника фермы [49]. Также в июне 2020 года в Дании было выявлено 214 случаев заболевания людей COVID-19 с вариантами SARS-CoV-2, связанными с выращиваемыми норками, в том числе 12 случаев с уникальным вариантом. Было установлено, что вирус может передаваться от норки человеку и наоборот. Передача вирусов от животных человеку и наоборот всегда вызывает опасения, поскольку в процессе такой передачи могут возникать генетические изменения вируса. Чтобы предотвратить дальнейшее распространение этого и других связываемых с норками штаммов среди людей, власти Дании объявили о принятии целого ряда мер и приняли решение о выбраковке норки на более чем 289 норковых фермах и запрете на последующее их разведение [46]. По сообщению Шарун и соавторов клинические и патологоанатомические признаки при новой коронавирусной инфекции у людей и норки

достаточно схожи. Авторы подтверждают это сравнением изменений в легких. У людей альвеолярные перегородки утолщены, в легких обширный гнойный инфильтрат, что свидетельствует об остром воспалении стенок бронхов. У норки при вскрытии обнаруживаются мелкие бугорки красного цвета на поверхности легкого, на гистологическом срезе видны признаки интерстициальной пневмонии [50].

Возникают опасения по поводу распространения SARS-CoV-2 среди диких кунных, поскольку они могут стать постоянными резервуарами вируса [43].

Свиньи. В исследованиях было показано, что домашние свиньи подвержены низкому риску инфицирования SARS-CoV-2. Среди 16 экспериментально зараженных животных 5 (31,3%) продемонстрировали иммунный ответ на вирус. Лишь у одной свиньи были обнаружены вирусные частицы, у двух обнаруживали РНК вируса и еще у двух животных – антитела. У одной свиньи проявлялись легкие, неспецифические клинические признаки, включая кашель и депрессию. Кроме того, у нескольких свиней были зафиксированы глазные и носовые истечения. По мнению авторов, результаты этого исследования противоречат предыдущим сообщениям о том, что свиньи не подвержены SARS-CoV-2 инфекции [51]. Предыдущие исследования не обнаруживали РНК в мазках или образцах органов, и сероконверсия не измерялась. Следует отметить, что авторы использовали в 10 раз более высокую вирусную дозу для экспериментальной инфекции, чем использовалась в предыдущих исследованиях. В исследованиях других авторов был сделан вывод о том, что свиньи не представляют угрозы в качестве переносчиков SARS-CoV-2, так как у них не была обнаружена вирусная РНК, и не было отмечено появление нейтрализующих антител [52]. В целом эти данные свидетельствуют о том, что для оценки риска заражения свиней новой коронавирусной инфекцией следует провести дальнейшие исследования на предмет восприимчивости животных.

Крупный рогатый скот. Существует предположение, что домашние и дикие жвачные животные могут потенциально выполнять функцию промежуточных хозяев или резервуаров для коронавирусов и представлять опасность для человека [53]. В своем исследовании Ульрих с соавторами проводили экспериментальное заражение крупного рогатого скота вирусом SARS-CoV-2, однако была показана низкая восприимчивость к данной инфекции исследуемой группы животных [54].

Птицы. При экспериментальном заражении SARS-CoV-2 кур, уток, индеек, перепелов и гусей не было зафиксировано клинических признаков инфекции и не было обнаружено репликации вируса или наличие антител. Авторы утверждают, что домашняя птица не восприимчива к вирусу [36]. Стоит заметить, что до настоящего времени не было

зарегистрировано ни одного случая заболевания SARS-CoV-2 у сельскохозяйственных животных, однако этой проблеме следует уделить большее внимание [51].

SARS-CoV-2 у домашних животных

Собаки. Собаки имеют низкую восприимчивость к инфекции SARS-CoV-2 как при экспериментальном, так и при естественном заражении [55; 56]. Две домашних собаки из Гонконга и еще одна из Северной Италии были инфицированы SARS-CoV-2 из-за контакта с инфицированными SARS-CoV-2 лицами. Однако клинических проявлений заболевания у данных животных не наблюдалось [3; 19; 32; 57; 58]. У собак есть рецепторы ACE2, аналогичные человеческим ACE2 (hACE2), которые функционируют как рецепторы SARS-CoV, что повышает вероятность того, что собаки могут быть потенциальным промежуточным хозяином [19]. Хотя нет никаких доказательств того, что инфицированные собаки могут передавать вирус животным или людям [58].

По мнению И.М. Донник с соавт. собаки не задействованы в трансмиссии SARS-CoV-2 и даже возможность их носительства в качестве биологического тупика крайне маловероятна [59].

Кошки. Вирус SARS-CoV-2 поража л популяции кошек в Ухане во время вспышки COVID-19. Данный вывод был сделан на основании обнаружения антител, специфичных к SARS-CoV-2, у 15/102 (14,7%) кошек, отобранных для исследования. Антитела были обнаружены у кошек, выращенных в естественных условиях, при контакте с пациентами, инфицированными SARS-CoV-2, или загрязненной окружающей средой [60]. Позднее авторы добавили, что более высокий титр антител был обнаружен у кошек, которые жили в тесном контакте с владельцами, инфицированными SARS-CoV-2. Более того, Центры США по контролю и профилактике заболеваний (CDC) впервые объявили о заражении SARS-CoV-2 у двух домашних кошек в двух разных местах Нью-Йорка. Обе кошки были протестированы после выявления легких респираторных симптомов. Одна из них могла заразиться от своего инфицированного хозяина, а другая кошка могла заразиться либо от бессимптомных членов семьи, либо при контакте с инфицированным человеком вне дома [61; 62]. Кроме того, SARS-CoV-2 был обнаружен в кале и рвоте двух инфицированных домашних кошек, живущих с инфицированными владельцами в Бельгии и Гонконге, что указывает на активную репликацию вируса [3; 32; 63]. В этом отношении сообщалось, что SARS-CoV-2 реплицируется только в верхних дыхательных путях кошек, и это воспроизведение не было связано с тяжелым заболеванием или смертью животных [64]. Следует отметить, что более молодые кошки были более толерантны к инфекции SARS-CoV-2 [64]. Более того, кошки могут передавать инфекцию другим представителям данного вида [65]. Следовательно, домашние кошки более восприимчивы к SARS-CoV-2, чем собаки – при этом болезнь протекает в легкой

форме, и способны выделять вирус в окружающую среду [66].

По мнению И.М. Донник с соавт. инфицирование представителей семейства кошачьих новым коронавирусом возможно ввиду сходства молекулярного строения рецепторной мишени этого вируса, но только в условиях очень тесного и повторяющегося контакта с зараженным человеком, когда суммарный титр вируса, передающегося воздушно-капельным путем, достигает значений близких к полученным при экспериментальном моделировании. Авторы убеждены, что эти животные будут для этого вируса биологическим тупиком. Для обсуждения факта носительства SARS-CoV-2 и его трансмиссии кошками критически необходимо проведение полномасштабного кагорного клинического исследования, притом слепого и рандомизированного, что исключит влияние человеческого фактора на результаты. Также в этом исследовании необходимо применить методы обнаружения субгеномной РНК вируса, что с наибольшей вероятностью укажет на факт репликации SARS-CoV-2 в клетках животных [59].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на сегодняшний день новая коронавирусная инфекция COVID-19 продолжает оставаться важной и актуальной проблемой. В настоящее время нет доказательств того, что животные играют значительную роль в распространении SARS-CoV-2 среди людей. Однако данные о заражении норковых ферм в Нидерландах и Дании доказывают, что при определенных условиях существует возможность распространения SARS-CoV-2, например, от норок к людям [67]. Необходимы дополнительные исследования, чтобы понять, может ли COVID-19 затронуть разные виды животных, однако людям с подозрением на инфекцию или с подтвержденной инфекцией SARS-CoV-2 следует ограничить контакт с животными, включая домашних и сельскохозяйственных. Животных с подозрением на инфекцию или с подтвержденной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2, также рекомендуется содержать отдельно от других животных и людей [1].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/> и гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 20-04-60010 «Изучение разнообразия, циркуляции и патогенного потенциала коронавирусов в природных резервуарах на территории Западной и Восточной Сибири».

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by the RSF according to the research project № 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/> and research project of the Russian Foundation for Basic Research No. 20-04-60010 "The study of the diversity, circulation and

pathogenic potential of coronaviruses in natural reservoirs in Western and Eastern Siberia".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева А.В., Николаева О.Н. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19) у животных // Ветеринарный врач. 2021. Т. 2. С. 4-11. DOI: 10.33632/1998-698X.2021-2-4-11
2. Mahdy M.A.A., Younis W., Ewaida Z. An Overview of SARS-CoV-2 and Animal Infection // *Frontiers in Veterinary Science*. 2020. V. 7. Article ID 596391. DOI: 10.3389/fvets.2020.596391
3. Leroy E.M., Ar Gouilh M., Brugère-Picoux J. The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a one-health strategy to control the COVID-19 pandemic // *One Health*. 2020. V. 10. Article ID 100133. DOI: 10.1016/j.onehlt.2020.100133
4. Tiwari R., Dhama K., Sharun K., Iqbal Yatoo M., Malik Y.S., Singh R., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links // *Veterinary Quarterly*. 2020. V. 40. Iss. 1. P. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
5. Zhao J., Cui W., Tian B. The potential intermediate hosts for SARS-CoV-2 // *Frontiers in Microbiology*. 2020. V. 11. Article ID 580137. DOI: 10.3389/fmicb.2020.580137
6. Chakraborty C., Sharma A.R., Bhattacharya M., Sharma G., Lee S.S. The 2019 novel coronavirus disease (COVID-19) pandemic: a zoonotic prospective // *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 2020. V. 13. Iss. 6. P. 242-246. DOI: 10.4103/1995-7645.281613
7. Nadeem M.S., Zamzami M.A., Choudhry H., Murtaza B.N., Kazmi I., Ahmad H., Shakoori A.R. Origin, potential therapeutic targets and treatment for coronavirus disease (COVID-19) // *Pathogens*. 2020. V. 9. N 4. 307 p. DOI: 10.3390/pathogens9040307
8. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China 2019 // *New England Journal of Medicine*. 2020. V. 382. N 8. P. 727-733. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017
9. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV // *Journal of medical virology*. 2020. V. 92. Iss. 4. P. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
10. Zhou P., Yang X.L., Wang X.G., Hu B., Zhang L., Zhang W., et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin // *Nature*. 2020. V. 579. P. 270-273. DOI: 10.1038/s41586-020-2012-7
11. Benvenuto D., Giovanetti M., Ciccozzi A., Spoto S., Angeletti S., Ciccozzi M. The 2019-new coronavirus epidemic: evidence for virus evolution // *Journal of Medical Virology*. 2020. V. 92. P. 455-459. DOI: 10.1002/jmv.25688
12. Guo Y.R., Cao Q.D., Hong Z.S., Tan Y.Y., Chen S.D., Jin H.J., et al. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak-an update on the status // *Military Medical Research*. 2020. V. 7. 11 p. DOI: 10.1186/s40779-020-00240-0
13. Sharun K., Sircar S., Malik Y.S., Singh R.K., Dhama K. How close is SARS-CoV-2 to canine and feline coronaviruses? // *Journal of Small Animal Practice*. 2020. V. 61. P. 523-526. DOI: 10.1111/jsap.13207
14. Rabaan A.A., Al-Ahmed S.H., Haque S., Sah R., Tiwari R., Malik Y.S., et al. SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-COV: a comparative overview // *Infez Med*. 2020. V. 28. N 2. P. 174-184.
15. Gong G., Bi Y.H., Wang Q.H., Chen X.W., Zhang Z.G., Yao Y.G. Zoonotic origins of human coronavirus 2019 (HCoV-19/SARS-CoV-2): why is this work important? // *Zoological Research*. 2020. V. 41. P. 213-219. DOI: 10.24272/j.issn.2095-8137.2020.031
16. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV // *Journal of Medical Virology*. 2020. V. 92. P. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
17. Ortega J.T., Serrano M.L., Pujol F.H., Rangel H.R. Role of changes in SARS-CoV-2 spike protein in the interaction with the human ACE2 receptor: an in silico analysis // *EXCLI Journal*. 2020. V. 19. P. 410-417. DOI: 10.17179/excli2020-1167
18. Wan Y., Shang J., Graham R., Baric R.S., Li F. Receptor recognition by the novel coronavirus from Wuhan: an analysis based on decade-long structural studies of SARS coronavirus // *Journal of Virology*. 2020. V. 94. N 7. DOI: 10.1128/JVI.00127-20
19. Goumenou M., Spandidos D.A., Tsatsakis A. Possibility of transmission through dogs being a contributing factor to the extreme Covid-19 outbreak in North Italy // *Molecular Medicine Reports*. 2020. V. 21. N 6. P. 2293-2295. DOI: 10.3892/mmr.2020.11037
20. Schlottau K., Rissmann M., Graaf A., Schön J., Sehl J., Wylezich C., et al. SARS-CoV-2 in fruit bats, ferrets, pigs, and chickens: an experimental transmission study // *Lancet Microbe*. 2020. V. 1. P. E218-E225. DOI: 10.1016/S2666-5247(20)30089-6
21. Xiao K., Zhai J., Feng Y., Zhou N., Zhang X., Zou J.-J., et al. Isolation and characterization of 2019-nCoV-like coronavirus from Malayan Pangolins // *bioRxiv*. 2020. DOI: 10.1101/2020.02.17.951335
22. Zhang T., Wu Q., Zhang Z. Pangolin homology associated with 2019-nCoV // *bioRxiv*. 2020. DOI: 10.1101/2020.02.19.950253
23. Liu P., Jiang J.Z., Wan X.F., Hua Y., Li L., et al. Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)? // *PLOS Pathogens*. 2020. V. 16. N 5. e1008421. DOI: 10.1371/journal.ppat.1008421
24. Li X., Zai J., Zhao Q., Nie Q., Li Y., Foley B.T., et al. Evolutionary history, potential intermediate animal host, and cross-species analyses of SARS-CoV-2 // *Journal of Medical Virology*. 2020. V. 92. Iss. 6. P. 602-611. DOI: 10.1002/jmv.25731
25. Brennan D.S. Gorillas at San Diego Zoo Safari Park recover from COVID-19 // *Los Angeles Times*. 2021. URL: <https://www.latimes.com/california/story/2021-02-13/gorillas-san-diego-zoo-covid> (дата обращения 17.01.2022)
26. Bao L., Deng W., Gao H., Xiao Ch., et al. Reinfection could not occur in SARS-CoV-2 infected rhesus macaques // *bioRxiv*. 2020. DOI: 10.1101/2020.03.13.990226
27. Deng W., Bao L., Liu J., Xiao Ch., et al. Primary exposure to SARS-CoV-2 protects against reinfection in rhesus macaques // *Science*. 2020. V. 369. P. 818-823. DOI: 10.1126/science.abc5343
28. Lu Sh., Zhao Y., Yu W., Yang Y., et al. Comparison of SARS-CoV-2 infections among 3 species of non-human primates // *bioRxiv*. 2020. DOI: 10.1101/2020.04.08.031807
29. Blair R.V., Vaccari M., Doyle-Meyers L.A., Roy C.J., et al. Acute Respiratory Distress in Aged, SARS-CoV-2-Infected African Green Monkeys but Not Rhesus Macaques // *The American Journal of Pathology*. 2021. V. 191. P. 274-282. DOI: 10.1016/j.ajpath.2020.10.016
30. Speranza E., Williamson B.N., Feldmann F., Sturdevant G.L., Pérez- Pérez L., Meade-White K., Smith B.J., Lovaglio J., Martens C., Munster V.J., Okumura A., Shaia C., Feldmann H., Best S.M., de Wit E. Single-cell RNA sequencing reveals SARS-CoV-2 infection dynamics in lungs of African green monkeys // *Science Translational Medicine*. 2021. V. 13. Iss. 578. DOI: 10.1126/scitranslmed.abe8146

31. Rodriguez-Morales A.J., Dhama K., Sharun K., Tiwari R., Bonilla-Aldana D.K. Susceptibility of felids to coronaviruses // The Veterinary Record. 2020. V. 186. 21 p. DOI: 10.1136/vr.m1671
32. Csiszar A., Jakab F., Valencak T.G., Lanszki Z., Tóth G.E., Kemenesi G., et al. Companion animals likely do not spread COVID-19 but may get infected themselves // GeroScience. 2020. V. 42. P. 1229-1236. DOI: 10.1007/s11357-020-00248-3
33. Salajegheh Tazerji S., Magalhães Duarte P., Rahimi P., Shahabinejad F., Dhakal S., Singh Malik Y., et al. Transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) to animals: an updated review // Journal of Translational Medicine. 2020. V. 18. Article number: 358. DOI: 10.1186/s12967-020-02534-2
34. Daly N. Seven more big cats test positive for coronavirus at Bronx Zoo // Animals. Coronavirus coverage. 2020. URL: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/tiger-coronavirus-covid19-positive-test-bronx-zoo> (дата обращения: 17.01.2022)
35. McAloose D., Laverack M., Wang L., Killian M.L., Caserta L.C., et al. From People to *Panthera*: Natural SARS-CoV-2 Infection in Tigers and Lions at the Bronx Zoo // American society for microbiology. 2020. V. 11. N 5. DOI: 10.1128/mBio.02220-20
36. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 Infection of Animal Hosts // Pathogens. 2020. V. 9. N 7. 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
37. Kim Y.I., Kim S.G., Kim S.M., Kim E.H., Park S.J., Yu K.M., Chang J.H., Kim E.J., Lee S., Casel M.A.B., et al. Infection and rapid transmission of SARS-CoV-2 in ferrets // Cell Host Microbe. 2020. V. 27. P. 704-709. DOI: 10.1016/j.chom.2020.03.023
38. Freuling C.M., Breithaupt A., Müller T., Sehl J., Balkema-Buschmann A., Rissmann M., Klein A., Wylezich C., Höper D., Wernike K., Aebischer A., Hoffmann D., Friedrichs V., Dorhoi A., Groschup M.H., Beer M., Mettenleiter T.C. Susceptibility of Raccoon Dogs for Experimental SARS-CoV-2 Infection // Emerging Infectious Diseases. 2020. V. 26. N 12. P. 2982-2985. DOI: 10.3201/eid2612.203733
39. Bosco-Lauth A.M., et al. Peridomestic Mammal Susceptibility to Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Infection // Emerging Infectious Diseases. 2021. V. 27. N 8. P. 2073-2080. DOI: 10.3201/eid2708.210180
40. Liu Z., Xiao X., Wei X., Li J., Yang J., Tan H., et al. Composition and divergence of coronavirus spike proteins and host ACE2 receptors predict potential intermediate hosts of SARS-CoV-2 // Journal of Medical Virology. 2020. V. 92. P. 595-601. DOI: 10.1002/jmv.25726
41. Chen Y., Guo Y., Pan Y., Zhao Z.J. Structure analysis of the receptor binding of 2019-nCoV // Biochemical and Biophysical Research Communications. 2020. V. 525. Iss. 1. P. 135-140. DOI: 10.1016/j.bbrc.2020.02.071
42. Luan J., Jin X., Lu Y., Zhang L. SARS-CoV-2 spike protein favors ACE2 from Bovidae and Cricetidae // Journal of Medical Virology. 2020. V. 92. Iss. 9. P. 1649-1656. DOI: 10.1002/jmv.25817
43. Manes C., Gollakner R., Capua I. Could Mustelids spur COVID-19 into a panzootic? // Veterinaria Italiana. 2020. V. 56. P. 65-66. DOI: 10.12834/VetIt.2375.13627.1
44. Shaart E. 6 countries have coronavirus on mink farms // UN Health Agency. 2020. URL: <https://www.politico.eu/article/6-countries-coronavirus-mink-farm-un-health-agency/> (дата обращения: 17.01.2022)
45. Tiwari R., Dhama K., Sharun Kh., Iqbal Yatoo M., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links // Veterinary Quarterly. 2020. V. 40. N 1. P. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
46. SARS-CoV-2 mink- associated variant strain – Denmark // Word Health Organization. 2020. URL: <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON301#:~:text=On%20%20November%2C%20the%20Danish,from%20August%20to%20September%202020> (дата обращения: 17.01.2022)
47. Opriessnig T., Huang Y.W. Further information on possible animal sources for human COVID-19 // Xenotransplantation. 2020. V. 27. Iss. 6. e12651. DOI: 10.1111/xen.12651
48. Cahan E. COVID-19 hits US mink farms after ripping through Europe // Science. 2020. DOI: 10.1126/science.abe3870
49. Oreshkova N., Molenaar R.J., Vreman S., Harders F., Oude Munnink B.B., et al. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, the Netherlands, April and May 2020 // Euro Surveillance. 2020. V. 25. N 23. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.23.2001005
50. Sharun Kh., Tiwari R., Natesan S., Dhama K. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, associated zoonotic concerns, and importance of the One Health approach during the ongoing COVID-19 pandemic // Veterinary Quarterly. 2021. V. 41. N 1. 50 p. DOI: 10.1080/01652176.2020.1867776
51. Pickering B.S., Smith G., Pinette M.M., Embury-Hyatt C., Moffat E., Marszal P. Susceptibility of Domestic Swine to Experimental Infection with Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 // Emerging Infectious Diseases. 2021. V. 27. N 1. 104 p. URL: <https://dx.doi.org/10.3201/eid2701.203399> (дата обращения: 17.01.2022)
52. Meekins D.A., Morozov I., Trujillo J.D., Gaudreault N.N., Bold D., Carossino M., Artiaga B.L., Indran S.V., Kwon T., Balaraman V., Madden D.W., Feldmann H., Henningson J., Ma W., Balasuriya U.B.R., Richt J.A. Susceptibility of swine cells and domestic pigs to SARS-CoV-2 // Emerging Microbes & Infections. 2020. V. 1. P. 2278-2288. DOI: 10.1080/22221751.2020.1831405
53. Lorusso A., Calistri P., Petrini A., Savini G., Decaro N. Novel coronavirus (SARS-CoV-2) epidemic: a veterinary perspective Article // Veterinaria Italiana. 2020. V. 56. DOI: 10.12834/VetIt.2173.11599.1
54. Lorenz U. et al. Experimental Infection of Cattle with SARS-CoV-2 // Emerging Infectious Diseases. 2020. V. 26. N 12. P. 2979-2981. DOI: 10.3201/eid2612.203799
55. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2 // Science. 2020. V. 368. P. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
56. Актуальные данные МЭБ о COVID-19 у животных // Россельхознадзор. 2020. URL: <https://fsvps.gov.ru/fsvps/news/35884.html> (дата обращения: 07.02.2021)
57. Loeb J. Pet dog confirmed to have coronavirus // The Veterinary Record. 2020. V. 186. 265 p. DOI: 10.1136/vr.m892
58. Sit T.H.C., Brackman C.J., Ip S.M., Tam K.W.S., Law P.Y.T., To E.M.W., et al. Infection of dogs with SARS-CoV-2 // Nature. 2020. V. 586. P. 776-778. DOI: 10.1038/s41586-020-2334-5
59. Донник И.М., Попов И.В., Середа С.В., Попов Ил.В., Чикиндас М.Л., Ермаков А.М. Коронавирусные инфекции животных: будущие риски для человека // Известия РАН. Серия биологическая. 2021. N 1. С. 30-43. DOI: 10.31857/S0002332921010057

60. Zhang Q., Zhang H., Gao J., Huang K., Yang Y., Hui X., et al. A serological survey of SARS-CoV-2 in cat in Wuhan // *Emerging Microbes & Infections*. 2020. V. 9. P. 2013-2019. DOI: 10.1080/22221751.2020.1817796
 61. Newman A., Smith D., Ghai R.R., Wallace R.M., Torchetti M.K., Loiacono C., et al. First reported cases of SARS-CoV-2 infection in companion animals—New York, March–April 2020 // *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2020. V. 69. N23. P. 710-713. DOI: 10.15585/mmwr.mm6923e3
 62. Confirmation of COVID-19 in Two Pet Cats in New York // *Centers for Disease Control and Prevention Newsroom*. 2020. URL: <https://www.cdc.gov/media/releases/2020/s0422-covid-19-cats-NYC.html> (дата обращения: 17.01.2022)
 63. Garigliany M., Van Laere A.S., Clercx C., Giet D., Escriviou N., Huon C., et al. SARS-CoV-2 natural transmission from human to cat, Belgium, March 2020 // *Emerging Infectious Diseases*. 2020. V. 26. N 12. P. 3069-3071. DOI: 10.3201/eid2612.202223
 64. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., Huang B., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2 // *Science*. 2020. V. 368. N 6494. P. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
 65. Mallapaty S. Coronavirus can infect cats-dogs, not so much // *Nature*. 2020. DOI: 10.1038/d41586-020-00984-8
 66. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 infection of animal hosts // *Pathogens*. 2020. V. 9. N 7. 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
 67. Gautam A., Kaphle K., Shrestha B., Phuyal S. Susceptibility to SARS, MERS, and COVID-19 from animal health perspective // *Open Veterinary Journal*. 2020. V. 10. N 2. 164 p. DOI: 10.4314/ovj.v10i2.6
- REFERENCES**
1. Andreeva A.V., Nikolaeva O.N. New coronavirus infection (COVID-19) in animals. *Veterinary doctor*, 2021, vol. 2, pp. 4-11. (In Russian) DOI: 10.33632/1998-698X.2021-2-4-11
 2. Mahdy M.A.A., Younis W., Ewaida Z. An Overview of SARS-CoV-2 and Animal Infection. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, vol. 7. Article ID 596391. DOI: 10.3389/fvets.2020.596391
 3. Leroy E.M., Ar Gouilh M., Brugère-Picoux J. The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a one-health strategy to control the COVID-19 pandemic. *One Health*, 2020, vol. 10. Article ID 100133. DOI: 10.1016/j.onehlt.2020.100133
 4. Tiwari R., Dhama K., Sharun K., Iqbal Yatoo M., Malik Y.S., Singh R., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links. *Veterinary Quarterly*, 2020, vol. 40, iss. 1, pp. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
 5. Zhao J., Cui W., Tian B. The potential intermediate hosts for SARS-CoV-2. *Frontiers in Microbiology*, 2020, vol. 11, article ID 580137. DOI: 10.3389/fmicb.2020.580137
 6. Chakraborty C., Sharma A.R., Bhattacharya M., Sharma G., Lee S.S. The 2019 novel coronavirus disease (COVID-19) pandemic: a zoonotic prospective. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 2020, vol. 13, iss. 6, pp. 242-246. DOI: 10.4103/1995-7645.281613
 7. Nadeem M.S., Zamzami M.A., Choudhry H., Murtaza B.N., Kazmi I., Ahmad H., Shakoori A.R. Origin, potential therapeutic targets and treatment for coronavirus disease (COVID-19). *Pathogens*, 2020, vol. 9, no. 4, 307 p. DOI: 10.3390/pathogens9040307
 8. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China 2019. *New England Journal of Medicine*, 2020, vol. 382, no. 8, pp. 727-733. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017
 9. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV. *Journal of medical virology*, 2020, vol. 92, iss. 4, pp. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
 10. Zhou P., Yang X.L., Wang X.G., Hu B., Zhang L., Zhang W., et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 2020, vol. 579, pp. 270-273. DOI: 10.1038/s41586-020-2012-7
 11. Benvenuto D., Giovanetti M., Ciccozzi A., Spoto S., Angeletti S., Ciccozzi M. The 2019-new coronavirus epidemic: evidence for virus evolution. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, pp. 455-459. DOI: 10.1002/jmv.25688
 12. Guo Y.R., Cao Q.D., Hong Z.S., Tan Y.Y., Chen S.D., Jin H.J., et al. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak—an update on the status. *Military Medical Research*, 2020, vol. 7, 11 p. DOI: 10.1186/s40779-020-00240-0
 13. Sharun K., Sircar S., Malik Y.S., Singh R.K., Dhama K. How close is SARS-CoV-2 to canine and feline coronaviruses? *Journal of Small Animal Practice*, 2020, vol. 61, pp. 523-526. DOI: 10.1111/jsap.13207
 14. Rabaan A.A., Al-Ahmed S.H., Haque S., Sah R., Tiwari R., Malik Y.S., et al. SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-CoV: a comparative overview. *Infez Med*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 174-184.
 15. Wong G., Bi Y.H., Wang Q.H., Chen X.W., Zhang Z.G., Yao Y.G. Zoonotic origins of human coronavirus 2019 (HCoV-19/SARS-CoV-2): why is this work important? *Zoological Research*, 2020, vol. 41, pp. 213-219. DOI: 10.24272/j.issn.2095-8137.2020.031
 16. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, pp. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
 17. Ortega J.T., Serrano M.L., Pujol F.H., Rangel H.R. Role of changes in SARS-CoV-2 spike protein in the interaction with the human ACE2 receptor: an in silico analysis. *EXCLI Journal*, 2020, vol. 19, pp. 410-417. DOI: 10.17179/excli2020-1167
 18. Wan Y., Shang J., Graham R., Baric R.S., Li F. Receptor recognition by the novel coronavirus from Wuhan: an analysis based on decade-long structural studies of SARS coronavirus. *Journal of Virology*, 2020, vol. 94, no. 7. DOI: 10.1128/JVI.00127-20
 19. Goumenou M., Spandidos D.A., Tsatsakis A. Possibility of transmission through dogs being a contributing factor to the extreme Covid-19 outbreak in North Italy. *Molecular Medicine Reports*, 2020, vol. 21, no. 6, pp. 2293-2295. DOI: 10.3892/mmr.2020.11037
 20. Schlottau K., Rissmann M., Graaf A., Schön J., Sehl J., Wylezich C., et al. SARS-CoV-2 in fruit bats, ferrets, pigs, and chickens: an experimental transmission study. *Lancet Microbe*, 2020, vol. 1, pp. E218-E225. DOI: 10.1016/S2666-5247(20)30089-6
 21. Xiao K., Zhai J., Feng Y., Zhou N., Zhang X., Zou J.-J., et al. Isolation and characterization of 2019-nCoV-like coronavirus from Malayan Pangolins. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.02.17.951335
 22. Zhang T., Wu Q., Zhang Z. Pangolin homology associated with 2019-nCoV. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.02.19.950253
 23. Liu P., Jiang J.Z., Wan X.F., Hua Y., Li L., et al. Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)? *PLOS Pathogens*, 2020, vol. 16, no. 5. e1008421. DOI: 10.1371/journal.ppat.1008421

24. Li X., Zai J., Zhao Q., Nie Q., Li Y., Foley B.T., et al. Evolutionary history, potential intermediate animal host, and cross-species analyses of SARS-CoV-2. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, iss. 6, pp. 602-611. DOI: 10.1002/jmv.25731
25. Brennan D.S. Gorillas at San Diego Zoo Safari Park recover from COVID-19 // Los Angeles Times. 2021. Available at: <https://www.latimes.com/california/story/2021-02-13/gorillas-san-diego-zoo-covid> (accessed 17.01.2022)
26. Bao L., Deng W., Gao H., Xiao Ch., et al. Reinfection could not occur in SARS-CoV-2 infected rhesus macaques. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.03.13.990226
27. Deng W., Bao L., Liu J., Xiao Ch., et al. Primary exposure to SARS-CoV-2 protects against reinfection in rhesus macaques. *Science*, 2020, vol. 369, pp. 818-823. DOI: 10.1126/science.abc5343
28. Lu Sh., Zhao Y., Yu W., Yang Y., et al. Comparison of SARS-CoV-2 infections among 3 species of non-human primates. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.04.08.031807
29. Blair R.V., Vaccari M., Doyle-Meyers L.A., Roy C.J., et al. Acute Respiratory Distress in Aged, SARS-CoV-2-Infected African Green Monkeys but Not Rhesus Macaques. *The American Journal of Pathology*, 2021, vol. 191, pp. 274-282. DOI: 10.1016/j.ajpath.2020.10.016
30. Speranza E., Williamson B.N., Feldmann F., Sturdevant G.L., Pérez- Pérez L., Meade-White K., Smith B.J., Lovaglio J., Martens C., Munster V.J., Okumura A., Shaia C., Feldmann H., Best S.M., de Wit E. Single-cell RNA sequencing reveals SARS-CoV-2 infection dynamics in lungs of African green monkeys. *Science Translational Medicine*, 2021, vol. 13, iss. 578. DOI: 10.1126/scitranslmed.abe8146
31. Rodriguez-Morales A.J., Dhama K., Sharun K., Tiwari R., Bonilla-Aldana D.K. Susceptibility of felids to coronaviruses. *The Veterinary Record*, 2020, vol. 186, 21 p. DOI: 10.1136/vr.m1671
32. Csiszar A., Jakab F., Valencak T.G., Lanszki Z., Tóth G.E., Kemenesi G., et al. Companion animals likely do not spread COVID-19 but may get infected themselves. *GeroScience*, 2020, vol. 42, pp. 1229-1236. DOI: 10.1007/s11357-020-00248-3
33. Salajegheh Tazerji S., Magalhães Duarte P., Rahimi P., Shahabinejad F., Dhakal S., Singh Malik Y., et al. Transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) to animals: an updated review. *Journal of Translational Medicine*, 2020, vol. 18, article number: 358. DOI: 10.1186/s12967-020-02534-2
34. Daly N. Seven more big cats test positive for coronavirus at Bronx Zoo [Animals. Coronavirus coverage]. Available at: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/tiger-coronavirus-covid19-positive-test-bronx-zoo> (accessed 17.01.2022)
35. McAloose D., Laverack M., Wang L., Killian M.L., Caserta L.C., et al. From People to *Panthera*: Natural SARS-CoV-2 Infection in Tigers and Lions at the Bronx Zoo. *American society for microbiology*, 2020, vol. 11, no. 5. DOI: 10.1128/mBio.02220-20
36. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 Infection of Animal Hosts. *Pathogens*, 2020, vol. 9, no. 7, 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
37. Kim Y.I., Kim S.G., Kim S.M., Kim E.H., Park S.J., Yu K.M., Chang J.H., Kim E.J., Lee S., Casel M.A.B., et al. Infection and rapid transmission of SARS-CoV-2 in ferrets. *Cell Host Microbe*, 2020, vol. 27, pp. 704-709. DOI: 10.1016/j.chom.2020.03.023
38. Freuling C.M., Breithaupt A., Müller T., Sehl J., Balkema-Buschmann A., Rissmann M., Klein A., Wylezich C., Höper D., Wernike K., Aebischer A., Hoffmann D., Friedrichs V., Dorhoi A., Groschup M.H., Beer M., Mettenleiter T.C. Susceptibility of Raccoon Dogs for Experimental SARS-CoV-2 Infection. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, vol. 26, no. 12, pp. 2982-2985. DOI: 10.3201/eid2612.203733
39. Bosco-Lauth A.M., et al. Peridomestic Mammal Susceptibility to Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Infection. *Emerging Infectious Diseases*, 2021, vol. 27, no. 8, pp. 2073-2080. DOI: 10.3201/eid2708.210180
40. Liu Z., Xiao X., Wei X., Li J., Yang J., Tan H., et al. Composition and divergence of coronavirus spike proteins and host ACE2 receptors predict potential intermediate hosts of SARS-CoV-2. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, pp. 595-601. DOI: 10.1002/jmv.25726
41. Chen Y., Guo Y., Pan Y., Zhao Z.J. Structure analysis of the receptor binding of 2019-nCoV. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2020, vol. 525, iss. 1, pp. 135-140. DOI: 10.1016/j.bbrc.2020.02.071
42. Luan J., Jin X., Lu Y., Zhang L. SARS-CoV-2 spike protein favors ACE2 from Bovidae and Cricetidae. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, iss. 9, pp. 1649-1656. DOI: 10.1002/jmv.25817
43. Manes C., Gollakner R., Capua I. Could Mustelids spur COVID-19 into a panzootic? *Veterinaria Italiana*, 2020, vol. 56, pp. 65-66. DOI: 10.12834/VetIt.2375.13627.1
44. Shaart E. 6 countries have coronavirus on mink farms [UN Health Agency]. Available at: <https://www.politico.eu/article/6-countries-coronavirus-mink-farm-un-health-agency/> (accessed 17.01.2022)
45. Tiwari R., Dhama K., Sharun Kh., Iqbal Yatoo M., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links. *Veterinary Quarterly*, 2020, vol. 40, no. 1, pp. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
46. SARS-CoV-2 mink- associated variant strain – Denmark [Word Health Organization]. 2020. Available at: <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON301#:~:text=On%205%20November%2C%20the%20Danish,from%20August%20to%20September%202020> (accessed 17.01.2022)
47. Opriessnig T., Huang Y.W. Further information on possible animal sources for human COVID-19. *Xenotransplantation*, 2020, vol. 27, iss. 6, e12651. DOI: 10.1111/xen.12651
48. Cahan E. COVID-19 hits US mink farms after ripping through Europe. *Science*, 2020. DOI: 10.1126/science.abe3870
49. Oreshkova N., Molenaar R.J., Vreman S., Harders F., Oude Munnink B.B., et al. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, the Netherlands, April and May 2020. *Euro Surveillance*, 2020, vol. 25, no. 23. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.23.2001005
50. Sharun Kh., Tiwari R., Natesan S., Dhama K. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, associated zoonotic concerns, and importance of the One Health approach during the ongoing COVID-19 pandemic. *Veterinary Quarterly*, 2021, vol. 41, no. 1, 50 p. DOI: 10.1080/01652176.2020.1867776
51. Pickering B.S., Smith G., Pinette M.M., Embury-Hyatt C., Moffat E., Marszal P. [Susceptibility of Domestic Swine to Experimental Infection with Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2]. *Emerging Infectious Diseases*, 2021, vol. 27, no. 1, 4 p. Available at: <https://dx.doi.org/10.3201/eid2701.203399> (accessed 17.01.2022)
52. Meekins D.A., Morozov I., Trujillo J.D., Gaudreault N.N., Bold D., Carossino M., Artiaga B.L., Indran S.V., Kwon T., Balaraman V., Madden D.W., Feldmann H., Henningson J., Ma W., Balasuriya U.B.R., Richt J.A. Susceptibility of swine

- cells and domestic pigs to SARS-CoV-2. *Emerging Microbes & Infections*, 2020, vol. 1, pp. 2278-2288. DOI: 10.1080/22221751.2020.1831405
53. Lorusso A., Calistri P., Petrini A., Savini G., Decaro N. Novel coronavirus (SARS-CoV-2) epidemic: a veterinary perspective Article. *Veterinaria Italiana*, 2020, vol. 56. DOI: 10.12834/VetIt.2173.11599.1
54. Lorenz U. et al. Experimental Infection of Cattle with SARS-CoV-2. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, vol. 26, no. 12, pp. 2979-2981. DOI: 10.3201/eid2612.203799
55. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2. *Science*, 2020, vol. 368, pp. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
56. Aktual'nye dannye MJeB o COVID-19 u zhivotnyh [Actual Office International des Epizooties' data on COVID-19 in animals]. Available at: <https://fsvps.gov.ru/fsvps/news/35884.html> (accessed 07.02.2021)
57. Loeb J. Pet dog confirmed to have coronavirus. *The Veterinary Record*, 2020, vol. 186, 265 p. DOI: 10.1136/vr.m892
58. Sit T.H.C., Brackman C.J., Ip S.M., Tam K.W.S., Law P.Y.T., To E.M.W., et al. Infection of dogs with SARS-CoV-2. *Nature*, 2020, vol. 586, pp. 776-778. DOI: 10.1038/s41586-020-2334-5
59. Donnik I.M., Popov I.V., Sereda S.V., Popov I.I.V., Chikindas M.L., Ermakov A.M. Coronavirus infections in animals: future risks for humans. *The Russian Academy of Sciences News. Biological series*, 2021, no. 1, pp. 30-43. (In Russian) DOI: 10.31857/S0002332921010057
60. Zhang Q., Zhang H., Gao J., Huang K., Yang Y., Hui X., et al. A serological survey of SARS-CoV-2 in cat in Wuhan. *Emerging Microbes & Infections*, 2020, vol. 9, pp. 2013-2019. DOI: 10.1080/22221751.2020.1817796
61. Newman A., Smith D., Ghai R.R., Wallace R.M., Torchetti M.K., Loiacono C., et al. First reported cases of SARS-CoV-2 infection in companion animals - New York, March-April 2020. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2020, vol. 69, no. 23, pp. 710-713. DOI: 10.15585/mmwr.mm6923e3
62. Confirmation of COVID-19 in Two Pet Cats in New York [Centers for Disease Control and Prevention Newsroom]. Available at: <https://www.cdc.gov/media/releases/2020/s0422-covid-19-cats-NYC.html> (accessed 17.01.2022)
63. Garigliani M., Van Laere A.S., Clercx C., Giet D., Escriviou N., Huon C., et al. SARS-CoV-2 natural transmission from human to cat, Belgium, March 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, vol. 26, no. 12, pp. 3069-3071. DOI: 10.3201/eid2612.202223
64. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., Huang B., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2. *Science*, 2020, vol. 368, no. 6494, pp. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
65. Mallapaty S. Coronavirus can infect cats—dogs, not so much. *Nature*, 2020. DOI: 10.1038/d41586-020-00984-8
66. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 infection of animal hosts. *Pathogens*, 2020, vol. 9, no. 7, 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
67. Gautam A., Kaphle K., Shrestha B., Phuyal S. Susceptibility to SARS, MERS, and COVID-19 from animal health perspective. *Open Veterinary Journal*, 2020, vol. 10, no. 2, 164 p. DOI: 10.4314/ovj.v10i2.6

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Марина С. Федотова провела поиск литературы, проанализировала литературные данные. Анастасия Ю. Филиппова и Магомедсайд А. Омаров провели поиск литературы, подготовили печатный материал. Ксения С. Юрченко упорядочила материал. Марина А. Гуляева разработала концепцию статьи, отредактировала рукопись до подачи в редакцию. 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

Marina S. Fedotova undertook literature search and analysis of literature data. Anastasia Yu. Filippova and Magomedsaid A. Omarov undertook literature search and the preparation of material. Ksenia S. Yurchenko organised the data. Marina A. Gulyaeva developed the concept of the article and corrected the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Марина С. Федотова / Marina S. Fedotova <https://orcid.org/0000-0002-5364-9159>
 Анастасия Ю. Филиппова / Anastasia Yu. Filippova <https://orcid.org/0000-0002-7403-3089>
 Магомедсайд А. Омаров / Magomedsaid A. Omarov <https://orcid.org/0000-0003-3624-7542>
 Ксения С. Юрченко / Ksenia S. Yurchenko <https://orcid.org/0000-0002-0679-8493>
 Марина А. Гуляева / Marina A. Gulyaeva <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

Оригинальная статья / Original article
УДК 597.553.2 [574.3, 574.36]
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-17-23

Соотношение длина-вес у байкальского омуля *Coregonus migratorius* в нагульный период в районе Селенгинского мелководья озера Байкал

Павел Н. Аношко¹, Михаил М. Макаров¹, Джамиля А. Устарбекова², Елена В. Дзюба¹

¹ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Михаил М. Макаров, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий, Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук; 664009 Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278.
Тел. +7(3952)423299
Email mmmsoft@hlsrserver.lin.irk.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1758-4458>

Формат цитирования

Аношко П.Н., Макаров М.М., Устарбекова Д.А., Дзюба Е.В. Соотношение длина-вес у байкальского омуля *Coregonus migratorius* в нагульный период в районе Селенгинского мелководья озера Байкал // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 17-23.
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-17-23

Получена 6 августа 2021 г.
Прошла рецензирование 25 октября 2021 г.
Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель – уточнение коэффициентов LWR для байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775).

Материал и методы. Исходные данные (количество рыб, стандартная длина (SL), вес (W), пол и морфо-экологическая группа (МЭГ) для исследования коэффициентов LWR были взяты из базы данных «Байкальский омуль». В анализ включены данные 3091 экз. байкальского омуля, отловленного с мая по июнь 2003, 2006 и 2007 гг. и в сентябре 2004 г. в районе прилегающему к дельте р. Селенга. Построение регрессионных моделей LWR проводили для всех данных без учета пола и МЭГ. Кроме этого, были получены регрессионные модели LWR данных сгруппированных по полу и принадлежности к определенной МЭГ.

Результаты. Получены зависимости с близкими значениями коэффициентов степенной функции. Существенных различий между рыбами разного пола и МЭГ выявлено не было, коэффициенты различались на уровне статистической погрешности. Показано, что LWR у рыб в нагульные периоды разных лет достаточно стабильно.

Заключение. Предложено уравнение $W=10,9(SL_{dm})^{3,02}$ с приемлемыми коэффициентами для ресурсных исследований байкальского омуля в нагульный период без проведения контрольных ловов.

Ключевые слова

Coregonus migratorius, соотношение длина-вес, оценка запасов, управление рыболовством, озеро Байкал.

Length-weight relationships of Baikal omul *Coregonus migratorius* during the feeding season in the Selenga area, Russia

Pavel N. Anoshko¹, Mikhail M. Makarov¹, Dzhamilya A. Ustarbekova² and Elena V. Dzyuba¹

¹Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

²Precaspian Institute of biological Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Mikhail M. Makarov, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Interdisciplinary Environmental-Economic Research and Technology, Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 3, PO box 278, Ulan-Bator St, Irkutsk, Russia 664009.

Tel. +7(3952)423299

Email mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1758-4458>

How to cite this article

Anoshko P.N., Makarov M.M., Ustarbekova D.A., Dzyuba E.V. Length-weight relationships of Baikal omul *Coregonus migratorius* during the feeding season in the Selenga area, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 17-23. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-17-23

Received 6 August 2021

Revised 25 October 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. To refine the *LWR* coefficients for the Baikal omul *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775).

Material and Methods. The data set (number of fish, standard length (*SL*), weight (*W*), sex and morpho-ecological group (MEG) for the study of the *LWR* coefficients were taken from the Baikal Omul database. The analysis includes data from 3,091 specimens of Baikal omul, collected in May to June 2003, 2006 and 2007 and in September 2004 in the area adjacent to the delta of the Selenga River. The construction of regression models of *LWR* was carried out for all data without taking into account gender and MEG. In addition, regression models of *LWR* data were obtained, grouped by gender and belonging to a certain MEG.

Results. Dependencies with close values of the coefficients of the power function are obtained. There were no significant differences between fish of different sexes and MEG, the coefficients differing at the level of statistical error. It is shown that the *LWR* in fish during feeding periods of different years is quite stable.

Conclusion. We offer the equation $W=10.9(L_{dm})^{3.02}$ that has acceptable coefficients for *C. migratorius* resource estimations during feeding period without carrying out controlled fishing.

Key Words

Coregonus migratorius, length, weight, fisheries management, length-weight relationships, Lake Baikal.

ВВЕДЕНИЕ

Coregonus migratorius (Georgi, 1775) – эндемик озера Байкал, популяции которого размножаются в разных реках и подразделяются на три морфо-экологические группы (МЭГ): прибрежную, пелагическую и придонно-глубоководную [1; 2]. Нагул всех морфо-экологических групп осуществляется на акватории более 30 тыс. км² в эпи- и мезопелагиали до глубин 400 м. Несмотря на то, что различные группировки байкальского омуля в нагульный период реализуют разные модели поведения [1; 3; 4], общая динамика его скоплений во многом определяется особенностями прогрева прибрежных и поверхностных вод в весенне-летний период и последующим осенним остыванием. Байкальский омуль составляет основу промысловой добычи, которая является важной составляющей хозяйственной деятельности населения, проживающего на берегах озера. Одним из основных мест промысла является Селенгинский район (рис. 1), в котором по данным гидроакустических оценок в нагульный период концентрируется значительная часть байкальского омуля [3; 5]. Наблюдаемое в настоящее время снижение запасов байкальского омуля совпадает с общим трендом снижения запасов сиговых рыб в водоемах Сибири [6]. Однако особенности биологии этого вида не позволяют эффективно использовать общепринятые меры по рациональному использованию его запасов.

Для оценки промысловых запасов байкальского омуля в течение длительного времени применялись гидроакустические методы [3; 5].

Однако эти исследования, выполненные в разное время с применением различной техники и методических подходов, до настоящего времени не позволили провести анализ многолетних изменений запасов и структурных особенностей скоплений байкальского омуля.

Современный уровень исследований с применением гидроакустической техники позволяет с высокой точностью оценивать численность, а также биомассу рыб при условии наличия и использования для расчетов уравнения зависимости силы эха (TS). Уточнению зависимости TS от длины байкальского омуля посвящен целый ряд работ [7-9]. Однако значительный вклад в погрешность оценок запасов рыб может вносить и определение соотношения длина-вес (the length–weight relationship (LWR)). LWR используется при восстановлении веса рыб из данных по их длине для последующей оценки биомассы. Полученные ранее LWR для байкальского омуля значительно отличались по коэффициентам [3]. Вероятной причиной расхождений было указано сезонное изменение LWR связанное с периодом летнего нагула. На LWR влияет множество факторов, таких как стадии зрелости гонад, доступность пищи, среда обитания и размер выборки, а также различия в наблюдаемом диапазоне длин рыб [10-17].

В условиях депрессии численности популяции байкальского омуля особенно актуальной становится возможность выполнения ресурсных исследований в оз. Байкал без проведения контрольных ловов. Цель исследования – уточнение коэффициентов LWR для байкальского омуля.

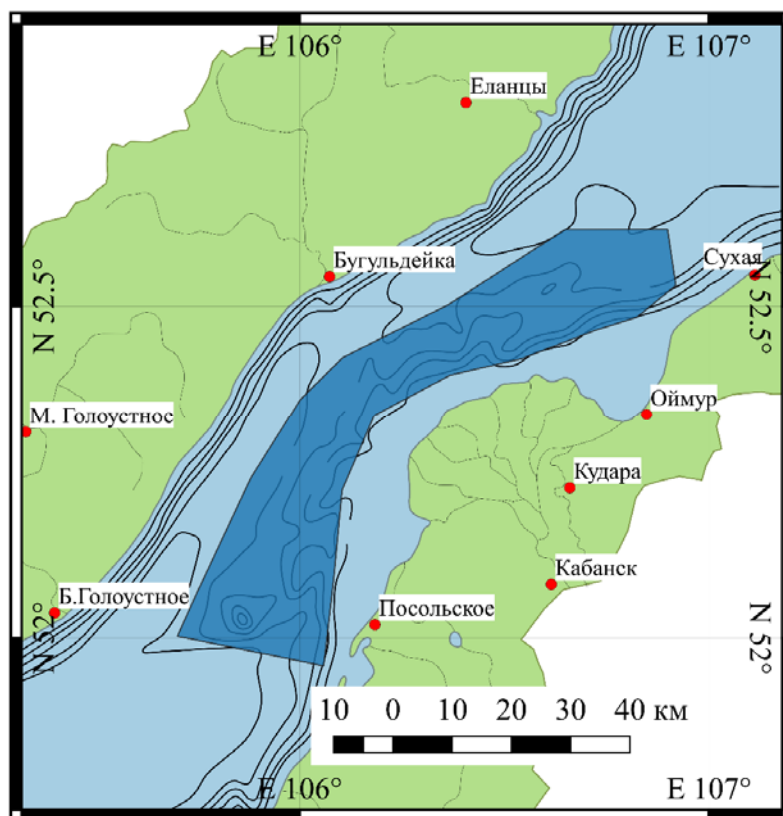


Рисунок 1. Район исследования в оз. Байкал

Figure 1. Study area in Lake Baikal

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходные данные (количество рыб, стандартная длина (SL), вес (W), пол и МЭГ) для исследования коэффициентов LWR были взяты из базы данных «Байкальский омуль» [3; 18]. В анализ включены данные 3091 экз. байкальского омуля, отловленного с мая по июнь 2003, 2006 и 2007 гг. и в сентябре 2004 г. в районе прилегающему к дельте р. Селенга (рис. 1). Построение регрессионных моделей LWR проводили для всех данных без учета пола и морфо-экологические группы. Кроме этого, были получены регрессионные модели LWR данных сгруппированных по полу и принадлежности к определенной МЭГ.

В работе R. Froese [12] подробно рассмотрены возможности использования степенного уравнения определяющего соотношение длины и веса, а также сформулированы рекомендации для корректной интерпретации данных. Для байкальского омуля традиционно используется уравнение LWR типа $W=aL^b$ или $\log(W)=b*\log(L)+\log(a)$, где W вес рыбы в граммах, а L длина рыбы в сантиметрах (в данной работе использована стандартная длина (SL) – длина до основания хвостового плавника). Принимая во внимание то, что W определяется объемом и плотностью тела, то коэффициент степени (b) должен быть близким к 3. Отклонения в коэффициенте степени обусловлены изменениями в пропорциях тела по мере роста рыб.

Коэффициент a зависит от единиц измерения длины рыб. Его величина соответствует весу рыб единичной длины. С учетом того, что регрессионные модели служат задачам интерполяции, для рыб длиной менее 10 см задача становится некорректной. С позиций возможности интерпретации и сравнения, мы считаем предпочтительным использовать коэффициент $a_{dm}=a_{sm}*10^b$ (где: a_{dm} – длина рыбы в дм, a_{sm} – длина рыбы в см) соответствующий весу рыб длиной 10 см. Важным свойством коэффициента a является его зависимость от величины b , то для LWR при $a = \frac{W}{L^b}$, что необходимо учитывать при проведении сравнительного анализа. Обработка материалов осуществлялась с применением алгоритмов системы для статистических вычислений R [19].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Диапазон длин исследованных рыб составил 0,86–3,73 дм, вес 7,0–808,0 г. В результате расчета LWR были получены близкие по значению коэффициенты. Существенных различий по LWR между рыбами разных МЭГ выявлено не было, коэффициенты уравнений различались на уровне статистической погрешности (таблица). Поскольку учетные работы традиционно проводились в весенний период (после зимовки, перед началом нагула), в нашем анализе были представлены рыбы с незрелыми гонадами. Для выборки 2007 г. были рассчитаны собственные значения коэффициентов: $a_{dm}=9,4$ и $b=3,15$, которые отличались больше остальных от коэффициентов, полученных по совокупности всех выборок. Данные отличия связаны с представительностью выборки – относительно высокой долей крупных особей.

Все регрессионные модели показали высокий коэффициент детерминации $r^2>0,98$, т.е. вес байкальского омуля более чем на 98% определялся его длиной. Коэффициенты варьировали в следующих диапазонах: $a_{dm} - 9,4-11,3$ и $b - 2,97-3,15$. Уравнение LWR байкальского омуля показывает близкие к классическим значения коэффициентов для рыб с веретенообразной формой тела. Незначительная положительная аллометрия относительно SL^3 близка к медианному значению $b=3,03$ по данным метаанализа LWR [12].

Полученные ранее LWR [3; 8] значительно отличаются от приведенных в данной работе завышенными значениями коэффициента $b - 3,04-3,47$. Было отмечено [3] вероятное изменение LWR осенью, после периода летнего нагула, в сравнении с рыбами, выловленными в весенний период. Доля нерестового стада байкальского омуля в озере составляет менее 5% численности популяции. В осенний период все нерестовые особи покидают зоны нагула и мигрируют в реки, где расположены нерестилища. Соответственно в составе нагульного стада не могут находиться рыбы со зрелыми гонадами, присутствие которых может повлиять на значение коэффициентов. Наш расчет LWR показал, что выборка рыб 2004 г. практически не отличалась от рыб, выловленных в весенний период.

Проведен анализ невязок относительно полученных LWR (рис. 2), где данные по длине рыб были округлены до 1 см. Смещение невязок в отрицательную область связано с преобладанием в выборках особей с большей длиной тела и меньшим весом, и, как следствие, с низким индексом Фултона (W/L^3) (Fulton's index), а в положительную, соответственно, с преобладанием особей с меньшей длиной тела и большим весом, то есть с высоким индексом Фултона. В результате данного анализа выявлено смещение невязок из положительной области для меньших по размеру особей в отрицательную у средних и в положительную – у крупных (выборка 2003 г.). Следовательно, полученное LWR не вполне корректно описывает изменчивость данного соотношения. Более точно описать LWR выборки 2003 года при равномерном изменении коэффициента b с увеличением размеров особей) позволяет предложенное ранее уравнение зависимости $W=aL^b=aL^{d+cl}$ с гиперпараметрами d и c [20]. Следует отметить, что это отдельный случай, так как для остальных выборок данная тенденция не была выявлена.

Существенных различий по LWR между самцами и самками также не установлено: коэффициенты различались на уровне статистической погрешности (таблица).

Байкальский омуль обитает в относительно стабильных условиях олиготрофного водоема, продолжительность жизни некоторых особей превышает 15 лет. Значительных различий в темпах роста разных поколений, а также LWR рыб в нагульный период не выявлено. Следовательно, при определении запасов этого вида в Байкале с использованием гидроакустических методов полученное нами уравнение $W=10,9(SL_{dm})^{3,02}$, обобщающее все выборки, может быть использовано без проведения контрольных ловов.

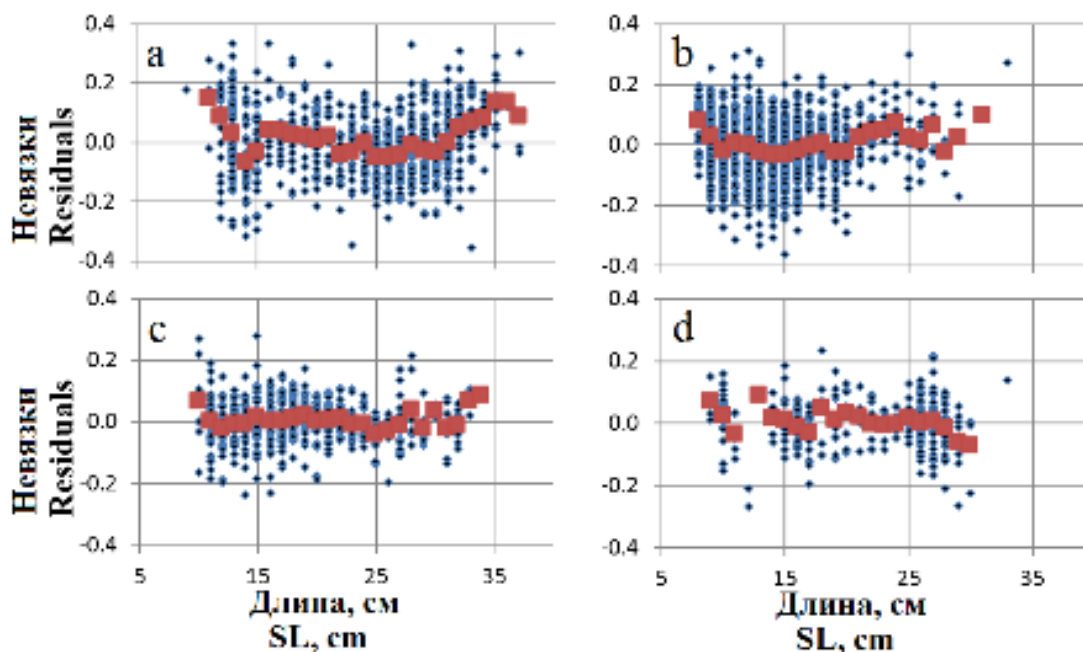


Рисунок 2. Невязки регрессионных моделей, а – 2003, б – 2004, с – 2006, д – 2007

■ – усредненные значения невязок по сантиметровым интервалам

Figure 2. Residuals of regression models, a – 2003, b – 2004, c – 2006, d – 2007

■ – average values of the residuals by intervals

Таблица. Оценка соотношения длина-вес для байкальского омуля

Table. Length-weight relationship estimations of *C. migratorius*

Выборки Data set	n	SL, dm		W, g		a_{dm}	b	r^2
		min	max	min	max			
30.05.-09.06.2003	772	0,86	3,73	7,9	808,0	10,5	3,07	0,987
04.10.-07.10.2004	1416	0,97	3,35	8,3	446,0	11,1	3,04	0,985
28.05.-01.06.2006	595	0,75	3,25	5,1	525,5	10,4	3,04	0,994
27.05.-01.06.2007	308	0,87	3,25	6,6	442,5	9,4	3,14	0,995
Самцы / Male	1138	0,86	3,67	7,4	590,0	10,6	3,07	0,989
Самки / Female	1240	0,94	3,73	7,8	808,0	10,8	3,04	0,990
Пелагическая МЭГ Pelagic morpho-ecological group (MEG)	859	0,91	35,0	7,0	528,0	10,6	3,00	0,993
Прибрежная МЭГ Coastal MEG	971	0,91	32,7	7,2	402,0	11,3	2,97	0,991
Придонно-глубоководная МЭГ Benthic-deepwater MEG	1122	0,86	37,3	6,6	808,0	10,8	3,10	0,990
Все / All	3091	0,75	37,3	5,1	808,0	10,9	3,02	0,988

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ресурсные гидроакустические исследования, как правило, сопровождаются контрольными ловами рыб для определения LWR и последующей оценки их биомассы. В условиях депрессии численности популяции байкальского омуля существует необходимость выполнения этих исследований без проведения контрольных ловов.

Анализ коэффициентов LWR для выборок разных лет из Селенгинского района оз. Байкал показал отсутствие существенных различий между рыбами разного пола и морфо-экологических групп: коэффициенты различались на уровне статистической погрешности. Кроме этого, выборка рыб, взятая в

осенний период, не отличалась от рыб, выловленных в весенний период. Таким образом, для нагульной части популяции байкальского омуля, нами предлагается использовать зависимость с приемлимыми коэффициентами $W=10,9(SL_{dm})^{3,02}$ без проведения контрольных ловов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания тем №№ 0279-2019-0003, 0279-2021-0005.

ACKNOWLEDGMENT

The work was conducted within the framework of State Project No. 0279-2019-0003, 0279-2021-0005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов В.В., Шумилов И.П. Омули Байкала. Новосибирск: Наука, 1974. 160 с.
2. Smirnov V.V., Smirnova-Zalumi N.S., Sukhanova L.V. Fishery management of omul (*Coregonus autumnalis migratorius*) as part of the conservation of ichthyofauna diversity in Lake Baikal // Polish Journal of Natural Sciences. 2012. V. 27. N 2. P. 203-214.
3. Мельник Н.Г., Смирнова-Залуми Н.С., Смирнов В.В., Мамонтов А.М., Аношко П.Н., Агафонников В.А., Астафьев С.Э., Бондаренко В.М., Варнавский А.В., Гончаров С.М., Гранин Н.Г., Дзюба Е.В., Дегтев А.И., Дегтярев В.А., Кучер К.М., Коцарь О.В., Макаров М.М., Мизюркин М.А., Небесных И.Н., Попов С.Б., Раскин А.С., Смирнова О.Г., Смолин И.А., Соколов А.В., Сорокочиков А.В., Теслер В.Д., Тягун М.Л., Толстикова Л.И., Ханаев И.В., Ченский А.Г., Шерстянкин П.П., Яхненко В.М., Якуп М.А., Рудстам Л., Гийар Ж., Кудрявцев В.И. Гидроакустический учет ресурсов байкальского омуля. Новосибирск: Наука, 2009. 244 с.
4. Anoshko P.N., Makarov M.M., Smolin I.N., Dzyuba E.V. The results of the first hydroacoustic studies of the winter distribution of *Coregonus migratorius* in Lake Baikal // Limnology and Freshwater Biology. 2019. V. 3. P. 232-235. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-3-232
5. Makarov M.M., Degtev A.I., Kucher K.M., Mamontov A.M., Nebesnykh I.A., Khanaev I.V., Dzyuba E.V. Estimation of the abundance and biomass of the Baikalian omul by means of trawl-acoustic survey. *Doklady Biological Sciences*, 2012, vol. 447, pp. 363-366. DOI: 10.1134/S0012496612060051
6. Interesova E.A., Rakhmanova L.Y., Kolesnichenko L.G. There are no fish here: public perception of fish stock dynamics // Limnology and Freshwater Biology. 2020. N 4. P. 665-666. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-665
7. Гончаров С.М., Попов С.Б., Бондаренко В.М., Мельник Н.Г., Смирнова Н.С., Ханаев И.В. Измерение силы цели байкальского омуля для повышения точности его запаса в озере Байкал // Рыбное хозяйство. 2008. N 3. С. 88-91.
8. Макаров М.М., Дегтев А.И., Ханаев И.В., Кучер К.М., Смолин И.Н., Небесных И.А., Аношко П.Н., Дзюба Е.В. Экспериментальные исследования по измерению силы цели байкальского омуля на частоте 200 кГц // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. N 2. С. 142-146. DOI: 10.17513/mjprfi.12124
9. Аношко П.Н., Макаров М.М., Попов С.Б., Дегтев А.И., Деникина Н.Н., Дзюба Е.В. Оценка коэффициентов уравнения акустической силы цели на основе морфологии плавательного пузыря байкальского омуля // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 1. С. 89-98. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-89-98
10. Bagenal T.B., Tesch F.W. Age and growth // Methods for assessment of fish production in fresh waters. Oxford: Blackwell Science Publications, 1978. 365 p.
11. Dulčić J., Glamuzina B. Length–weight relationships for selected fish species from three eastern Adriatic estuarine systems (Croatia) // Journal of Applied Ichthyology. 2006. V. 22. Iss. 4. P. 254-256. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00633.x
12. Froese R. Cube law, condition factor and weight–length relationship: history, meta-analysis and recommendations // Journal of Applied Ichthyology. 2006. V. 22. Iss. 4. P. 241-253. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x
13. Hasankhani M., Keivany Y., Raeisi H., Pouladi M., Soofiani N.M. Length–weight relationships of three cyprinid fishes from Sirwan River, Kurdistan and Kermanshah provinces in western Iran // Journal of Applied Ichthyology. 2013. V. 29. Iss. 5. P. 1170-1171. DOI: 10.1111/jai.12139
14. Keivany Y., Zamani-Faradonbe M. Length–weight and length–length relationships for eight fish species from the Jarrahi River, southwestern Iran // Journal of Applied Ichthyology. 2017. V. 33. Iss. 4. P. 864-866. DOI: 10.1111/jai.13396
15. Jisr N., Younes G., Sukhn C., El-Dakdouki M.H. Length–weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon // The Egyptian Journal of Aquatic Research. 2018. V. 44. Iss. 4. P. 299-305. DOI: 10.1016/j.ejar.2018.11.004
16. Galvão da Silva L.C., Furtado da Silva A.F., Costa Rodrigues E.L., de Abreu Trindade P.A., Giarrizzo T., Costa Andrade M. New length-weight and length-length relationships of the fish fauna from the Xingu River, Amazon Basin, Brazil // Journal of Applied Ichthyology. 2020. V. 36. P. 251-255. DOI: 10.1111/jai.14011
17. Zhu X., Mi Q. Length-weight and length-length relationships of three fish species from the Qingshui River in Guizhou province, Southwest China // Journal of Applied Ichthyology. 2021. V. 37. P. 158-159. DOI: 10.1111/jai.14096
18. Дзюба Е.В., Коцарь О.В., Мельник Н.Г., Смирнова Н.С., Тягун М.Л., Толстикова Л.И. Свидетельство об официальной регистрации базы данных N 2008620116 РОСПАТЕНТ РФ. Морфо-биологические характеристики байкальского омуля (БД «Байкальский омуль»). Правообладатель: Лимнологический институт СО РАН. Заявка N 2008620009. Дата регистрации 04.03.2008 г. 2008.
19. R Core Team 2020. R: A Language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed 06.08.2021)
20. Сорокина П.Г., Аношко П.Н., Зоркальцев В.И. Исследование зависимости массы от длины байкальского омуля // Вестник ИРГСА. 2021. Вып. 102. P. 84-99. DOI: 10.51215/1999-765-2021-102-84-99

REFERENCES

1. Smirnov V.V., Shumilov I.P. *Omuli Baikala* [Omuls of the Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, 160 p. (In Russian)
2. Smirnov V.V., Smirnova-Zalumi N.S., Sukhanova L.V. Fishery management of omul (*Coregonus autumnalis migratorius*) as part of the conservation of ichthyofauna diversity in Lake Baikal. Polish Journal of Natural Sciences, 2012, vol. 27, no. 2, pp. 203-214.
3. Melnik N.G., Smirnova-Zalumi N.S., Smirnov V.V., Mamontov A.M., Anoshko P.N., Agafonnikov V.A., Astafiev S.E., Bondarenko V.M., Varnavsky A.V., Goncharov S.M., Granin N.G., Dzyuba E.V., Degtev A.I., Degtyarev V.A., Kucher K.M., Kotsar O.V., Makarov M.M., Mizyurkin M.A., Nebesnykh I.N., Popov S.B., Raskin A.S., Smirnova O.G., Smolin I.A., Sokolov A.V., Sorokovikov A.V., Tesler V.D., Tyagun M.L., Tolstikova L.I., Khanaev I.V., Chensky A.G., Sherstyankin P.P., Yakhnenko V.M., Yakup M.A., Rudstam L., Gillard J., Kudryavtsev V.I. *Gidroakusticheskiy uchet resursov baikal'skogo omulya* [Hydroacoustic surveys of Baikal omul]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2009, 244 p. (In Russian)
4. Anoshko P.N., Makarov M.M., Smolin I.N., Dzyuba E.V. The results of the first hydroacoustic studies of the winter distribution of *Coregonus migratorius* in Lake Baikal. *Limnology and Freshwater Biology*, 2019, vol. 3, pp. 232-235. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-3-232
5. Makarov M.M., Degtev A.I., Kucher K.M., Mamontov A.M., Nebesnykh I.A., Khanaev I.V., Dzyuba E.V. Estimation of the

- abundance and biomass of the Baikalian omul by means of trawl-acoustic survey. *Doklady Biological Sciences*, 2012, vol. 447, pp. 363-366. DOI: 10.1134/S0012496612060051
6. Interesova E.A., Rakhmanova L.Y., Kolesnichenko L.G. There are no fish here: public perception of fish stock dynamics. *Limnology and Freshwater Biology*, 2020, no. 4, pp. 665-666. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-665
7. Goncharov S.M., Popov S.B., Bondarenko V.M., Melnik N.G., Smirnova N.S., Khanaev I.V. Baikal omul target strength measurement to increase the accuracy of its stock in Lake Baikal. *Rybnoye khozyaystvo [Fisheries]*. 2008, no. 3, pp. 88-91. (In Russian)
8. Makarov M.M., Degtev A.I., Khanaev I.V., Kucher K.M., Smolin I.N., Nebesnykh I.A., Anoshko P.N., Dzyuba E.V. Experimental studies for measuring the target strength of the baikalian omul at the frequency of 200 Khz. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2018, no. 2, pp. 142-146. (In Russian) DOI: 10.17513/mjpf.12124
9. Anoshko P.N., Makarov M.M., Popov S.B., Degtev A.I., Denikina N.N., Dzyuba E.V. Estimation of the coefficients of the equation of acoustic target strength based on the morphology of *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) swim bladder. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 89-98. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-89-98
10. Bagenal T.B., Tesch F.W. Age and growth. Methods for assessment of fish production in fresh waters. Oxford, Blackwell Science Publications, 1978, 365 p.
11. Dulčić J., Glamuzina B. Length–weight relationships for selected fish species from three eastern Adriatic estuarine systems (Croatia). *Journal of Applied Ichthyology*, 2006, vol. 22, iss. 4, pp. 254-256. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00633.x
12. Froese R. Cube law, condition factor and weight–length relationship: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 2006, vol. 22, iss. 4, pp. 241-253. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x
13. Hasankhani M., Keivany Y., Raeisi H., Pouladi M., Soofiani N.M. Length–weight relationships of three cyprinid fishes from Sirwan River, Kurdistan and Kermanshah provinces in western Iran. *Journal of Applied Ichthyology*, 2013, vol. 29, iss. 5, pp. 1170-1171. DOI: 10.1111/jai.12139
14. Keivany Y., Zamani-Faradonbe M. Length–weight and length–length relationships for eight fish species from the Jarrahi River, southwestern Iran. *Journal of Applied Ichthyology*, 2017, vol. 33, iss. 4, pp. 864-866. DOI: 10.1111/jai.13396
15. Jisr N., Younes G., Sukhn C., El-Dakdouki M.H. Length–weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2018, vol. 44, iss. 4, pp. 299-305. DOI: 10.1016/j.ejar.2018.11.004
16. Galvão da Silva L.C., Furtado da Silva A.F., Costa Rodrigues E.L., de Abreu Trindade P.A., Giarrizzo T., Costa Andrade M. New length-weight and length-length relationships of the fish fauna from the Xingu River, Amazon Basin, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 2020, vol. 36, pp. 251-255. DOI: 10.1111/jai.14011
17. Zhu X., Mi Q. Length-weight and length-length relationships of three fish species from the Qingshui River in Guizhou province, Southwest China. *Journal of Applied Ichthyology*, 2021, vol. 37, pp. 158-159. DOI: 10.1111/jai.14096
18. Dzyuba E.V., Kotsar O.V., Melnik N.G., Smirnova N.S., Tyagun M.L., Tolstikova L.I. Certificate of database registration 2008620116 ROSPATENT RF. *Morfo-biologicheskie kharakteristiki baikal'skogo omulya (BD «Baikal'skii omul»)* [Morphological and biological characteristics of Baikal omul ("Baikal omul" database)]. Right holder, Limnological Institute, SB RAS. Application 2008620009. Registration Date 04.03.2008, 2008. (In Russian)
19. R Core Team 2020. R: A Language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed 06.08.2021)
20. Sorokina P.G., Anoshko P.N., Zorkaltsev V.I. The investigation of relation the mass and the length of the Baikal omul. *Vestnik IrGSHA*, 2021, iss. 102, pp. 85-99. (In Russian) DOI: 10.51215/1999-765-2021-102-84-99

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Павел Н. Аношко руководил постановкой цели исследования, анализировал данные, подготовил рукопись. Михаил М. Макаров проводил сводный анализ полученных результатов, участвовал в написании и корректировке рукописи. Елена В. Дзюба и Джамия А. Устарбекова участвовали в обсуждении, оформлении и корректировке рукописи. 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

Pavel N. Anoshko formulated the aim of the study, analysed data and prepared the manuscript. Mikhail M. Makarov conducted a summary analysis of the obtained results and participated in the preparation and correction of the manuscript. Elena V. Dzyuba and Dzhamiya A. Ustarbekova participated in the discussion, preparation and correction of the manuscript. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Павел Н. Аношко / Pavel N. Anoshko <https://orcid.org/0000-0001-9506-4135>
 Михаил М. Макаров / Mikhail M. Makarov <https://orcid.org/0000-0002-1758-4458>
 Джамия А. Устарбекова / Dzhamiya A. Ustarbekova <https://orcid.org/0000-0003-4237-7909>
 Елена В. Дзюба / Elena V. Dzyuba <https://orcid.org/0000-0002-0769-694X>

Оригинальная статья / Original article

УДК 595.768.23

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-24-35

Эколого-фаунистическая и зоогеографическая характеристика жуков-долгоносиков трибы Baridini Schoencherr, 1836 Дагестана

Гульнара М. Мухтарова¹, Патимат А. Бекшокова¹, Гульнара М. Нахибашева^{1,2},
Надира О. Гусейнова¹

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Гульнара М. Мухтарова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и биоразнообразия, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79883008408
Email gulnara-muhtarova@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8232-2115>

Формат цитирования

Мухтарова Г.М., Бекшокова П.А., Нахибашева Г.М., Гусейнова Н.О. Эколого-фаунистическая и зоогеографическая характеристика жуков-долгоносиков трибы Baridini Schoencherr, 1836 Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 24-35. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-24-35

Получена 29 ноября 2021 г.

Прошла рецензирование 24 декабря 2021 г.

Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель. Проведение эколого-фаунистического обзора жуков-долгоносиков трибы Baridini Schoencherr, 1836 Дагестана; изучение экологии и хорологии наиболее вредоносного вида – зеленого брюквенного бариды (*Aulacobaris coerulescens* Scop.).

Материал и методы. Работа основана на наблюдениях и материалах, полученных в 1996-2020 гг. в различных районах Дагестана, с применением классических методов полевого изучения беспозвоночных. Также использованы коллекционные материалы и данные разных авторов за период с 1872 по 2010 годы. Стационарные исследования экологии *Aulacobaris coerulescens* Scop. проводились на базах сельскохозяйственных кооперативов и крестьянско-фермерских хозяйств Буйнакского, Левашинского, Акушинского и Гергебильского районов Дагестана.

Результаты. Проведенные исследования показали, что фауна трибы Baridini в Дагестане представлена 26 видами из 8 родов. В зоогеографическом отношении она складывается из 7 комплексов, причем основное ядро образуют степные виды. В высотном поясе наиболее богата фауна Низменного Дагестана, где обитает 20 видов. По трофической специализации доминируют широкие олигофаги; главной кормовой базой является семейство Brassicaceae. Наиболее значимым в сельскохозяйственном отношении видом и опасным вредителем капусты в Дагестане является зеленый брюквенный барид (*Aulacobaris coerulescens* Scopoli, 1763). Изучены особенности его экологии и распространения, составлена фенологическая таблица и карта ареала.

Заключение. Фауна трибы Baridini Дагестана богата и разнообразна. Она представлена различными зоогеографическими и экологическими комплексами во всех высотных поясах Дагестана. Фенологические данные и карта распространения брюквенного бариды могут быть использованы для оптимизации мер борьбы и минимизации воздействия на экосистемы.

Ключевые слова

Жуки-долгоносики, Baridini, ареал, трофическая специализация, фитофаги, вредители, сельскохозяйственные культуры, ГИС.

Ecological-faunistic and zoogeographic characteristics of weevils of the tribe Baridini Schoencherr, 1836 of Dagestan

Gulnara M. Mukhtarova¹, Patimat A. Bekshokova¹, Gyulnara M. Nakhibasheva^{1,2} and Nadira O. Guseynova¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Precaspian Institute of biological Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal Contact

Gulnara M. Mukhtarova, 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 367000.

Tel. +79883008408

Email gulnara-mukhtarova@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8232-2115>

How to cite this article

Mukhtarova G.M., Bekshokova P.A., Nakhibasheva G.M., Guseynova N.O. Ecological-faunistic and zoogeographic characteristics of weevils of the tribe Baridini Schoencherr, 1836 of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 24-35. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-24-35

Received 29 November 2021

Revised 24 December 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. To carry out an ecological and faunistic review of weevils of the tribe Baridini Schoencherr, 1836 of Dagestan; study of the ecology and chorology of the most harmful species, the green rutabaga baride (*Aulacobaris coerulescens* Scop.).

Material and Methods. The work was based on observations and materials obtained in 1996-2020 in various regions of Dagestan, using classical methods of field study of invertebrates. Collection materials and data from different authors for the period from 1872 to 2010 were also used. Stationary studies of the ecology of *Aulacobaris coerulescens* Scopoli, 1763 were conducted on the basis of agricultural cooperatives and peasant farms of Buynaksky, Levashinsky, Akushinsky and Gergebilsky districts of Dagestan.

Results. Studies have shown that the fauna of the tribe Baridini in Dagestan is represented by 26 species from 8 genera. In zoogeographic terms, it is composed of 7 complexes with the main core being formed by steppe species. In the altitudinal range, the fauna of lowland Dagestan is the richest, where 20 species live. Trophic specialization is dominated by broad oligophages; the main food base is the Brassicaceae family. The most important agricultural species and dangerous pest of cabbage in Dagestan is the green rutabaga baride (*Aulacobaris coerulescens* Scopoli, 1763). The features of its ecology and distribution were studied and a phenological table and a map of the range were compiled.

Conclusion. The fauna of the Baridini tribe of Dagestan is rich and varied. It is represented by various zoogeographical and ecological complexes in all altitudinal zones of Dagestan. Phenological data and a distribution map of rutabaga baride can be used to optimize control measures and minimize impacts on ecosystems.

Key Words

Weevils, Baridini, range, trophic specialization, phytophages, pests, crops, GIS.

ВВЕДЕНИЕ

Жуки трибы Барида (Baridini) являются одной из многочисленных групп долгоносикообразных жесткокрылых, которые объединяют около 700 видов [1]. Во всех фазах онтогенеза они являются фитофагами, специализированными к питанию разными видами растений, в том числе и сельскохозяйственными культурами, имеющими значение для человека в качестве продуктов питания, технического сырья или корма для домашних животных.

В качестве вредителей особое хозяйственное значение имеют зеленый брюквенный барид – *Aulacobaris coerulescens* (Scopoli, 1763), рапсовый барид – *A. chlorizans* (Germar, 1824), капустный черный барид – *Melanobaris carbonaria* (Boheman, 1836) и барид панцирный – *Ulobaris loricata* (Boheman, 1836). Наибольшей вредоносностью из всех баридов в Дагестане обладает зеленый брюквенный барид – *Aulacobaris coerulescens* (Scopoli, 1763), который в годы вспышки массового размножения в Дербентском районе, причинял значительный ущерб [2].

Несмотря на значимость группы, на настоящий момент отсутствуют полные сводки о баридах Дагестана, а сведения об экологии зеленого брюквенного бариды ограничиваются южно-плоскостной зоной республики. Назрела необходимость в обобщении и анализе накопленных сведений, пополнении их новыми данными о составе и особенностях экологии представителей данной группы.

В этой связи целью работы являлось проведение эколого-фаунистического обзора жуков-долгоносиков трибы Baridini Schoencherr, 1836 Дагестана, а также изучение экологии и хорологии зеленого брюквенного бариды (*Aulacobaris coerulescens* Scop.). Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: проведение инвентаризации жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана; установление их трофической специализации, особенностей распространения; составление фенологического календаря развития; создание карты распространения зеленого брюквенного бариды (*Aulacobaris coerulescens* Scop.) на территории Дагестана.

Первые сводки по баридам Дагестана появились в работе Б.А. Коротяева, М.Ш. Исмаиловой [3], где для фауны Низменного и Предгорного Дагестана упоминается 20 видов. Для Внутреннего горного Дагестана Г.М. Абдурахмановым, М.Ш. Исмаиловой и Г.М. Мухтаровой [4] приведено 11 видов, причем один неописанный *Melanobaris* sp.n. В монографическом труде 2007 года «Жуки-долгоносики Северо-Восточного Кавказа (фауна, экология, зоогеография)» М.Ш. Исмаиловой, Г.М. Абдурахмановым, Б.А. Коротяевым, Г.М. Мухтаровой уже приводится 22 вида [5]. Особого внимания заслуживает работа Б.А. Коротяева и М.Ш. Исмаиловой, в которой с территории Внутригорного Дагестана описывается новый вид долгоносика – *Melanobaris gulnarae* [6].

Изучению фенологии брюквенного бариды в Дагестане посвящены работы Б.У. Мисриевой (2005-2018). На основании исследований, проводимых в агроценозах семенной белокочанной капусты, выращиваемой по беспересадочной технологии в Дербентском районе Дагестана, ею изучены особенности биологии и экологии насекомых-вредителей; отмечено, что среди баридов наиболее опасным вредителем семенников капусты является *Baris coerulescens* Scop. [2; 7-9]. Мисриевой Б.У. уточнены экономические пороги вредоносности брюквенного бариды [2; 8; 10; 11], рассмотрены сорта и линии гибридов семенников белокочанной капусты устойчивых к конкретным видам вредителей [9; 11].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данная работа основана на наблюдениях и материалах, полученных в 1996-2020 гг. в различных районах Дагестана. Также при написании статьи использованы коллекционные фонды Института экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета с 1996 по 2020 годы, материалы и данные точек сбора долгоносиков за период с 1872 по 2010 годы следующих авторов: Г. Христофа, Г.В. Олсуфьева, А.Н. Кириченко, Л.В., Арнольди, С.И. Медведева, В.Н. Прасолова, В.Ю. и М.Ю. Савицких, В.Н. Ковтуновича, Г.М. Абдурахманова, М.Ш. Исмаиловой, Г.М. Мухтаровой, Ю.Г. Арзанова, Б.А. Коротяева, Г.Э. Давидьяна.

Полевые исследования – это самый важный этап научной работы энтомологической направленности, так как он дает информацию о видовом составе, численности, кормовых растениях, географическом распространении насекомых. В работе применялись различные методы полевого изучения беспозвоночных, отображенные в трудах: «Количественные методы в почвенной зоологии» [12], «Методика изучения фауны и фенологии насекомых» [13; 14], «Принципы и методы эколого-фаунистических исследований наземных насекомых» [15]. Для получения репрезентативных данных использовался комплекс наиболее эффективных методов и приемов сбора материала, совмещались стационарные и экспедиционные исследования, проводимые многократно в разные сезоны в течение ряда лет. Были охвачены основные природные районы Дагестана, различные ландшафты и биотопы. Стационарные исследования экологии *Aulacobaris coerulescens* Scop. проводились на базах сельскохозяйственных кооперативов и крестьянско-фермерских хозяйств Буйнакского, Левашинского, Акушинского и Гергебильского районов. Всем лицам, предоставившим сведения и оказавшим помощь в проведении исследований, выражаем огромную благодарность.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенной инвентаризации фауны трибы Baridini в Дагестане выявлено 26 видов, относящихся к 8 родам, также изучены особенности их хорологии и экологии, результаты которых отображает таблица 1.

Таблица 1. Эколого-фаунистическая и зоогеографическая характеристика жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана**Table 1.** Ecological-faunistic and zoogeographic characteristics of weevils of the tribe Baridini of Dagestan

№	Наименование вида Species	Распространение в Дагестане Distribution in Dagestan				*Трофическая специализация *Trophic specialization	**Мировой ареал **World range	Кормовые растения Fodder plants	
		Низменность Lowland	Предгорья Foothill	Внутриморгорный Дагестан Intramountainous Dagestan	Высокогорный Дагестан Alpine Dagestan			Виды, рода Species, genus	Семейства Families
1.	<i>Aulacobaris angusta</i> Brulle, 1832	+				УО NV	Ст St	На растениях рода <i>Sisymbrium</i> On plants of the genus <i>Sisymbrium</i>	Brassicaceae
2.	<i>A. coerulescens</i> Scopoli, 1763	+	+	+	+	ШО WO	П P	На крестоцветных On plants of the Brassicaceae	Brassicaceae
3.	<i>A. concinna</i> Boheman, 1844		+	+		М	В-С Е-М	<i>Reseda luteola</i>	Resedaceae
4.	<i>A. janthina</i> Boheman, 1836	+	+	+		ШО WO	Е-С Е-С	<i>Crambe</i> sp., <i>Cardaria</i> <i>draba</i> , <i>Thlaspi arvense</i> , <i>Sisymbrium</i> sp., <i>Armoracia rusticana</i> , <i>Raphanus</i> <i>raphanistrum</i>	Brassicaceae
5.	<i>A. lepidii</i> Germar, 1824	+				ШО WO	Е	<i>Barbarea vulgaris</i> , <i>Rorippa sylvestris</i> , <i>R. palustris</i> , <i>Lepidium latifolium</i>	Brassicaceae
6.	<i>A. violaceomicans</i> Solari, 1904	+				ШО WO	Ст St	<i>Berteroa incana</i> , <i>Hesperis sibirica</i> , <i>Diplotaxis viminea</i> , <i>Syrenia cana</i>	Brassicaceae
7.	<i>Baris analis</i> Olivier, 1790	+				УО NV	Ст St	<i>Pulicaria dysenterica</i> , <i>P. vulgaris</i>	Asteraceae
8.	<i>B. artemisiae</i> Herbst, 1795		+			УО NV	П P	На различных видах полевой <i>Artemisia</i> On various species of <i>Artemisia</i>	Asteraceae
9.	<i>B. kirschi</i> Faust, 1882	+				М	Ст St	Сарсазан шишковатый - <i>Halocnemum</i> <i>strobilaceum</i>	Amaranthaceae
10.	<i>B. limbata</i> Brisout, 1870	+				УО NV	Ст St	Род <i>Salsola</i> Genus <i>Salsola</i>	Amaranthaceae
11.	<i>B. memnonia</i> Boheman, 1836	+				П P	Ст St	<i>Salsola</i> , <i>Artemisia</i>	Amaranthaceae, Asteraceae
12.	<i>B. nesapia</i> Faust, 1887				+	УО NV	П P	<i>Artemisia</i>	Asteraceae
13.	<i>B. noaeae</i> Becker, 1875	+		+		УО NV	К C	<i>Salsola dendroides</i>	Amaranthaceae
14.	<i>B. spitzyi</i> Hochhuth, 1847	+	+			ШО WO	Ст St	<i>Artemisia austriaca</i> , <i>A. lerchiana</i> , <i>A. marschalliana</i> , <i>Tripolium pannonicum</i>	Asteraceae
15.	<i>B. sulcata</i> Boheman, 1836	+		+		ШО WO	Ст St	<i>Camphorosma</i> <i>monspeliaca</i> , <i>Kochia prostrata</i>	Amaranthaceae

16.	<i>Cosmobaris scolopacea</i> Germar, 1819	+		+	YO NV	П Р	<i>Atriplex</i> sp.	Amaranthaceae
17.	<i>Eremobaris picturata</i> Menetries, 1849	+			ШО WO	Ст St	<i>Syrenia</i> , <i>Berteroia</i> , <i>Brassica juncea</i>	Brassicaceae
18.	<i>Labiaticola melas</i> Boheman, 1836	+	+	+	M	Cp St	<i>Phlomis pungens</i>	Lamiaceae
19.	<i>L. atricolor</i> Bohemann, 1844		+		M	Cp MT	<i>Stachys recta</i>	Lamiaceae
20.	<i>L. sibiricus</i> Faust, 1890		+		YO NV	B-C E-M	<i>Phlomoides tuberosa</i> , <i>Ph. maximowiczii</i>	Lamiaceae
21.	<i>Malvaevora timida</i> Rossi, 1792	+	+	+	ШО	Ст St	<i>Malva</i> , <i>Althaea</i> , <i>Alcea</i>	Malvaceae
22.	<i>Melanobaris carbonaria</i> Boheman, 1836	+	+		ШО WO	Ст St	<i>Crambe tataria</i> , <i>Diplotaxis viminea</i> , <i>Bunias orientalis</i>	Brassicaceae
23.	<i>M. gulnarae</i> Korotyaev et Ismailova, 2011			+	ШО WO	K C	На крестоцветных Brassicaceae	Brassicaceae
24.	<i>M. hochhuthi</i> Faust, 1882	+	+		ШО WO	Ст St	<i>Erysimum cuspidatum</i> , <i>Sisymbrium loeselii</i> , <i>Syrenia siliculosa</i> , <i>Diplotaxis viminea</i> , <i>Euclidium syriacum</i>	Brassicaceae
25.	<i>M. semistriata</i> Boheman, 1836	+	+	+	M	Ст St	<i>Cardaria draba</i>	Brassicaceae
26.	<i>Ulobaris loricata</i> Boheman, 1836	+			ШО WO	Ст St	<i>Atriplex</i> , <i>Chenopodium</i> , <i>Suaeda</i> , <i>Kochia</i> , <i>Beta</i> <i>vulgaris</i>	Amaranthaceae
Итого / Total:		20	12	10	3			

Примечание: * – Трофическая специализация: М – монофаг, П – полифаг, УО – узкий олигофаг, ШО – широкий олигофаг.

** – Мировой ареал: Ст – степной, П – палеарктический, К – кавказский, Ср – средиземноморский,

В-С – восточно-средиземноморский, Е – европейский, Е-С – европейско-сибирский

Note: * – Trophic specialization: M – monophag, P – polyphag, NV – narrow oligophag, WO – wide oligophag.

** – World range: St – steppe, P – Palearctic, C – Caucasian, MT – Mediterranean, E-M – Eastern Mediterranean,

E – European, E-S – European-Siberian

Ранжирование родов трибы Baridini Дагестана по числу видов показывает, что самые многочисленные рода: *Baris* – 9 видов и *Aulacobaris* – 6 видов, затем идут *Melanobaris* (4), *Labiaticola* (3). По одному виду в родах: *Cosmobaris*, *Eremobaris*, *Malvaevora*, *Ulobaris*.

Особенности пространственного размещения и распределения видов, границы их ареалов во

многом зависят от современных физико-географических условий, исторических областей их происхождения и путей расселения. Исследования показали, что фауна трибы Baridini Дагестана разнообразна и складывается из 7 типов зоогеографических комплексов (табл. 1, 2; рис. 1).

Таблица 2. Зоогеографический анализ жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана

Table 2. Zoogeographic analysis of weevils of the tribe Baridini of Dagestan

№	Зоогеографические группы Zoogeographic groups	Количество видов Number of species	%
1.	Степной / Steppe	14	53,8
2.	Палеарктический / Palearctic	4	15,4
3.	Кавказский / Caucasian	2	7,7
4.	Восточно-средиземноморский / Eastern Mediterranean	2	7,7
5.	Средиземноморский / Mediterranean	2	7,7
6.	Европейско-сибирский / European-Siberian	1	3,8
7.	Европейский / European	1	3,8

Анализ полученных материалов показывает, что основное ядро фауны жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана образуют виды степного комплекса, составляющие 53,8%. Доминирование степной группы объясняется тем, что центрами происхождения

большинства родов и видов группы являются внутриконтинентальные травянистые сообщества Евразии, обладающие различной степенью аридности. Большие территории в пределах низменностей, внутригорных котловин и высокогорий

Дагестана заняты открытыми травянистыми долгоносики-бариды нашли широкий набор формациями различных уровней увлажнения, где местообитаний.

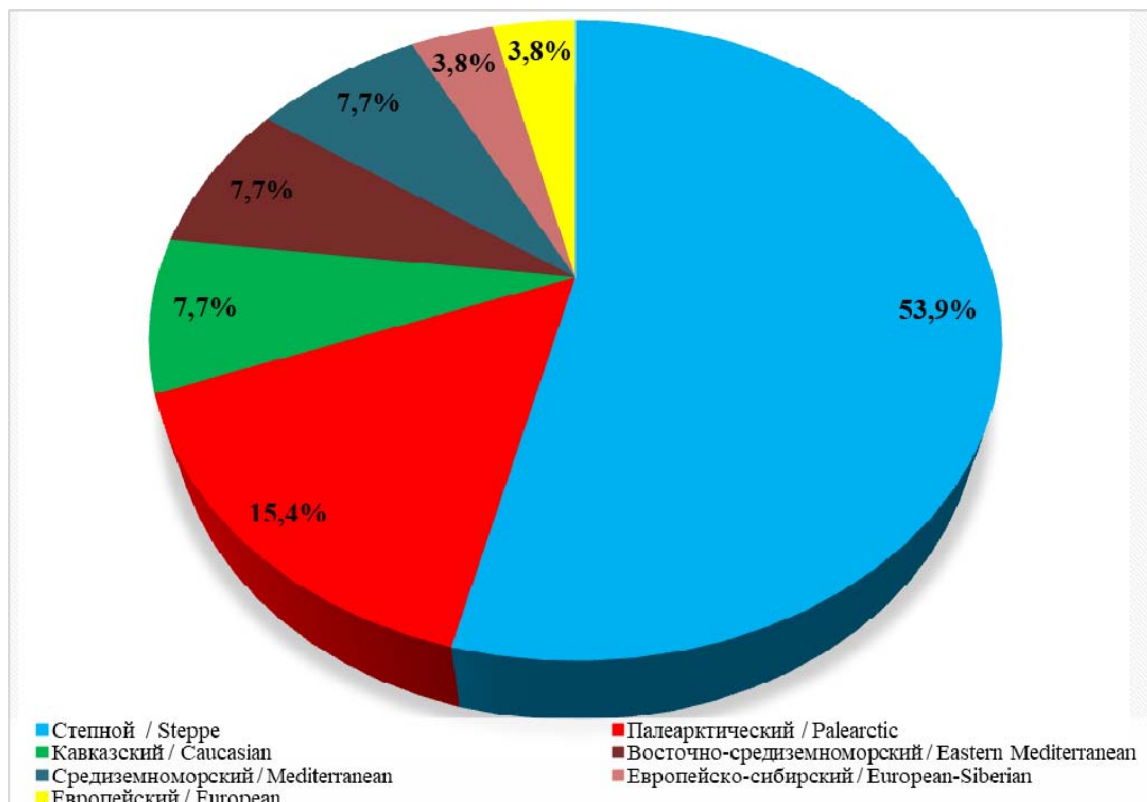


Рисунок 1. Спектр зоогеографических групп жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана

Figure 1. Spectrum of zoogeographic groups of weevils of the tribe Baridini of Dagestan

Менее богато представлены виды палеарктического комплекса (15,4%), распространение которых охватывает большую часть Палеарктики; средиземноморский элемент представлен восточно-средиземноморскими 7,7% и собственно средиземноморскими видами 7,7%; 2 вида кавказского корня (7,7%), причем *Melanobaris gulnarae* Korotyaev et Ismailova, 2011 – узколокальный эндемик внутригорного и горного Дагестана. Незначительно участие европейского и европейско-сибирского комплексов составляющих по 3,8%.

Зоогеографические сведения имеет большое практическое и теоретическое значение для понимания эволюции и генезиса современной фауны, решения ряда экологических, природоохранных, ресурсоэкономических, сельскохозяйственных и других вопросов.

Анализ распространения жуков-долгоносиков трибы Baridini в высотном поясе показал, что наиболее богато они представлены в фауне Низменного Дагестана, где в степях, полупустынях и агроэкосистемах обнаружено 20 видов. В предгорном Дагестане обитает 12 видов, во внутригорных районах – 10, в Высокогорном Дагестане – 3 вида. Причем во всех высотных диапазонах встречается один вид – *Aulacobaris coerulescens* Scopoli, 1763; на низменности в предгорных и внутригорных районах – 4 вида: *Aulacobaris janthina* Boheman, 1836, *Labiaticola melas*

Boheman, 1836, *Malvaevora timida* Rossi, 1792 и *Melanobaris semistriata* Boheman, 1836; на низменности и в предгорье обнаружены: *Baris spitzzyi* Hochhuth, 1847, *Melanobaris carbonaria* Boheman, 1836 и *M. hochhuthi* Faust, 1882. В засушливых степях и на лугах низменных и внутригорных районов Дагестана обитают *Baris noaeae* Becker, 1875 и *Cosmobaris scolopacea* Germar, 1819. Область распространения *Baris artemisiae* Herbst, 1795, *Labiaticola atricolor* Bohemann, 1844 и *L. sibiricus* Faust, 1890 ограничена предгорными районами Дагестана. Кавказский, дагестанский эндемичный вид *Melanobaris gulnarae* Korotyaev et Ismailova, 2011 [6] встречается во внутригорном и высокогорном Дагестане.

Одним из главнейших аспектов эколого-фаунистических исследований является изучение трофической специализации фитофагов и связей их с кормовыми растениями (рис. 2).

Трофическая специализация долгоносиков формировалась в процессе эволюции, как результат приспособления к конкретным условиям среды, в ходе разграничения трофических ниш между консументами-фитофагами. Анализ полученных материалов показал, что доминируют широкие олигофаги (*Aulacobaris coerulescens* Scopoli, 1763, *A. janthina* Boheman, 1836, *A. lepidii* Germar, 1824, *A. violaceomicans* Solari, 1904, *Baris sulcata* Boheman, 1836, *B. spitzzyi* Hochhuth, 1847, *Eremobaris picturata* Menetries, 1849, *Malvaevora timida* Rossi, 1792,

Melanobaris carbonaria Boheman, 1836, *M. gulnarae* Korotyaev et Ismailova, 2011, *M. hochhuthi* Faust, 1882,

Ulobaris loricata Boheman, 1836), связанные с растениями разных родов, из одного семейства.

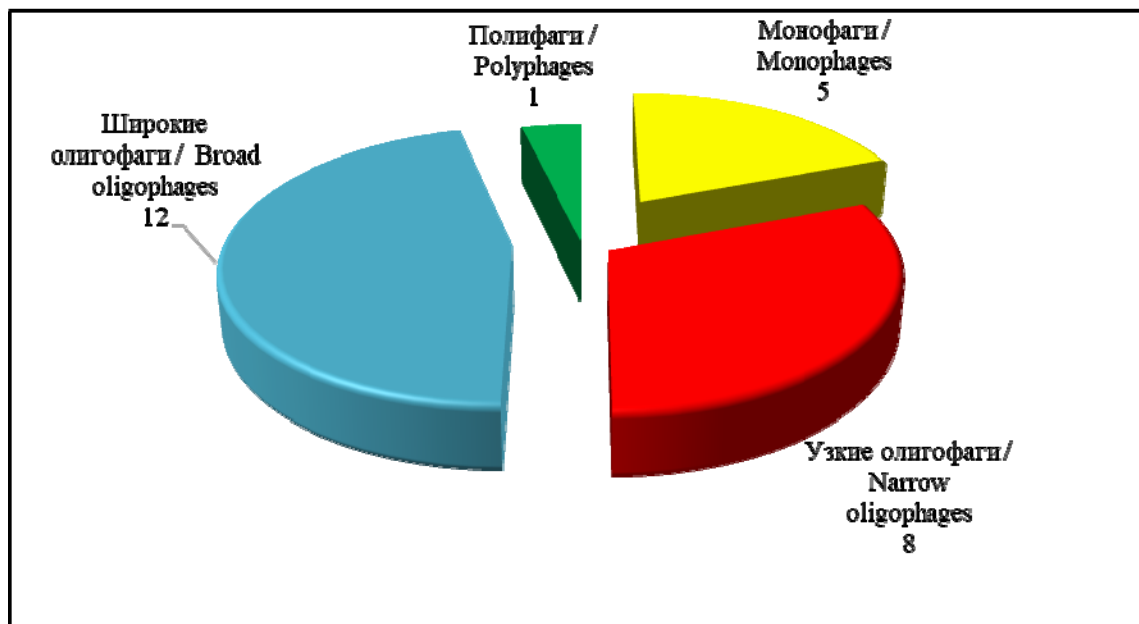


Рисунок 2. Трофическая специализация жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана

Figure 2. Trophic specialization of weevils of the tribe Baridini of Dagestan

Узкие олигофаги достаточно хорошо представлены в фауне барид Дагестана и включают 8 видов (*Aulacobaris angusta* Brulle, 1832, *Baris analis* Olivier, 1790, *B. artemisiae* Herbst, 1795, *B. limbata* Brisout, 1870, *B. nesapia* Faust, 1887, *B. noaeae* Becker, 1875, *Cosmobaris scolopacea* Germar, 1819, *Labiaticola sibiricus* Faust, 1890), трофически адаптированных к потреблению в пищу разных видов растений одного рода.

Стенофагия характерна 5 баридам-монофагам (*Aulacobaris concinna* Boheman, 1844, *Baris kirschi* Faust, 1882, *Labiaticola melas* Boheman, 1836, *L. atricolor* Bohemann, 1844, *Melanobaris semistriata* Boheman, 1836), узкоспециализированным к конкретным видам кормовых растений. В ходе эволюции они адаптировались к эффективному использованию одного вида кормового растения, характеризующегося обилием и постоянством в растительном покрове, так как для монофагии важно, чтобы кормовая база была стабильной и устойчивой [16].

Полифагом является 1 вид – *Baris temponia* Boheman, 1836, который трофически связан с растениями семейств Amaranthaceae и Asteraceae, обильно произрастающими в степях различных высотных поясов Дагестана.

Изучение экологических аспектов видов важно для оценки запасов и мониторинга биологических ресурсов, разработки природоохранных мероприятий, а также мер борьбы с вредителями культурных растений.

Анализ трофической специализации долгоносиков в пределах систематических категорий растений показал, что кормовую базу барид Дагестана составляют всего 6 семейств

покрытосеменных растений (табл. 1, 3). Главной трофической базой являются растения семейства Крестоцветные (Brassicaceae), на которых развивается 10 видов долгоносиков из 3 родов. Крестоцветные – это широко распространенные растения, приспособленные к самым разнообразным местообитаниям, они хорошо представлены среди степной растительности, засушливых и сухих местообитаний, многие представители произрастают вдоль дорог, у жилья, на полях и т.д.

Значительное число видов жуков – 7 из 3 родов связано с семейством Amaranthaceae. Амарантовые, включающее подсемейство Маревые, представлены преимущественно однолетними и многолетними травами, произрастающими в степях и пустынях в основном на засоленных почвах. 5 видов рода *Baris* связано со сложноцветными (Asteraceae). Сложноцветные – это самое крупное семейство двудольных растений, поэтому они представляют хорошую и устойчивую кормовую базу для жуков-долгоносиков Дагестана. 3 вида связано с семейством Губоцветные (Lamiaceae), и по одному виду с Резедовыми (Resedaceae) и Мальвовыми (Malvaceae).

Когда человек окультуривает растения и возделывает их на обширных территориях, то консументы, связанные с ними трофическими связями, особенно это касается экологически пластичных видов, резко увеличиваются в численности и переходят в разряд вредителей. Некоторые виды жуков-долгоносиков трибы Baridini являются вредителями сельского хозяйства, например, зеленый брюквенный барид (*Aulacobaris coerulescens* Scopoli, 1763) – наиболее опасный вредитель капусты в Дагестане. Исследования, проведенные Б.У. Мисриевой [2] на стационарных

участках Дагестанской опытной станции ВИР в Дербентском районе, показали, что в благоприятные годы отмечались вспышки численности и высокая вредоносность зеленого брюквенного бариды, при этом плотность доходила до 32-37 особей на 1 заселённое растение. В хозяйствах Дагестана, где возделывают капусту на больших площадях, при отсутствии мер борьбы он причиняет значительный вред. Высокая вредоносность зеленого брюквенного бариды определяется несколькими факторами: во-

первых, он является первичным вредителем, который повреждает совершенно здоровые и крепкие растения, во-вторых, вредит на всех стадиях онтогенеза: имаго питается всходами, побегами, листьями растений, а личинки повреждают изнутри корень, кочерыжку и стебель; и в-третьих, травмируя и разрушая наиболее значимые части растения, даже при небольшом повреждении, вызывают гибель растения целиком.

Таблица 3. Количественное распределение жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана по семействам кормовых растений

Table 3. Quantitative distribution of weevils of the tribe Baridini of Dagestan by host plant families

№	Семейства растений Families plants	Виды долгоносиков / Species of weevils	Всего / Total	
			Родов Genus	Видов Species
1.	Amarantaceae	<i>Baris kirschi</i> (Faust, 1882), <i>B. limbata</i> (Brisout, 1870), <i>B. memnonia</i> (Boheman, 1836), <i>B. noaeae</i> (Becker, 1875), <i>Cosmobaris scolopacea</i> (Germar, 1819), <i>Ulobaris loricata</i> (Boheman, 1836)	3	7
2.	Brassicaceae	<i>Aulacobaris angusta</i> (Brulle, 1832), <i>A. coerulescens</i> (Scopoli, 1763), <i>A. janthina</i> (Boheman, 1836), <i>A. lepidii</i> (Germar, 1824), <i>A. violaceomicans</i> (Solari, 1904), <i>Eremobaris picturata</i> (Menetries, 1849), <i>Melanobaris carbonaria</i> (Boheman, 1836), <i>M. gulnarae</i> (Korotyaev et Ismailova, 2011), <i>M. hochhuthi</i> (Faust, 1882), <i>M. semistriata</i> (Boheman, 1836)	3	10
3.	Resedaceae	<i>Aulacobaris concinna</i> (Boheman, 1844)	1	1
4.	Malvaceae	<i>Malvaevora timida</i> (Rossi, 1792)	1	1
5.	Lamiaceae	<i>Labiatocola melas</i> (Boheman, 1836), <i>L. atricolor</i> (Bohemann, 1844), <i>L. sibiricus</i> (Faust, 1890)	1	3
6.	Asteraceae	<i>Baris analis</i> (Olivier, 1790), <i>B. artemisiae</i> (Herbst, 1795), <i>B. memnonia</i> (Boheman, 1836), <i>B. nesapia</i> (Faust, 1887), <i>B. spitzyi</i> (Hochhuth, 1847)	1	5

Современная область мирового распространения зеленого брюквенного бариды (*Aulacobaris coerulescens* Scop.) обширна, и включает палеарктику, но первоначальный ареал охватывал только средиземноморскую область, где сосредоточен центр таксономического разнообразия жуков-долгоносиков трибы Baridini и центр происхождения основного кормового растения – капусты (*Brassica* L., 1753). Однако широкое выращивание капусты, начавшееся более 4 тысяч лет назад, способствовало расселению и колонизации его вредителей, в том числе и брюквенного бариды (*Aulacobaris coerulescens* Scop.). Из-за своей устойчивости к холоду, капуста является основной культурой в открытом грунте в России, особенно в северной и средней части, где она занимает до 50% площади всех овощей [17; 18]. Такое обилие кормового растения способствовало вспышкам численности вредителей, в том числе и брюквенного бариды.

В ходе исследований были уточнены область распространения и границы ареала зеленого брюквенного бариды в Дагестане, а затем, с применением геоинформационных программ различного уровня, создана карта его ареала (рис. 3).

Зеленый брюквенный барид (*Aulacobaris coerulescens* Scop.) широко распространен в Дагестане, особенно велика его численность в

районах возделывания капусты. Жук в пределах ареала нашел благоприятные для своего развития погодные и почвенные условия, и необходимую кормовую базу. В Низменном Дагестане область распространения охватывает Тарумовский, Хасавюртовский, Кизилюртовский, Кумторкалинский, Карабудахкентский, Каякентский, Дербентский и частично Магарамкентский районы. С предгорных районов имеются сборы с Буйнакского района. Во Внутригорном Дагестане вид многочислен в Левашинском, Акушинском, Гергебелском и Унцкульском районах. С Высокогорного Дагестана имеются сборы с окрестностей Рутула.

Поскольку живые организмы развиваются под влиянием абиотических и биотических факторов внешней среды, то сезонные, периодические явления природы, очень четко влияют на ход индивидуального развития насекомых, особенно тех, которые развиваются с полным метаморфозом. В результате проведенных исследований были получены фенологические данные по срокам появления и развития зеленого брюквенного бариды в условиях Внутригорного Дагестана, результаты которых отображены в таблице 4.

Зеленый брюквенный барид (*Aulacobaris coerulescens* Scop.) имеет одну генерацию в год и зимует в стадии взрослой особи. Жуки выходят из

мест зимовки во 2-й и 3-й декадах марта, при прогревании почвы до $+7-9^{\circ}\text{C}$; максимальный выход жуков отмечается во второй декаде апреля при среднесуточной температуре воздуха 10°C .

Дополнительное питание жуков проходит на дикорастущих крестоцветных, особенно лестнице

сорняков, а впоследствии – культурных крестоцветных. Жуки питаются, выгрызая ямки на надземных частях растений: верхушечных почках, черешках листьев, стеблях. Поврежденные участки растений желтеют, формируют наросты.

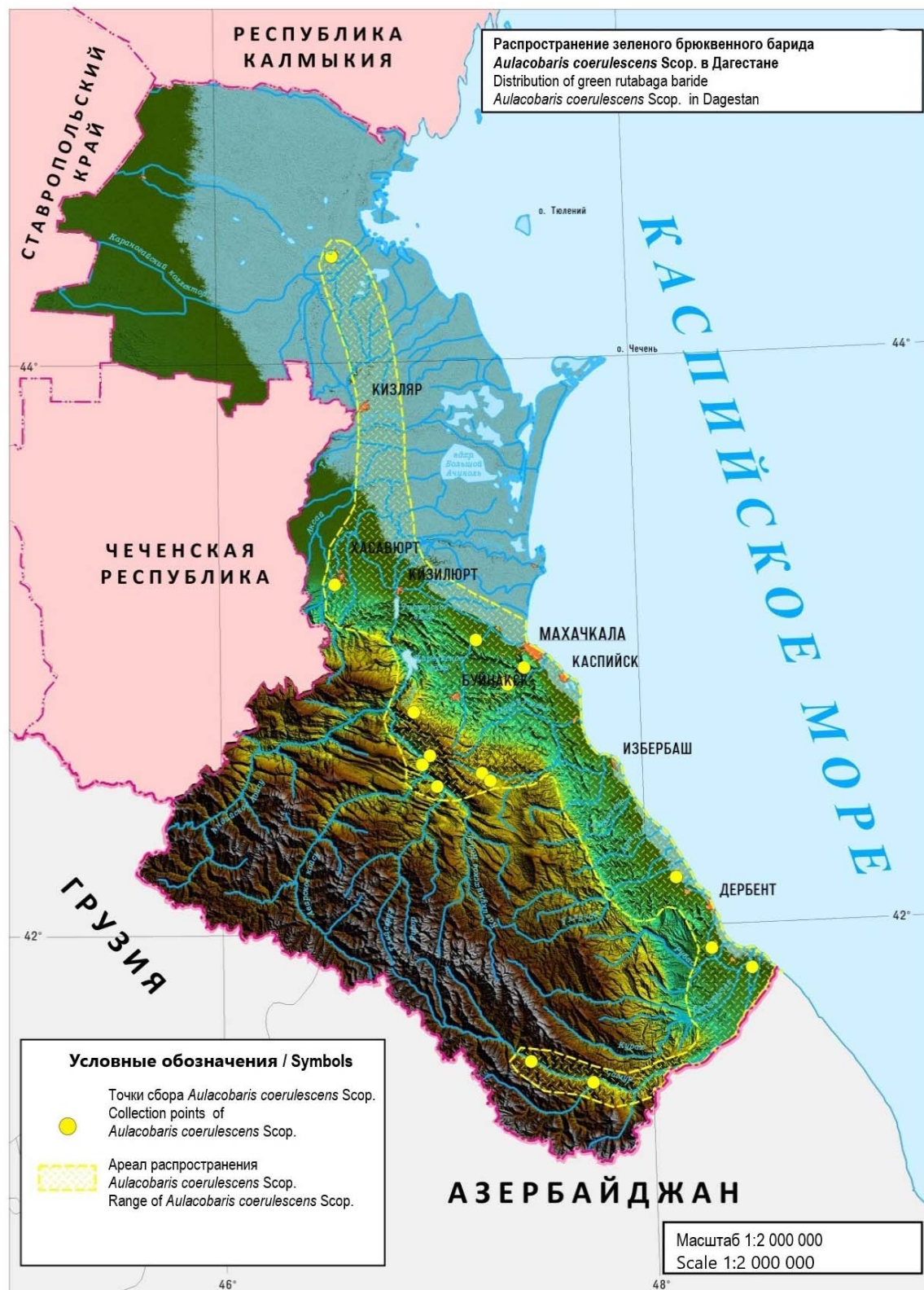


Рисунок 3. Карта «Распространение зеленого брюквенного бариды *Aulacobaris coerulescens* Scop. в Дагестане»
Figure 3. Map: Distribution of green rutabaga baride *Aulacobaris coerulescens* Scop. in Dagestan

Таблица 4. Фенология зеленого брюквенного бариды (*Aulacobaris coerulescens* Scop.) во Внутригорном Дагестане (2018-2020 гг.)

Table 4. Phenology of green rutabaga baride (*Aulacobaris coerulescens* Scop.) in inner mountainous Dagestan (2018-2020)

Март March			Апрель April			Май May			Июнь June			Июль July			Август August			Сентябрь September		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
И /			И /			И /			И /											
I			I			I			I											
									Я /			Я /								
									Е			Е								
									Л /			Л /								
									L			L								
												К /			К /					
												Р			Р					
															F1			И /		
																		I		

Обозначение: Я – яйцо; И – имаго; К – куколка; Л – личинка
Symbols: E – egg; I – imago; P – pupa; L – larva

Кладка яиц начинается во второй половине мая и продолжается до конца июня. Самки откладывают яйца в ямки, которые они выгрызают в стеблях, черешках листьев, а на капусте – у корневой шейки.

Через 8-12 дней из яйца выходит личинка, которая развивается около месяца, в зависимости от температуры окружающей среды. Она проедает ткани растения, выделяет экскременты, образует ходы, вызывает образование вздутий и областей некроза. Растение разрыхляется, усыхает и переламывается.

Фаза куколки имеет продолжительность от 11 дней до 1 месяца и также зависит от температуры внешней среды. При температуре воздуха ниже 12°C, развитие куколки останавливается.

Молодые жуки новой генерации появляются с конца июня до августа. Часть их зимует в почве, часть (обычно более позднего развития) остаются в кочерыге [2]. Физические факторы среды в значительной мере определяют основные характеристики жизнедеятельности вредных организмов, динамику их численности, интенсивность распространения, степень поражения растений и др. [2].

Для построения тактики и стратегии защиты культурных растений от насекомых-вредителей, оптимизации мер борьбы, повышения их эффективности, минимизации воздействия на экосистемы, большое значение имеют фенологические наблюдения. Зная характер развития вредителя, конкретное время его появления и синхронность с другими, более легко наблюдаемыми природными явлениями на данной территории, можно точно установить сроки проведения агротехнических мероприятий и применения химических средств защиты растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований изучены эколого-фаунистические и зоогеографические аспекты фауны жуков-долгоносиков трибы Baridini Дагестана: выявлено 26 видов, относящихся к 8 родам, проведен зоогеографический анализ и изучены особенности

трофической специализации. Также исследованы особенности экологии и хормологии зеленого брюквенного бариды (*Aulacobaris coerulescens* Scop.), составлен фенологический календарь его развития и карта ареала в Дагестане.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность Мухтаровой Асият Мухтаровне за помощь в построении картографического материала.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to Asiyat Mukhtarovna Mukhtarova for assistance in the construction of cartographic material.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никулина О.Н. Новые данные о личинках жуков долгоносиков трибы Baridini (Coleoptera, Curculionidae) из Монголии и Средней Азии // Зоологический журнал. 2012. Т. 91. N 10. С. 1190-1198.
2. Мисриева Б.У. Вредоносность брюквенного бариды (*Baris coerulescens* Scop.) на семенниках капусты в Дагестане // Овощи России. 2018. N 1 (39). С. 82-85. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-1-82-85
3. Коротяев Б.А., Исмаилова М.Ш., Арзанов Ю.Г., Давидьян Г.Э., Прасолов В.И. Весенняя фауна жуков-долгоносиков (Coleoptera: Apionidae, Rhynchophoridae, Curculionidae) Низменного и Предгорного Дагестана // Энтомологическое обозрение. 1993. Т. 72. N 4. С. 836-865.
4. Абдурахманов Г.М., Исмаилова М.Ш., Мухтарова Г.М. Эколого-фаунистическая характеристика и зоогеографический анализ жуков-долгоносиков Внутреннего Горного Дагестана. Махачкала: Юпитер, 2003. 104 с.
5. Исмаилова М.Ш., Коротяев Б.А., Абдурахманов Г.М., Мухтарова Г.М. Жуки-долгоносики Северо-Восточного Кавказа. Махачкала: Юпитер, 2007. 300 с.
6. Коротяев Б.А., Исмаилова М.Ш. Новый вид долгоносиков рода *Melanobaris* Alonso-Zarazaga et Lyal, 1999 (Coleoptera: Curculionidae: Baridinae) из Внутригорного Дагестана // Кавказский энтомологический бюллетень. 2011. Т. 7. N 2. С. 173-175.

7. Мисриева Б.У. Брюквенный барид на семенниках капусты // Защита и карантин растений. 2005. N 12. С. 18-19.
8. Мисриева Б.У. Вредоносность и экономический порог вредоносности брюквенного бариды на семенниках белокочанной капусты // Гавриш. Научно-информационное издание для специалистов защищенного грунта. Москва, 2006. N 5. С. 10-12.
9. Мисриева Б.У. Устойчивость сортов и родительских линий F₁ гибридов семенников белокочанной капусты к брюквенному бариду (*Baris coerulescens* Scop.) в Южном Дагестане // Селекция и семеноводство овощных культур. 2014. N 45. С. 406-411.
10. Мисриева Б.У. Видовая идентификация баридов в Дагестане на основе морфометрии отличительных признаков // Вестник социально-педагогического института. 2015. N 4 (16). С. 406-411.
11. Мисриева Б.У. Экономическая эффективность интегрированной системы защиты безвысадочных семенников капусты белокочанной // Овощи России. 2017. N 3 (36). С. 93-96. DOI: 10.18619/2072-9146-2017-3-93-96
12. Бызова Ю.Б., Гиляров М.С. и др. Количественные методы в почвенной зоологии. Москва: Наука, 1987. 288 с.
13. Палий В.Ф. Методика изучения фауны и фенологии насекомых. Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство, 1970. 312 с.
14. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. Москва: Высшая Школа, 1971. 424 с.
15. Дедюхин С.В. Принципы и методы эколого-фаунистических исследований наземных насекомых. Ижевск: издательство «Удмуртский университет», 2011. 93 с.
16. Korotyaev B.A., Konstantinov A.S., Volkovitsh M.G. Insect Biodiversity in the Palearctic Region. In: R.G. Foottit, P.H. Adler. Insect Biodiversity: Science and Society. Wiley Online Library. Published online 21. VII. 2017, pp. 141-202. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118945568.ch7> (дата обращения: 26.03.2021)
17. Пивоваров В.Ф. Овощи России. Москва: «Российские семена», 1995. 256 с.
18. Лизгунова Т. В. Культурная флора СССР. Ленинград: Колос, 1984. Т. 11. Капуста. 328 с.
- zoogeographical analysis of weevils of the Inner Mountainous Dagestan]. Makhachkala, Yupiter Publ., 2003, 104 p. (In Russian)
5. Ismailova M.Sh., Korotyaev B.A., Abdurakhmanov G.M., Mukhtarova G.M. *Zhuki-dolgonosiki Severo-Vostochnogo Kavkaza* [Weevil beetles of the North-Eastern Caucasus]. Makhachkala, Yupiter Publ., 2007, 300 p. (In Russian)
6. Korotyaev B.A., Ismailova M.Sh. New species of weevils of the genus *Melanobaris* Alonso-Zarazaga et Lyal, 1999 (Coleoptera: Curculionidae: Baridinae) from Intramountain Dagestan. *Kavkazskii entomologicheskii byulleten'* [Caucasian Entomological Bulletin]. 2011, vol. 7, no. 2, pp. 173-175. (In Russian)
7. Misrieva B.U. Rutabaga barid on cabbage testicles. *Zashchita i karantin rastenii* [Protection and quarantine of plants]. 2005, no. 12, pp. 18-19. (In Russian)
8. Misrieva B.U. Harmfulness and economic threshold of harmfulness of rutabaga baride on white cabbage seed plants. *Gavriish. Nauchno-informatsionnoe izdanie dlya spetsialistov zashchishchennogo grunta* [Gavriish. Scientific and information publication for protected ground specialists]. Moscow, 2006. no. 5, pp. 10-12. (In Russian)
9. Misrieva B.U. Resistance of varieties and parental lines of F₁ hybrids of white cabbage seed plants to rutabaga barid (*Baris coerulescens* Scop.) in Southern Dagestan. *Selektsiya i semenovodstvo ovoshchnykh kul'tur* [Breeding and seed production of vegetable crops]. 2014, no. 45, pp. 406-411. (In Russian)
10. Misrieva B.U. Species identification of barids in Dagestan based on morphometry of distinctive features. *Vestnik sotsial'no-pedagogicheskogo instituta* [Bulletin of the Social and Pedagogical Institute]. 2015, no. 4 (16), pp. 406-411. (In Russian)
11. Misrieva B.U. Economic efficiency of the integrated system for the protection of non-planting seed plants of white cabbage. *Vegetables of Russia*. 2017. N 3 (36). pp. 93-96. (In Russian) DOI: 10.18619/2072-9146-2017-3-93-96
12. Byzova Yu.B., Gilyarov M.S. et al. *Kolichestvennye metody v pochvennoi zoologii* [Quantitative methods in soil zoology]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 288 p. (In Russian)
13. Paly V.F. *Metodika izucheniya fauny i fenologii nasekomykh* [Methods for studying the fauna and phenology of insects]. Voronezh, Central Black Earth Book Publ., 1970, 312 p. (In Russian)
14. Fasulati K.K. *Polevoe izuchenie nazemnykh bespozvonochnykh* [Field study of terrestrial invertebrates]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971, 424 p. (In Russian)
15. Dedyukhin S.V. *Printsipy i metody ekologo-faunisticheskikh issledovaniy nazemnykh nasekomykh* [Principles and methods of ecological and faunal studies of terrestrial insects]. Izhevsk, Udmurt University Publ., 2011, 93 p. (In Russian)
16. Korotyaev B.A., Konstantinov A.S., Volkovitsh M.G. Insect Biodiversity in the Palearctic Region. In: R.G. Foottit, P.H. Adler. Insect Biodiversity: Science and Society. Wiley Online Library. Published online 21. VII. 2017, pp. 141-202. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118945568.ch7> (accessed 26.03.2021)
17. Pivovarov V.F. *Ovoshchi Rossii* [Russian vegetables]. Moscow, Russian Seeds Publ., 1995, 256 p. (In Russian)
18. Lizgunova T. V. *Kul'turnaya flora SSSR. T. 11. Kapusta* [Cultural flora of the USSR. Vol. 11. Cabbage]. Leningrad, Kolos Publ., 1984, 328 p. (In Russian)

REFERENCES

1. Nikulina O.N. New data on larvae of weevil beetles of the tribe Baridini (Coleoptera, Curculionidae) from Mongolia and Central Asia. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological Journal]. 2012, vol. 91, no. 10, pp. 1190-1198.
2. Misrieva B.U. Harmfulness of rutabaga baride (*Baris coerulescens* Scop.) on cabbage seed plants in Dagestan. *Vegetables of Russia*, 2018, no. 1 (39), pp. 82-85. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-1-82-85
3. Korotyaev B.A., Ismailova M.Sh., Arzanov Yu.G., Davidyan G.E., Prasolov V.I. Spring fauna of beetles-weevils (Coleoptera: Apionidae, Rhynchophoridae, Curculionidae) of Lowland and Piedmont Dagestan. *Entomologicheskoe obozrenie* [Entomological Review]. 1993, vol. 72, no. 4, pp. 836-865. (In Russian)
4. Abdurakhmanov G.M., Ismailova M.Sh., Mukhtarova G.M. *Ekologo-faunisticheskaya kharakteristika i zoogeograficheskii analiz zhukov-dolgonosikov Vnutrennego Gornogo Dagestana* [Ecological-faunistic characteristics and

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Гульнара М. Мухтарова участвовала в полевых экспедиционных исследованиях, собирала энтомологический материал, определяла виды, анализировала литературные данные, составляла аннотированные списки видов, коллекционных материалов, написала рукопись. Патимат А. Бекшокова проводила анализ литературных данных и коллекционных материалов о распространении видов в различных физико-географических областях Дагестана. Гульнара М. Нахибашева участвовала в полевых экспедиционных исследованиях, собирала энтомологический материал, составляла списки энтомологических коллекций. Надира О. Гусейнова проводила анализ литературных данных, редактировала и корректировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Gulnara M. Mukhtarova participated in field researches, collected entomological material, undertook determination of species, analysed the literature, prepared annotated lists and collection of materials and wrote the manuscript. Patimat A. Bekshokova analysed the literature and collection of materials about the distribution of species in different physical and geographic areas of Dagestan. Gyulnara M. Nakhibasheva participated in field expedition researches, collection of entomological material and the preparation of entomological collections. Nadira O. Guseynova analysed the literature and corrected the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Гульнара М. Мухтарова / Gulnara M. Mukhtarova <https://orcid.org/0000-0001-8232-2115>

Патимат А. Бекшокова / Patimat A. Bekshokova <https://orcid.org/0000-0001-5473-0728>

Гульнара М. Нахибашева / Gyulnara M. Nakhibasheva <https://orcid.org/0000-0001-9356-9033>

Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-3979-42933>

Оригинальная статья / Original article
УДК 595.2; 574.3; 595.7; 632.75; 632.92
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-36-48

Биологические особенности меткалфы (*Metcalfa pruinosa* Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) и вопросы регуляции её численности в центральной зоне Краснодарского края

Ирина В. Балахнина, Марина В. Пушня, Оксана Ю. Кремнева, Алёна Ю. Собина,
Екатерина Г. Снесарева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр
биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Ирина В. Балахнина, научный сотрудник,
лаборатория фитосанитарного мониторинга
агроэкосистем, Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение Федеральный
научный центр биологической защиты
растений; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о 39.
Тел. +79181661807
Email balakhnina@yandex.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>

Формат цитирования

Балахнина И.В., Пушня М.В., Кремнева О.Ю.,
Собина А.Ю., Снесарева Е.Г. Биологические
особенности меткалфы (*Metcalfa pruinosa* Say,
1830) (Homoptera, Flatidae) и вопросы
регуляции её численности в центральной зоне
Краснодарского края // Юг России: экология,
развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 36-48. DOI:
10.18470/1992-1098-2022-1-36-48

Получена 1 ноября 2021 г.
Прошла рецензирование 16 декабря 2021 г.
Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель. Изучение некоторых биологических особенностей инвазивного потенциально-опасного для юга России вида Меткалфы (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Homoptera, Flatidae), и возможности регулирования её численности малоопасными пестицидами (3-4 класс опасности): актарой, фитовермом и биопрепаратом битоксибациллином.

Материал и методы. Мониторинг Меткалфы проводился на деревьях и кустарниках города Краснодара и его окрестностей в различных зонах антропогенной нагрузки в 2018-2021 гг.

Результаты. Выполнялась первичная оценка эффективности пестицидов, выявление возможных мест резерваций меткалфы и изучение фенологии. Отрождение личинок этого вида происходит весной с конца апреля по июнь, одно поколение в год, но в конце августа – начале октября встречались личинки младших возрастов, что позволяет предположить развитие второго неполного поколения и подтверждает литературные данные о возможном увеличении числа поколений меткалфы в новых ареалах. Так же отмечались совместные колонии меткалфы с клопами кружевницами. Проводился мониторинг светолушечками на основе сверхярких светодиодов.

Заключение. По итогам маршрутных обследований в наших исследованиях наиболее привлекательными для цикадки оказались растения из семейства Rosaceae, что составило около 25% от регистрируемых видов. На пике лёта уловистость светолушечек составила в наших опытах до 210 экз./лов. В результате испытаний препаратов на личинках младших возрастов 100% эффективность показала обработка актарой, ВДГ (2 л/га); 92-85% – фитовермом, КЭ (1 л/га) и 83-78% битоксибациллином, П (4 л/га).

Ключевые слова

Садовая агроэкосистема, инвазивный вид, мониторинг, фитофаг, *Metcalfa*.

Biological features of Metcalfa (*Metcalfa pruinosa* Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) and the issues of regulation of its abundance in the central zone of Krasnodar Territory

Irina V. Balakhnina, Marina V. Pushnya, Oksana Yu. Kremneva, Alena Yu. Sobina
and Ekaterina G. Snesareva

Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Scientific Center for Biological Plant Protection", Krasnodar, Russia

Principal contact

Irina V. Balakhnina, Researcher, Laboratory of Phytosanitary Monitoring of Agroecosystems, Federal Scientific Centre for Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Russia 350039. Tel. +79181661807
Email balakhnina@yandex.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>

How to cite this article

Balakhnina I.V., Pushnya M.V., Kremneva O.Yu., Sobina A.Yu., Snesareva E.G. Biological features of Metcalfa (*Metcalfa pruinosa* Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) and the issues of regulation of its abundance in the central zone of Krasnodar Territory. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp.36-48. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-36-48

Received 1 November 2021

Revised 16 December 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. The study of some biological features of the potentially dangerous for the south of Russia species of Metcalfa or citrus flaccid planthopper (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) and the possibility of regulating its abundance with low-hazard pesticides (hazard class 3-4): actara, phytoverm and the biopreparation, bitoxibacillin.

Material and Methods. Metcalfa's monitoring was carried out on trees and shrubs in the city of Krasnodar and its environs in various zones of anthropogenic load in 2018-2021.

Results. An initial assessment of the effectiveness of pesticides was carried out, as well as the identification of possible sites of the presence of Metcalfa and the study of phenology. The hatching of larvae of this species occurs in spring from late April to June, one generation per year. However, in late August – early October, larvae of younger ages were found, which indicates the development of a second incomplete generation and confirms the literature data on a possible increase in the number of planthopper generations in new areas. Joint colonies of Metcalfa with lace beetles were also noted. Monitoring was carried out using light traps based on superbright LEDs.

Conclusion. Based on the results of route surveys in our studies, plants from the Rosaceae family turned out to be the most attractive for planthoppers, which accounted for about 25% of the recorded species. At the peak of flight, the catchability of light traps in our experiments was up to 210. As a result of testing preparations on larvae of younger ages, treatment with Aktara (2 l/ha) showed 100% efficiency; 92-85% – Fitoverm (1 l/ha) and 83-78% Bitoxibacillin (4 l/ha).

Key Words

Garden agroecosystem, invasive species, monitoring, phytophage, *Metcalfa*.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря активной деятельности человека, особенно всё больше развивающимся межконтинентальным торговым связям, распространение чужеродных видов растений и животных приобрело глобальный характер и превратилось в значимую проблему, привлекающую внимание населения. Причинами увеличения инвазионного процесса в мире являются антропогенные факторы, интенсивность транспортных перевозок и глобальные климатические изменения [1]. Значительную роль в завозе адвентивных организмов играет и интродукция растений, как декоративных, так и зарубежного посадочного материала сельскохозяйственных культур, что приводит к изменениям ареалов и встречаемости аборигенных видов [2]. Инвазивные виды членистоногих, попадая в новые для них климатические и экологические условия, часто характеризуются всплесками численности, увеличением вредоносности, расширением кормовой базы за счёт новых для них культур, чему способствует отсутствие энтомофагов, регулирующих их численность и снижение устойчивости к ним растений. В результате виды-вселенцы могут становиться экономически значимыми. Аборигенные виды могут стать редкими, вплоть до угрозы исчезновения под влиянием конкуренции инвазивных [1]. Основной вред адвентивных видов состоит в том, что они часто оказывают негативное воздействие на биоразнообразие, и в результате дестабилизируют агроценозы и природные экосистемы [3].

Первые находки многих экономически значимых адвентивных видов насекомых, родом из Северной Америки в Европу за период с 60-х годов XX века были сделаны на севере Италии, затем все эти инвайдеры были найдены в разных районах Европейской части России – преимущественно в Краснодарском крае. Виды-вселенцы чаще всего попадают в города, где происходит их увеличение численности за счёт декоративных растений и пригородных лесных природных и искусственных лесов. Интродуцированные экзотические и местные виды растений, обитающие в сильно изменённой городской среде, под влиянием отрицательных факторов различных загрязнений становятся уязвимыми для различных вредителей, в том числе адвентивных [4]. Городские условия благоприятны для интенсивного размножения многих фитофагов за счёт загрязнения окружающей среды (в том числе свето-, шумо-, теплозагрязнений и т.д.) и в результате снижения иммунитета растений. Увеличение химических обработок в сельском хозяйстве приводит к дестабилизации агроэкосистем, что тоже создаёт предпосылки для появления новых видов фитофагов-вредителей, в том числе адвентивных видов. Цикадки представляют собой одну из крупнейших и наиболее распространенных групп вредителей, сосущих соки растений, встречающихся в дикой природе и в сельскохозяйственных средах обитания. Они наносят ущерб растениям непосредственно через кормление и откладку яиц или косвенно через передачу опасных патогенов растений [5-7]. К ним относится и меткалфа (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830)) (Homoptera, Flatidae),

родом из Северной Америки. В Европе была обнаружена на севере Италии в предместьях г. Тревизо в 1979 г., в России впервые обнаружена в Краснодарском крае в пос. Лазаревское в 2008 г. [8]. Личинки меткалфы в процессе жизнедеятельности выделяют большое количество медвяной росы и известны случаи её завоза пчеловодами для получения падевого мёда [9].

Цель работы – изучение биологических особенностей Меткалфы (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830)) (Homoptera, Flatidae) в условиях центральной зоны Краснодарского края, разработка оптимальной системы ее мониторинга, а также исследование возможностей использования биологических средств защиты растений для регуляции ее численности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2018-2021 гг. в г. Краснодаре и его окрестностях в различных рекреационных зонах: на окраинах, представляющих собой слабоизмененные участки степной растительности, зелёных зонах (скверах и парках), промышленных зонах, селитебные зоны (жилые районы), пригородных, разреженных посадках, пригородных загущенных посадках на древесно-кустарниковых растениях. Метеоусловия за весь период были в среднем стандартные (табл. 1). В вегетационный период 2018 г. температура воздуха в целом была выше, чем средняя многолетняя весь сезон. В 2019 и 2020 гг. апрель был прохладнее, в 2020 г. май так же отличался более низкой температурой, но в 2019 г. в мае отмечали повышение температуры относительно средних многолетних, в остальные месяцы различия были в среднем небольшие. В 2021 г. отмечались повышенные летние температуры и увеличение по сравнению со средними многолетними количества осадков в апреле, июне, августе и сентябре.

Объектом наших исследований являлась Меткалфа *M. pruinosa* из Северной и Центральной Америки. В Краснодарском крае она обнаружена в 2008 г. Для данного вида характерна перезимовка в состоянии яйца. Самки в конце лета – начале осени откладывают в кору ветвей деревьев около 100 шт. яиц, где они зимуют. Весной отрождающиеся личинки падают вниз под крону деревьев, и некоторое время там питаются покровными или сорными растениями, постепенно перемещаясь в другие стадии [10]. Например, заселяя полевые культуры, расположенные вблизи мест зимовки меткалфы [11]. Мониторинг личинок младших возрастов проводят с использованием прозрачных липких ловушек [12]. Личинки, отличаясь малоподвижным образом жизни, особенно младшие возраста, так же, как и имаго, питаются соками растений, образуя колонии. Они покрыты восковым налётом, в пятом возрасте достигают длины 4 мм. [13]. Колонии личинок Меткалфы выделяют восковой налет на растения [14]. По мере роста их колонии нимфы производят огромное количество медвяной росы, которая падает на вегетативные и генеративные части растений-хозяев и скатывается под них на грунт. Эта падь способствует образованию сажистого гриба, что

приводит к ухудшению декоративности, нарушает транспирацию, ухудшает состояние растений, приводя у сельскохозяйственных культур к снижению урожайности и сортности продукции [15]. Также питание цикадок на листьях растений часто приводит к их хлорозу [16; 17]. Имаго в среднем 8 мм. Глаза жёлтого цвета. Крылья бело-голубого цвета широко-треугольные с беловатыми и тёмными пятнышками. В

состоянии покоя сложены кровлеобразно [18]. Многими исследователями отмечается одно поколение [19-21]. В Австрии в октябре регистрировались личинки младших возрастов, что не исключает второго факультативного [22]. А в центральной части Корейского полуострова отмечено развитие двух генераций [23; 24].

Таблица 1. Средняя температура воздуха по годам, метеостанция Станция М-2 Краснодар

Table 1. Average air temperature by years, weather station, Station M-2 Krasnodar

Показатель Index	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September
Температура воздуха, °C / Air temperature, °C						
Среднегодовая Long-term average temperature	12,1	17,2	21,3	24,1	23,7	18,5
2018	13,8	19,4	23,8	26,2	25,8	19,9
2019	11,9	19,1	25,3	23,0	23,7	18,6
2020	10,4	16,5	22,9	25,4	23,8	21,3
2021	11,8	17,7	24,0	26,3	25,6	17,2
Осадки, мм / Precipitation, mm						
Среднегодовые Average long-term precipitation	51	68	86	56	44	46
2018	26	42	11	117	4	95
2019	41	66	23	128	37	40,4
2020	4,3	89,9	38,6	110,8	10,7	88,9
2021	86,1	64,2	109,0	28,0	153,3	90,3

Меткалфа – широкий полифаг, заселяющий более 120 видов растений из 50 семейств на Родине, а в Европе этот список расширился до почти 400 из 78 семейств [25], то же происходит и в Корее [26]. При сравнении списков кормовых растений меткалфы пород в различных странах Европы и крупных регионах не получается выделить единую группу, так как одни и те же виды значительно отличаются по предпочтению этого фитофага даже на сопредельных территориях, что делает актуальным проведение этих исследований в каждом конкретном регионе [27].

Нами проводился мониторинг этого фитофага со II декады апреля до конца сентября. Маршрутные обследования проводились в г. Краснодаре и его пригородах с целью изучения распределения популяции меткалфы на древесно-кустарниковых растениях: декоративных, плодовых и др.

Определение степени заселения древесно-кустарниковых растений проводилось по шкале, разработанной для виноградников Е.Г. Юрченко [28], адаптированной для наших исследований (табл. 2) [29].

Таблица 2. Шкала степени заселения меткалфой древесно-кустарниковых растений

Table 2. Scale of degree of colonization of trees and shrubs by Metcalfoy

Степень заселения The degree of phytophage colonisation	Интенсивность, экз. Intensity, ind.	Распространение*, заселение растений % Spreading*, plant colonisation by phytophage %
I	≤10	≤25
II	10-50	25-50
III	50-80	50-80
IV	≥80	≥80

*Примечание: * заселение растений одного или разных видов в зависимости от целей (общее распространение в парке, лесной полосе и т.д. или исследование привлекательности какого-либо вида)*

*Note: * colonisation of plants of the same or different species, depending on the purpose (general distribution in the park, forest belt, etc., or the study of the attractiveness of any species)*

Учеты численности меткалфы после обработки проводились по стандартным методикам.

Эффективность считали по модифицированной формуле Аббота, предложенной Хендерсоном и Хилтоном [30] учитывающей миграцию Меткалфы:

$$Э = 100 * (1 - Т_а * С_в / Т_в * С_а), \text{ где}$$

Э – эффективность, выраженная в процентном снижении численности с поправкой на контроль;

Т_в – число живых особей перед обработкой в опыте;

Т_а – число живых особей после обработки в опыте;

Св – число живых особей в контроле в учёте перед обработкой в опыте;

Са – число живых особей в контроле в последующих учётах.

Так же с помощью светоловушек (КЛ-2) с 2 июля по 12 сентября 2018-2020 гг. нами проводился мониторинг имаго цикадки. Светоловушки разработаны в Федеральном научном центре биологической защиты растений (ФНЦБЗР) на основе сверхярких светодиодов. Источником энергии является солнечный свет, а сбор насекомых проводится в сетчатый мешок, конструкция которого не допускает гибели энтомофагов [31; 32]. В яблоневом саду ФНЦБЗР (год посадки 2010) были размещены на расстоянии 30 м друг от друга две ловушки. Выбор материала и учёт происходили раз в неделю.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее благоприятной температурой для цикадки оказался диапазон +25-30°C. Климат Краснодарского края оказался подходящим для меткалфы, с этим связано быстрое расширение ареала и увеличение вредоносности цикадки в настоящее время. По нашим наблюдениям имаго появляется с III декады июня по сентябрь. В Краснодарском крае выход личинок из яиц начинается с конца апреля – начала мая и продолжается до июля. Исключение составляют личинки младших возрастов, регистрирующиеся в Краснодаре в начале сентября по октябрь (возможно факультативная генерация). Развитие от нимфы до имаго в среднем составляет сорок суток.

Нимфы производят воск в количестве намного большем, чем у имаго. Воск интенсивно покрывает все тело личинок и места их питания. Восковым налётом также покрыты тело и крылья взрослых особей *M. pruinosa*. Это связано с защитой от неблагоприятных абиотических условий таких как: ультрафиолетовое излучение или дождь, и биотических факторов – энтомопатогенных грибов, паразитоидных насекомых и хищников. Более того, у этого вида воск, вероятно, играет важную роль в предотвращении загрязнения особей медвяной росой, непрерывно выделяемой нимфами и взрослыми, которая смазывает кутикулу липкими каплями.

Восковой налёт белого цвета, хорошо заметен на заселённых частях растений и служит хорошим ориентиром при проведении мониторинга численности вредителя, т.к. до появления имаго он проводится только маршрутными обследованиями. Возможно, наличие воска и способ питания делает личинок старшего возраста и имаго устойчивыми ко многим препаратам контактного действия.

Заселение меткалфой древесно-кустарниковых растений приводит к снижению их зимостойкости, это выражается в усыхании побегов, а также приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Полезащитные лесополосы нередко выступают резерватами меткалфы, особенно в органическом земледелии [33]. Нами отмечается, что меткалфа охотнее размножается в местах, защищённых от ветра, чем в

продуваемых насаждениях. Кроме высасывания соков растений, меткалфа является переносчиком некоторых заболеваний, например, бактериального рака, вызванного *Pseudomonas syringae* pv. *актинидии* [34] и фитоплазмы «*Candidatus Phytoplasma asteris*» [35].

Для изучения динамики численности *M. pruinosa* использовались цветные (жёлтые и белые) клеевые ловушки, которые широко используемые для мониторинга различных вредителей. Имаго, привлечённые цветом ловушки, фиксируются клеем, однако они оказались не эффективными [29]. Наибольшую значимость для мониторинга продемонстрировали светоловушки разработанные в ФНЦБЗР [36-38]. Мониторинг с использованием светодиодных ловушек оказался эффективным (рис. 1). Как видно из трехлетних данных (2018-2020 гг.), приведенных на рисунке 1, количество отловленных имаго *M. pruinosa* в одну ловушку составляло 52,0-210,0 экз. С их помощью не только можно делать прогноз численности запаса вредителя, но и проводить частичный отлов меткалфы. Однако этот способ имеет один недостаток – мониторинг возможен только для имаго, а наибольшую вредоносность культурам несут именно личинки. Так как основная вредящая стадия меткалфы – это многочисленные личинки, мониторинг численности и вредоносности этой стадии может проводиться только маршрутными обследованиями. Есть также сведения о мониторинге отложенных яиц на акации белой, но он более трудоёмкий и в своих исследованиях мы его не использовали [39].

Наши исследования показали, что цикадка охотно заселяет городские посадки. Как следует из полученных результатов, численность имаго и нимф вредителя составляла от нескольких особей до больших колоний более 80 экз. в разных зонах наблюдения (табл. 3). Многие фитофаги предпочитают защищённые от ветра участки [40].

В 2018 году из-за минимального количества осадков (15 мм) и высоких температур (25,5°C) численность цикадки была высокой, с пиком численности во II-й декаде июля (26,2°C). Затем отмечалось снижение численности вредителя, что связано, прежде всего, с понижением температуры воздуха (22°C) в III декаде августа. В 2020 году по сравнению с 2019 годом у меткалфы отмечается более быстрое развитие фазы личинок. Появление первых личинок регистрируется во II-III декаде мая 2019 г., а откладка яиц в I декаду сентября. Единично наблюдались личинки меткалфы до конца сентября включительно. В 2020 году наблюдаются первые личинки в июне. Это связано с тем, что в 2020 был неблагоприятный температурный режим. В 2020 году единично отмечаются личинки меткалфы также в августе. В 2021 г. отмечались повышенные летние температуры и повышенное количество осадков в некоторых весенних и летних месяцах. Личинок младших возрастов с июля месяца встречалось намного меньше, чем в предыдущие годы. Следовательно, можно сделать вывод, что абиотические факторы среды оказывают существенное влияние на цикадку (табл. 4).

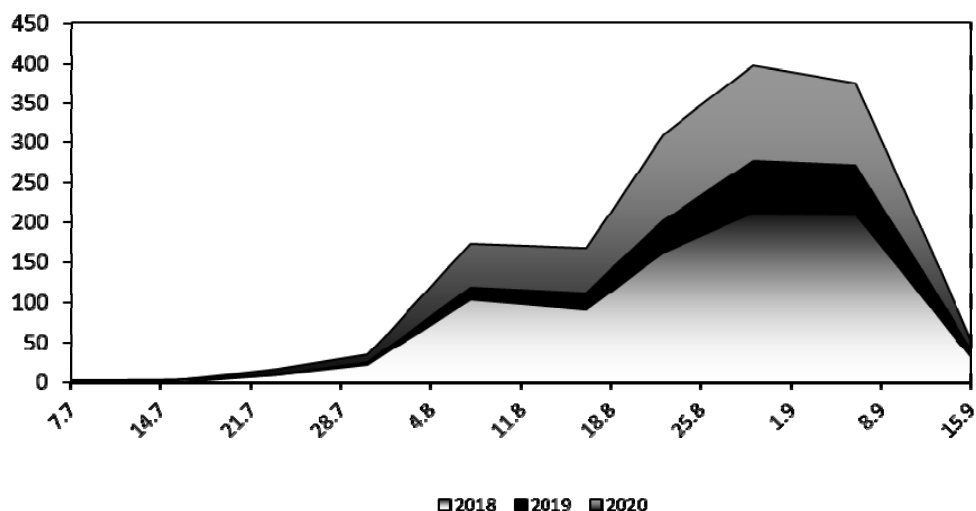


Рисунок 1. Динамика численности *M. pruinosa*, привлечённой в светоловушки. Яблоневый сад, г. Краснодар, 2018-2020 гг.

Figure 1. Population dynamics of *M. pruinosa* attracted to light traps. Apple orchard, Krasnodar, 2018-2020

Таблица 3. Распределение и степень заселения *M. pruinosa* в г. Краснодаре, 2018-2021 гг.

Table 3. Stationary distribution and colonisation of *M. pruinosa* in Krasnodar, 2018-2021

Год Year	Слабоизмененные участки степной растительности на окраинах города Slightly modified steppe areas vegetation on the outskirts of city	Зеленые зоны Green areas	Промышленные зоны Industrial zones	Селитебная зона Residential area	Пригородные, разреженные посадки Suburban, sparse plantings	Пригородные, загущенные посадки Suburban, dense plantings
2018	+++ I*	+++ II	++ I-II	+++ II-III	++ I-II	+++ III-IV
2019	+++ I	+++ II	++ I-II	++ II	++ I-II	+++ III-IV
2020	+++ I	+++ II-III	++ I-II	+++ II-III	++ I	+++ IV
2021	+++ I	+++ II-III	++ I-II	++ II	++ I-II	+++ III-IV

Примечание: +++ часто; ++обычно; + редко; – не отмечен. *Баллы степени заселения меткалфой древесно-кустарниковых растений (см. табл. 2)

Note: +++ often; ++usually; + rarely; – not noted. *Points of degree of colonisation of trees and shrubs with Metcalfa (see Table 2)

Таблица 4. Фенологические фазы меткалфы в условиях городской и пригородной зоне города Краснодар

Table 4. Phenological phases of Metcalfa in the urban and suburban areas of the city of Krasnodar

Год Year	Продолжительность фаз развития в течение месяца, по декадам Duration of development phases by month and by decades															
	IV				V				VI				VII			
2018	=	=	=	=	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
2019	=	=	=	=	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
2020	=	=	=	=	=	=	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
2021	=	=	=	=	=	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+

Примечание: = перезимовавшие яйца; – личинки; + имаго; * откладка яиц

Note: = overwintered eggs; – larvae; + imago; * oviposition

городской и пригородной зоне мы отмечали *M. pruinosa* на разных видах растений из нескольких ботанических семейств (табл. 5).

Table 5. Metcalfa occurrence on trees and shrubs in the urban and suburban areas of the city of Krasnodar (2018-2021)

42

		<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	
		<i>Prunus laurocerasus</i> L.	
		<i>Prunus domestica</i> L.	
		<i>Rosa cinnamomea</i> L.	+
		<i>Rósa</i> sp.	
		<i>Rubus idaeus</i> L.	+
		<i>Sorbaria sorbifolia</i> L.	
		<i>Sorbus aucuparia</i> L.	
		<i>Spiraea japonica</i> L.	
		<i>Spiraea vanhouttei</i> Zabel	
18	Salicaceae	<i>Salix babylonica</i> L.	
		<i>Populus nigra</i> L.	
19	Sapindaceae	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	
		<i>Acer tataricum</i> L.	
20	Solanaceae	<i>Lycium barbarum</i> L.	
		<i>Vitis vinifera</i> L.	
21	Vitaceae	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	
		<i>Ampelopsis aconitifolia</i> Bunge	

Из всех обнаруженных растений, заселяемых цикадкой, наибольшее число видов зарегистрировано из семейства Rosaceae и составило около 27% (табл. 5).

Анализ происхождения выявленных растений-хозяев показал, что цикадка в новых условиях заселяет в основном различные европейские и азиатские виды, и только около 1% североамериканских. Проблема резерватов меткалфы изучается не только у нас, но и в других странах, например, в Корее [33].

В первые годы с 2008 после инвазии по нашим наблюдениям в колониях цикадки белой крайне редко отмечались другие виды. В последнее время часто встречаются совместные её колонии с колониями грушевой и платановой кружевницы на некоторых видах растений.

При заселении растений у меткалфы заметны некоторые предпочтения, как среди плодовых, так и декоративных культур. Например, наибольшие колонии и наиболее быстрое заселение отмечались у таких культур: виноград, персик, слива, абрикос, ильм, бирючина, липа, боярышник, виноград девичий и др. Отдельные колонии меткалфы встречались и на хвойных, в том числе и на тисе ягодном *Taxus baccata* L. Нами отмечалось так же, что заселение растений часто происходит не равномерно: у бирючины в первую очередь меткалфа поселяется на соцветиях, у липы и сирени – на нижней стороне листьев, у ильма на побегах, у черешни и вишни на плодоножках и т.д. При увеличении численности постепенно заселяются и другие части растения-хозяина. Широкий спектр культур, используемых для питания цикадкой, служит так же резерватами для этого вида инвайдера, а местами зимовки – только древесные растения, поэтому лесные полосы играют важную роль для зимовки и последующего увеличения численности меткалфы, особенно на полевых культурах. Нами проводились исследования только на древесно-кустарниковых растениях, а в литературе встречаются сведения об использовании некоторых культур, как ловчих для цикадки – это подсолнечник, бобы [41].

Подсолнечник используется как ловчая культура для цикадок и других родов [42].

В сельском хозяйстве против цикадки в основном используются препараты из «Списка пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» [43], из которых экологически малоопасными являются, например, акарин, фитоверм, актара, но они не разрешены в органическом земледелии. Есть сведения об энтомофаге, но в настоящее время он отсутствует в России [44]. Есть сведения и об испытаниях репеллентов [45] и биопрепаратов [46].

Нами в 2013 г. проводились эксперименты по определению эффективности, рекомендуемых малоопасных препаратов (3-4 класс опасности) для экологической защиты: фитоверма и актара, которые оказались способными регулировать численность старших нимф возрастов меткалфы, при этом эффективность Актары, ВДГ в первые трое суток достигала 100%, а фитоверма, КЭ – 86% [9]. В 2020 году опыт был продолжен с введением битоксиациллина, П разрешённого в органическом земледелии (табл. 6), его так же можно использовать в городских условиях и курортной зоне [43].

Применение актара на личинках младших возрастов привело к 100% смертности, а перемещение их с соседних участков происходило только на 14 сут. Биологическая эффективность фитоверма на третьи сутки достигала 92%, а к 14-ым – 85%. битоксиациллин показал биологическую эффективность на третьи сутки – 83%, а к 14-ым – 78%, хотя он малоэффективен, но при применении агротехнических методов численность цикадки можно регулировать (табл. 6). В опыте мы учитывали биологические особенности вида, а именно способ зимовки меткалфы в стадии яйца под корой деревьев в лесных полосах, поэтому обработка проводилась под кронами деревьев в период массового отрождения личинок, что даёт возможность проведения регуляции численности, не применяя препараты в посевах с/х культур.

Таблица 6. Биологическая эффективность препаратов фитоверма, актары и битоксибациллина против личинок меткалфы младших возрастов (Краснодар, 2020 г.)**Table 6.** Biological efficacy of phytoverm, actara and bitoxibacillin preparations against young Metcalfa larvae (Krasnodar, 2020)

Вариант опыта Experimental variant	Среднее число личинок в опыте, экз. Average number of larvae in the experiment, ind.	Снижение численности с поправкой на контроль, % Decrease in numbers adjusted for control, %					
		После обработки, сут* After processing, days*			3	7	14
	До обработки Before processing	3	7	14			
Актара, ВДГ (2 л/га) Aktara, VDG (2 l/ha)	113,75	0	0	0,75	100	100	100
Фитоверм, КЭ (1 л/га) Fitoverm, KE (1 l/ha)	114,5	9	10,25	14	92	92	85
Битоксибациллин, П (4 л/га) Bitoxibacillin, P (4 l/ha)	115	19	25,72	31,75	83	80	78
Контроль / Control	114	114	127	143	-		

Примечание: *Согласно проведённому тесту Дункана все различия между показателями снижения численности личинок в вариантах опыта по отношению к контролю статистически достоверны

Note: *According to the Duncan test, all differences between the indicators of the decrease in the number of larvae in the experimental variants in relation to the control are statistically significant

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что в центральной зоне Краснодарского края меткалфа является потенциально опасным и хорошо адаптирующимся видом, который размножается на различных дикорастущих и декоративных растениях, служащими для неё резерватами.

Для прогнозирования и снижения численности цикадки мы рекомендуем светодиодные ловушки (КЛ-2) максимальная уловистость которых в наших опытах составила в 2018 г. – 213 экз./лов. в неделю, в 2019 г. – 55 экз./лов. в неделю, а в 2020 г. – 120 экз./лов. в неделю.

Численность имаго и нимф вредителя в 2018-2021 гг. составляла от нескольких особей до больших колоний более 80 экз. в разных зонах наблюдения, причём в местах загущенных посадок она была максимальной.

Абиотические факторы среды по нашим наблюдениям, оказывают существенное влияние на цикадку и её развитие. Отмечающиеся личинки младших возрастов в конце лета, начала осени, предположительно можно отнести ко второму поколению, возможно не полному.

Среди садовых культур для цикадки наиболее привлекательны виноград, персик, слива, абрикос, черешня, вишня и алыча. Она заселяет около 40% и выше деревьев в посадках этих видов, без проведения защитных мероприятий.

Из растительности она поселяется на представителях более 20 семейств древесно-кустарниковых растений, что нужно учитывать при конструировании защитных лесополос и озеленении, особенно в хозяйствах, занимающихся органическим земледелием.

Из средств защиты растений против *M. pruinosa* наиболее эффективными оказались препараты актары и фитоверма, при этом гибель

личинок цикадки старших возрастов составила на третьи сутки после применения актары – 100%, фитоверма – 85%, кроме того в органическом земледелии можно применять битоксибациллин по личинкам младших возрастов.

В связи с широким распространением данного вида, необходим дальнейший мониторинг и изучение ареалов распространения, а также подбор эффективных мер защиты культур от фитофага. Этот вопрос является важным для снижения вредоносности и регулирования численности этого адвентивного вида

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0001.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research work on topic No. FGRN-2022-0001.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дгебуадзе Ю.Ю. Чужеродные виды в Голарктике: некоторые результаты и перспективы исследований // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2014. N 1. С. 2-7.
2. Korotyaev B.A. A new species of the Weevil genus *Auleutes* Dietz (Coleoptera, Curculionidae: Ceutorhynchinae) from the U. S. A. // Entomological Review. 2013. V. 93. N 3. P. 398-403.
3. Lee D.S., Bae Y.S., Byun, B.K., Lee S., Park J., Park Y.S. Occurrence Prediction of the Citrus Flatid Planthopper (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830)) in South Korea Using a

- Random Forest Model // *Forests*. 2019. V. 10. N 7. P. 583. DOI: 10.3390/f10070583
4. Щуров В.И., Замотайлов А.С., Скворцов М.М., Щурова А.В., Белый А.И. Оценка популяционных характеристик адвентивных насекомых-фитофагов (Insecta: Heteroptera, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera) в лесах Северо-Западного Кавказа: практика 2010-2019 годов // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2019. N 79. С. 135-158. DOI: 10.21515/1999-1703-79-135-158
 5. El-Hady R., El-Hawagry M., Soliman M. Diversity and temporal variations of the leafhopper fauna (Cicadellidae, Auchenorrhyncha, Hemiptera) in two ecological zones of Egypt // *Journal of Natural History*. 2021. V. 54. N 43-44. P. 2869-2887. DOI: 10.1080/00222933.2021.1874560
 6. Ribeiro G., Martins I.C., Campos L., Mello M., Mejdalani G. Spatial and temporal distribution of Leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidae) in a Corn Field // *Neotropical Entomology*. 2021. N 50. P. 630-642. DOI: 10.1007/s13744-021-00880-4
 7. Pinedo-Escatel A., Moya-Raygoza G. Diversity of Leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidae) associated with border grasses and maize during the wet and dry seasons in Mexico // *Environmental entomology*. 2018. V. 47. N 2. P. 282-291. DOI: 10.1093/ee/nvx204
 8. Gnezdilov V.M., Sugonyaev T.S. First record of *Metcalfa pruinosa* (Homoptera: Fulgoroidea: Flatidae) from Russia // *Zoosystematica Rossica*. 2009. V. 18. N 2. P. 260-261.
 9. Balakhnina I.V., Pastarnak I.N., Gnezdilov V.M. Monitoring and control of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera, Auchenorrhyncha: Flatidae) in Krasnodar Territory // *Entomological Review*. 2014. V. 94. N 8. P. 1067-1072. DOI: 10.1134/S001387381408003X
 10. Kim M.-J., Lee J.-H. Egg hatching and first instar falling models of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) // *Insects*. 2020. V. 11. N 6. P. 345. DOI: 10.3390/insects11060345
 11. Kim M.J., Lee J.H. Immigration and population simulation models for *Metcalfa pruinosa* nymphs in crop fields // *Crop Protection*. 2021. V. 144. Supplement 105608 DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105608
 12. Park B., Kim M.J., Lee S.K., Kim G.H. Analysis for dispersal and spatial pattern of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) in southern sweet persimmon orchard // *Korean Journal of Applied Entomology*. 2014. V. 58. N 4. P. 291-297. DOI: 10.5656/KSAE.2019.11.0.053
 13. Popova L., Bondareva L., Polozhenets V., Nemeritskaya L. Formation of persistent population of invasive species *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Auchenorrhyncha: Flatidae) in the South of Ukraine // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2019. V. 10. N 1. P. 48-51. DOI: 10.1134/S2075111719010132
 14. Gubin A., Martynov V., Nikulina T. *Tautoneura polymitusa* Oh & Jung, 2016 (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae): A new alien species of leafhoppers in the fauna of Eastern Europe // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2020. V. 11. N 3. P. 12-16. DOI: 10.1134/S2075111720040037
 15. Duso C. A new pest of vine in Europe: *Metcalfa pruinosa* Say (Homoptera: Flatidae). Integrated Pest Control in Viticulture. P. 103-107. London: CRC Press. 2021, P. 408. DOI: 10.1201/9781003211426-16
 16. Šćiban M., Mirić R., Kosovac A. First record of the Japanese grape leafhopper *Arboridia kakogawana* (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae: Typhlocybinae) in Serbia // *Acta Entomologica Serbica*. 2021. V. 26. N 1. P. 71-74. DOI: 10.5281/zenodo.4551518
 17. Claude B., Baptista P., Chatzivassiliou E., Di Serio F. et al. Pest categorisation of *Arboridia kakogawana* // *EFSA Journal*. 2022. V. 20. Iss. 1. e07023. DOI: 10.2903/j.efsa.2022.7023
 18. Bocca F., Picciau L., Laudonia S., Alma A. Palaearctic egg parasitoids interaction to three grapevine exotic pests in Northwestern Italy: A new association involving *Metcalfa pruinosa* // *Insects*. 2020. V. 11. Iss. 9. P. 610. DOI: 10.3390/insects11090610
 19. Нуриева И.А., Рубцова Л.Е., Надирова Г.И. Первое обнаружение белой цикадки *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Hemiptera, Flatidae) в Азербайджане // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2020. Т. 16. N 2. С. 82-87.
 20. Lee K.H., Jeong J.S., Park J.S., Kim M.J., Jeong N.R., Jeong S.Y., Lee G.S., Lee W., Kim I. Tracing the invasion and expansion characteristics of the flatid planthopper, *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae), in Korea using mitochondrial DNA sequences // *Insects*. 2021. V. 12. N 1. 4 p. DOI: 10.3390/insects12010004
 21. Preda C., Skolka M. *Metcalfa pruinosa*, range expansion of (Homoptera: Fulgoroidea) in Southeastern Europe // *Ecologia Balkanica*. 2011. V. 3. Iss. 1. P. 79-87.
 22. Kahrer A., Strauss G., Stolz M., Moosbeckhofer R. Beobachtungen zur faunistik und biologie der vor kurzem nach Österreich eingeschleppten Bläulingszikade (*Metcalfa pruinosa*) // *Beiträge zur Entomofaunistik*. 2009. Band 10. P. 17-30.
 23. Byeon D.H., Jung J.M., Lohumi S., Choa B.K., Jungb S., Leea W.H. Predictive analysis of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) distribution in South Korea using CLIMEX software // *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 2017. V. 10. N 3. P. 379-384. DOI: 10.1016/j.japb.2017.06.004
 24. Kim Y., Kim M., Hong K.J., Lee S. Outbreak of an exotic flatid, *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae), in the capital region of Korea // *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2011. V. 14. N 4. P. 473-478. DOI: 10.1016/j.aspen.2011.06.002
 25. Wilson S.W., Lucchi A. Distribution and ecology of *Metcalfa pruinosa* and associated planthoppers in North America (Homoptera: Fulgoroidea) // *Atti della Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*. 2001. V. 49. P. 121-130.
 26. Seo H.Y., Park D.K., Hwang I.S., Choi Y.S. Host plants of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: flatidae) nymphs and adult // *Korea Journal of applied entomology*. 2019. V. 58. P. 363-380. DOI: 10.5656/KSAE.2019.10.0.044
 27. Мартынов В.В., Никулина Т.В. Первая находка инвазивного вида *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Flatidae) в фауне Донбасса // *Промышленная ботаника*. 2018. Вып. 18. N 4. С. 54-62.
 28. Юрченко Е.Г., Кононенко С.В. Мониторинг инвазивного вида цикадки – *Metcalfa pruinosa* на виноградниках западного Предкавказья // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2019. Т. 58. С. 201-205. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-58-201-205
 29. Балахнина И.В., Пушня М.В., Яковук В.А., Абдрахманова А.С., Собина А.Ю. Проблемы мониторинга и регуляции численности Меткалфы (*Metcalfa pruinosa* Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) инвазивного вида и Центральной зоне Краснодарского края // *Земледелие*. 2021. N 8. С. 45-48. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-8-45-48
 30. Новожилов К.В., Смирнова А.А., Савченко К.Н., Сухорученко Г.И., Толстова Ю.С. Методические указания по испытанию инсектицидов, акарицидов и моллюскоцидов в растениеводстве. М.: Типография ВАСХНИЛ, 1986. 279 с.

31. Sadkovsky V.T., Sokolov Yu.G., Ermolenko S.A., Mkrtychan A.G., Kremneva O.Yu. "Insect trap" Patent RF, no. 186343, 2019.
32. Pachkin A., Kremneva O., Ivanisova M., Popov I., Danilov R. Test results for LED traps of various designs for phytosanitary monitoring // *Research on Crops*. 2021. V. 22. N 3. P. 686-691. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.117
33. Park B., Kim M.J., Lee S.K., Kim G.H. Analysis for dispersal and spatial pattern of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) in southern sweet persimmon orchard // *Korean Journal of Applied Entomology*. 2019. V. 58. N 4. P. 291-297. DOI: 10.5656/KSAE.2019.11.0.053
34. Donati I., Mauri S., Buriani G., Cellini A., Spinelli F. Role of *Metcalfa pruinosa* as a vector for *Pseudomonas syringae* pv. Actinidiae // *Plant Pathol. Journal*. 2017. V. 33. N 6. P. 554-560. DOI: 10.5423/PPJ.OA.04.2017.0074
35. Mergenthaler E., Fodor J., Kiss E., Bodnár D., Kiss B., Viczián O. Biological and molecular evidence for the transmission of aster yellows phytoplasma to French marigold (*Tagetes patula*) by the flatid planthopper *Metcalfa pruinosa* // *Annals of Applied Biology*. 2020. V. 176. Iss. 2. P. 249-256. DOI: 10.1111/aab.12582
36. Пачкин А.А., Попов И.Б., Кремнева О.Ю., Зеленский Р.А. Применение светоловушек для отлова насекомых в агроценозе подсолнечника // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. N 12. С. 73-76. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11215
37. Пачкин А.А., Кремнева О.Ю., Данилов Р.Ю., Пономарев А.В. Мониторинг вредителей овощных культур с помощью светоловушек // *Техника и оборудование для села*. 2021. N 10 (292). С. 28-32. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-10-28-32
38. Pachkin A., Kremneva O., Popov I., Zelensky R., Kurilov A., Danilov R. Comparative assessment of the efficiency of light traps of various design in corn agrocenosis // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V. 403. 012141. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012141
39. Choi Y.S., Whang I.S., Lee G.J., Na M.S., Park D.K., Seo H.Y. Monitoring methods for *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae) eggs on acacia branches // *Korean Journal of Applied Entomology*. 2018. V. 57. N 4. P. 297-302. DOI: 10.5656/KSAE.2018.10.0.038
40. Choi Y.S., Seo H.Y., Jo S.H., Whang I.S., Lee Y.S., Park D.K. Host preference of *Ricania* spp. (Hemiptera: Ricaniidae) at different developmental stages // *Korean Journal of Applied Entomology*. 2017. V. 56. N 4. P. 319-329. DOI: 10.5656/KSAE.2017.09.0.023
41. Choi Y.S., Hwang I.S., Lee G.J., Kim M.J., Baek S., Seo H.Y. Attraction effect of sunflowers to *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae) as trap plants // *Korean Journal of Applied Entomology*. 2020. V. 59. N 4. P. 427-432. DOI: 10.5656/KSAE.2020.11.0.053
42. Choi Y.S., Seo H.Y., Jo S.H., Whang I.S., Park, D.K. Selection of systemic chemicals and attractiveness of sunflower to *Ricania* spp. (Hemiptera: Ricaniidae) adults // *Korean Journal of Applied Entomology*. 2017. V. 56. N 4. P. 345-350. DOI: 10.5656/KSAE.2017.10.0.026
43. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М.: Издательство Листерра. 2020. Вып. 24. 883 с.
44. Favaro R., Girolami V., Martinez-Sañudo I., Mazzon L., Roved J. Host instar influence on offspring sex ratio and female preference of *Neodryinus typhlocybae* (Ashmead) (Hymenoptera, Dryinidae) parasitoid of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Homoptera, Flatidae) // *Biological Control*. 2018. V. 125. P. 113-120. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.05.009
45. Park B., Lee S.K., Jeong I.H., Park S.K., Lee S.B. Insecticidal activities and repellent effects of methylcinnamate and essential oils from *Alpinia galangal* against *Metcalfa pruinosa* nymphs and adults // *Journal of Applied Biological Chemistry*. 2018. V. 61. N 3. P. 291-295. DOI: 10.3839/jabc.2018.041
46. Park B., Lee S.K., Park S.K., Lee S.B., Lee S.G. Susceptibility of *Metcalfa pruinosa* and *Hyphantria cunea* to some commercial organic materials // *The Korean Journal of Pesticide Science*. 2019. V. 23. N 4. P. 274-279. DOI: 10.7585/kjps.2019.23.4.274

REFERENCES

1. Dgebuadze Yu.Yu. Alien species in the Holartic: some results and perspectives of research. Rossiiskii Zhurnal Biologicheskikh Invazii [Russian Journal of Biological Invasions]. 2014, no. 1, pp. 2-7. (In Russian)
2. Korotyaev B.A. A new species of the Weevil genus *Auleutes* Dietz (Coleoptera, Curculionidae: Ceutorhynchinae) from the U. S. A. Entomological Review. 2013, vol. 93, no. 3, pp. 398-403.
3. Lee D.S., Bae Y.S., Byun, B.K., Lee S., Park J., Park Y.S. Occurrence prediction of the citrus flatid planthopper (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830)) in South Korea using a random forest model. *Forests*, 2019, vol. 10, no. 7, pp. 583. DOI: 10.3390/f10070583
4. Shchurov V.I., Zamotailov A.S., Skvortsov M.M., Shchurova A.V., Belyi A.I. Assessment of population characteristics of adventitious phytophage insects (Insecta: Heteroptera, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera) in the forests of the Northwestern Caucasus: practice 2010-2019. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2019, no. 79, pp. 135-158. (In Russian) DOI: 10.21515/1999-1703-79-135-158
5. El-Hady R., El-Hawagry M., Soliman M. Diversity and temporal variations of the leafhopper fauna (Cicadellidae, Auchenorrhyncha, Hemiptera) in two ecological zones of Egypt. *Journal of Natural History*, 2021, vol. 54, no. 43-44, pp. 2869-2887. DOI: 10.1080/00222933.2021.1874560
6. Ribeiro G., Martins I.C., Campos L., Mello M., Mejdalani G. Spatial and temporal distribution of Leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidae) in a corn field. *Neotropical Entomology*, 2021, no. 50, pp. 630-642. DOI: 10.1007/s13744-021-00880-4
7. Pinedo-Escatel A., Moya-Raygoza G. Diversity of Leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidae) Associated with border grasses and maize during the wet and dry seasons in Mexico. *Environmental entomology*, 2018, vol. 47, no. 2, pp. 282-291. DOI: 10.1093/ee/nvx204
8. Gnezdilov V. M., Sugonyaev T. S. First record of *Metcalfa pruinosa* (Homoptera: Fulgoroidea: Flatidae) from Russia. *Zoosystematica Rossica*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 260-261.
9. Balakhnina I.V., Pastarnak I.N., Gnezdilov V.M. Monitoring and control of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera, Auchenorrhyncha: Flatidae) in Krasnodar Territory. *Entomological Review*, 2014, vol. 94, no. 8, pp. 1067-1072. DOI: 10.1134/S001387381408003X
10. Kim M.-J., Lee J.-H. Egg hatching and first instar falling models of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae). *Insects*, 2020, vol. 11, no. 6, pp. 345. DOI: 10.3390/insects11060345
11. Kim M.J., Lee J.H. Immigration and population simulation models for *Metcalfa pruinosa* nymphs in crop fields. *Crop Protection*, 2021, vol. 144. Supplement 105608. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105608
12. Park B., Kim M.J., Lee S.K., Kim G.H. Analysis for dispersal and spatial pattern of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) in southern sweet persimmon orchard. *Korean*

- Journal of Applied Entomology*, 2014, vol. 58, no. 4, pp. 291-297. DOI: 10.5656/KSAE.2019.11.0.053
13. Popova L., Bondareva L., Polozhenets V., Nemeritskaya L. Formation of persistent population of invasive species *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Auchenorrhyncha: Flatidae) in the South of Ukraine. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 48-51. DOI: 10.1134/S2075111719010132
 14. Gubin A., Martynov V., Nikulina T. *Tautoneura polymitusa* Oh & Jung, 2016 (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae): A new alien species of leafhoppers in the fauna of Eastern Europe. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2020, vol. 11, no. 3, pp. 12-16. DOI: 10.1134/S2075111720040037
 15. Duso C. A new pest of vine in Europe: *Metcalfa pruinosa* Say (Homoptera: Flatidae). *Integrated Pest Control in Viticulture*, pp. 103-107. London: CRC Press. 2021, p. 408. DOI: 10.1201/9781003211426-16
 16. Šćiban M., Mirić R., Kosovac A. First record of the Japanese grape leafhopper *Arboridia kakogawana* (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae: Typhlocybinae) in Serbia. *Acta Entomologica Serbica*, 2021, vol. 26, no. 1, pp. 71-74. DOI: 10.5281/zenodo.4551518
 17. Claude B., Baptista P., Chatzivassiliou E., Di Serio F. et al. Pest categorisation of *Arboridia kakogawana*. *EFSA Journal*, 2022, vol. 20, iss. 1. e07023. DOI: 10.2903/j.efsa.2022.7023
 18. Bocca F., Picciau L., Laudonia S., Alma A. Palaearctic egg parasitoids interaction to three grapevine exotic pests in Northwestern Italy: A new association involving *Metcalfa pruinosa*. *Insects*, 2020, vol. 11, iss. 9, pp. 610. DOI: 10.3390/insects11090610
 19. Nuriyeva I.A., Rubtsova L.E., Nadirova G.I. First discovery of white leafhopper *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Hemiptera, Flatidae) in Azerbaijan. *Ekologicheskii Vestnik Severnogo Kavkaza* [Ecological Bulletin of the North Caucasus]. 2020, vol. 16, no. 2, pp. 82-87. (In Russian)
 20. Lee K.H., Jeong J.S., Park J.S., Kim M.J., Jeong N.R., Jeong S.Y., Lee G.S., Lee W., Kim I. Tracing the invasion and expansion characteristics of the flatid planthopper, *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae), in Korea using mitochondrial DNA sequences. *Insects*, 2021, vol. 12, no. 1, 4 p. DOI: 10.3390/insects12010004
 21. Preda C., Skolka M. *Metcalfa pruinosa*, Range Expansion of (Homoptera: Fulgoroidea) in Southeastern Europe. *Ecologia Balkanica*. 2011, vol. 3, iss. 1, pp. 79-87.
 22. Kahrer A., Strauss G., Stolz M., Moosbeckhofer R. Observations on the faunistics and biology of the blue leafhopper (*Metcalfa pruinosa*) recently introduced to Austria. *Contributions to entomofaunistics*. 2009, vol. 10, pp. 17-30. (In German)
 23. Byeon D.H., Jung J.M., Lohumi S., Choa B.K., Jungb S., Leea W.H. Predictive analysis of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) distribution in South Korea using CLIMEX software. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 2017, vol. 10, no. 3, pp. 379-384. DOI: 10.1016/j.japb.2017.06.004
 24. Kim Y., Kim M., Hong K.J., Lee S. Outbreak of an exotic flatid, *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae), in the capital region of Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 473-478. DOI: 10.1016/j.aspen.2011.06.002
 25. Wilson S.W., Lucchi A. Distribution and ecology of *Metcalfa pruinosa* and associated planthoppers in North America (Homoptera: Fulgoroidea). *Atti della Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*. 2001, vol. 49, pp. 121-130.
 26. Seo H.Y., Park D.K., Hwang I.S., Choi Y.S. Host plants of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: flatidae) nymphs and adult. *Korean Journal of applied entomology*, 2019, vol. 58, pp. 363-380. DOI: 10.5656/KSAE.2019.10.0.044
 27. Martynov V.V., Nikulina T.V. The first finding of the invasive species *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Flatidae) in the fauna of Donbas. *Promyshlennaya botanika* [Industrial Botany]. 2018, vol. 18, no. 4, pp. 54-62. (In Russian)
 28. Yurchenko E.G., Kononenko S.V. Monitoring of invasive species leafhoppers – *Metcalfa pruinosa* in vineyards of the Western Ciscaucasia. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*, 2019, vol. 58, pp. 201-205. (In Russian) DOI: 10.31676/2073-4948-2019-58-201-205
 29. Balakhnina I.V., Pushnya M.V., Yakovuk V.A., Abdrakhmanova A.S., Sobina A.Yu. Problems of monitoring and regulation of the abundance of *Metcalfa* (*Metcalfa pruinosa* Say, 1830) (Homoptera, Flatidae) invasive species and the Central zone of the Krasnodar Territory. *Agriculture*, 2021, no. 8, pp. 45-48. (In Russian) DOI: 10.24412/0044-3913-2021-8-45-48
 30. Novozhilov K.V., Smirnova A.A., Savchenko K.N., Sukhoruchenko G.I., Tolstova Yu.S. *Metodicheskie ukazaniya po ispytaniyu insekticidov, akaricidov i mollyuskocidov v rastenievodstve* [Guidelines for testing insecticides, acaricides and molluscicides in crop production]. Moscow, VASKHNIL Publ., 1986, 279 p. (In Russian)
 31. Sadkovsky V.T., Sokolov Yu.G., Ermolenko S.A., Mkrtychan A.G., Kremneva O.Yu. "Insect trap" Patent RF, no. 186343, 2019.
 32. Pachkin A., Kremneva O., Ivanisova M., Popov I., Danilov R. Test results for LED traps of various designs for phytosanitary monitoring. *Research on Crops*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 686-691. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.117
 33. Park B., Kim M.J., Lee S.K., Kim G.H. Analysis for dispersal and spatial pattern of *Metcalfa pruinosa* (Hemiptera: Flatidae) in southern sweet persimmon orchard. *Korean Journal of Applied Entomology*, 2019, vol. 58, no. 4, pp. 291-297. DOI: 10.5656/KSAE.2019.11.0.053
 34. Donati I., Mauri S., Buriani G., Cellini A., Spinelli F. Role of *Metcalfa pruinosa* as a vector for *Pseudomonas syringae* pv. actinidiae. *Plant Pathol. Journal*, 2017, vol. 33, no. 6, pp. 554-560. DOI: 10.5423/PPJ.OA.04.2017.0074
 35. Mergenthaler E., Fodor J., Kiss E., Bodnár D., Kiss B. Viczián O. Biological and molecular evidence for the transmission of aster yellows phytoplasma to French marigold (*Tagetes patula*) by the flatid planthopper *Metcalfa pruinosa*. *Annals of Applied Biology*, 2020, vol. 176, iss. 2, pp. 249-256. DOI: 10.1111/aab.12582
 36. Pachkin A.A., Popov I.B., Kremneva O.Yu., Zelensky R.A. The use of light traps for trapping insects in sunflower agroecosystem. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, 2019, vol. 33, no. 12, pp. 73-76. (In Russian) DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11215
 37. Pachkin A.A., Kremneva O.Yu., Danilov R.Yu., Ponomarev A.V. Monitoring pests of vegetable crops using light traps. *Technique and equipment for the village*, 2021, no. 10 (292), pp. 28-32. (In Russian) DOI: 10.33267/2072-9642-2021-10-28-32
 38. Pachkin A., Kremneva O., Popov I., Zelensky R., Kurilov A., Danilov R. Comparative assessment of the efficiency of light traps of various design in corn agroecosystem. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 403, 012141. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012141
 39. Choi Y.S., Whang, I.S., Lee G.J., Na, M.S., Park, D.K., Seo H.Y. Monitoring methods for *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae) eggs on acacia branches. *Korean Journal of Applied Entomology*, 2018, vol. 57, no. 4, pp. 297-302. DOI: 10.5656/KSAE.2018.10.0.038

40. Choi Y.S., Seo H.Y., Jo S.H., Whang I.S., Lee Y.S., Park D.K. Host preference of *Ricania* spp. (Hemiptera: Ricaniidae) at different developmental stages. *Korean Journal of Applied Entomology*, 2017, vol. 56, no. 4, pp. 319-329. DOI: 10.5656/KSAE.2017.09.0.023
41. Choi Y.S., Hwang I.S., Lee G.J., Kim M.J., Baek S., Seo H.Y. Attraction effect of sunflowers to *Metcalfa pruinosa* (Say) (Hemiptera: Flatidae) as trap plants. *Korean Journal of Applied Entomology*, 2020, vol. 59, no. 4, pp. 427-432. DOI: 10.5656/KSAE.2020.11.0.053
42. Choi Y.S., Seo H.Y., Jo S.H., Whang I.S., Park, D.K. Selection of systemic chemicals and attractiveness of sunflower to *Ricania* spp. (Hemiptera: Ricaniidae) adults. *Korean Journal of Applied Entomology*, 2017, vol. 56, no. 4, pp. 345-350. DOI: 10.5656/KSAE.2017.10.0.026
43. *Spravochnik pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Directory of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation]. Moscow, Listerra Publ., 2020, vol. 24, 883 p. (In Russian)
44. Favaro R., Girolami V., Martinez-Sañudo I., Mazzon L., Roved J. Host instar influence on offspring sex ratio and female preference of *Neodryinus typhlocybae* (Ashmead) (Hymenoptera, Dryinidae) parasitoid of *Metcalfa pruinosa* (Say) (Homoptera, Flatidae). *Biological Control*, 2018, vol. 125, pp. 113-120. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.05.009
45. Park B., Lee S.K., Jeong I.H., Park S.K., Lee S.B. Insecticidal activities and repellent effects of methylcinnamate and essential oils from *Alpinia galangal* against *Metcalfa pruinosa* nymphs and adults. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 2018, vol. 61, no. 3, pp. 291-295. DOI: 10.3839/jabc.2018.041
46. Park B., Lee S.K., Park S.K., Lee S.B., Lee S.G. Susceptibility of *Metcalfa pruinosa* and *Hyphantria cunea* to some commercial organic materials. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 274-279. DOI: 10.7585/kjps.2019.23.4.274

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Екатерина Г. Снесарева и Алёна Ю. Собина провели исследование. Ирина В. Балахнина определила концептуализацию, методологию, провела исследования, анализ, написала рукопись. Марина В. Пушня провела исследование, анализ, редактировала рукопись. Оксана Ю. Кремнева определила концептуализацию, редактировала рукопись, занималась привлечением финансирования. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ekaterina G. Snesareva and Alena Yu. Sobina conducted research. Irina V. Balakhnina undertook conceptualisation, methodology, research, analysis and writing of the manuscript. Marina V. Pushnya conducted research, analysis and editing of the manuscript. Oksana Yu. Kremneva undertook conceptualisation of the research, editing and fundraising. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ирина В. Балахнина / Irina V. Balakhnina <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>
 Марина В. Пушня / Marina V. Pushnya <http://orcid.org/0000-0002-7133-9533>
 Оксана Ю. Кремнева / Oksana Yu. Kremneva <http://orcid.org/0000-0003-0982-6821>
 Алёна Ю. Собина / Alena Yu. Sobina <http://orcid.org/0000-0002-9965-4842>
 Екатерина Г. Снесарева / Ekaterina G. Snesareva <http://orcid.org/0000-0003-4617-3604>

Оригинальная статья / Original article

УДК 574.24 (597.2/5)

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-49-61

Микроэлементный состав каспийского тюленя (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) в условиях техногенеза биосферы

Татьяна С. Ершова¹, Вячеслав Ф. Зайцев¹, Магомед З. Гаджидадаев², Шамсутдин М. Самудов², Владимир А. Чаплыгин³, Юлия А. Шевченко³

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия

Контактное лицо

Татьяна С. Ершова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра гидробиологии и общей экологии, Астраханский государственный технический университет; 414056 Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16.

Тел. +79053630749

Email ershova_ts@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

Формат цитирования

Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Гаджидадаев М.З., Самудов Ш.М., Чаплыгин В.А., Шевченко Ю.А. Микроэлементный состав каспийского тюленя (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) в условиях техногенеза биосферы // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 49-61. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-49-61

Получена 13 марта 2021 г.

Прошла рецензирование 7 июля 2021 г.

Принята 5 сентября 2021 г.

Резюме

Цель. Выявить особенности аккумуляции и закономерности распределения Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co, Hg, Cd, Pb в органах и тканях Каспийского тюленя.

Материалы и методы. Отбор проб осуществлялся по общепринятым методикам, определение тяжелых металлов производилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915 МД.

Результаты. В организме каспийского тюленя цинк, марганец, хром, кобальт и ртуть преимущественно аккумулируются в печени, никель и кадмий в почках, медь – в желудке, а свинец – в жировой ткани. При одинаковых условиях обитания самки обладают в большинстве случаев более высокими коэффициентами накопления микроэлементов, чем самцы. Самки каспийского тюленя по сравнению с самцами аккумулируют в большей мере медь, ртуть и кадмий. Половых различий в накоплении цинка, никеля, кобальта и свинца органами и тканями у каспийского тюленя не выявлено. С возрастом у каспийского тюленя происходит достоверное увеличение концентрации цинка, меди, ртути и кадмия, а усвояемость марганца, хрома, кобальта и свинца снижается.

Заключение. Химические элементы распределяются в организме тюленя неравномерно в зависимости от свойств металлов и функциональных особенностей органов. Значительные концентрации металлов отмечены, прежде всего, в органах, для которых характерно активное протекание процессов метаболизма с одной стороны, а с другой – активно участвующих в процессах, направленных на поддержание гомеостаза.

Ключевые слова

Каспийский тюлень, *Phoca caspica*, химические элементы, аккумуляция, кормовые объекты, коэффициент накопления.

Trace element composition of organs and tissues of the Caspian seal (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) in the conditions of technogenesis of the biosphere

Tatiana S. Ershova¹, Vyacheslav F. Zaitsev¹, Magomed Z. Gadzhidadaev², Shamsutdin M. Samudov², Vladimir A. Chaplygin³ and Yulia A. Shevchenko³

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Volga-Caspian Branch, Russian Federal Institute of Fisheries and Oceanography, Astrakhan, Russia

Principal contact

Tatiana S. Ershova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University; 16 Tatishcheva St, Astrakhan, Russia 414056.

Tel. +79053630749

Email ershova_ts@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

How to cite this article

Ershova T.S., Zaitsev V.F., Gadzhidadaev M.Z., Samudov Sh.M., Chaplygin V.A., Shevchenko Yu.A. Trace element composition of organs and tissues of the Caspian seal (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) in the conditions of technogenesis of the biosphere. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 49-61. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-49-61

Received 13 March 2021

Revised 7 July 2021

Accepted 5 September 2021

Abstract

Aim. To identify features of the accumulation and distribution patterns of Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co, Hg, Cd, Pb in organs and tissues of the Caspian seal.

Materials and Methods. Sampling was carried out according to generally accepted methods and the determination of heavy metals was performed by atomic absorption spectroscopy using an atomic absorption spectrometer with electrothermal atomization MGA-915 MD.

Results. In the body of the Caspian seal, zinc, manganese, chromium, cobalt and mercury are mainly deposited in the liver, nickel and cadmium in the kidneys, copper in the stomach and lead in adipose tissue. Under the same living conditions, females have in most cases higher coefficients of accumulation of trace elements than males. Female Caspian seals accumulate more copper, mercury and cadmium than males. Sexual differences in the accumulation of zinc, nickel, cobalt and lead by organs and tissues of the Caspian seal were not detected. With age, the Caspian seal has a significant increase in the concentration of zinc, copper, mercury and cadmium, and the digestibility of manganese, chromium, cobalt and lead decreases.

Conclusion. Chemical elements are distributed unevenly in the body of a seal, depending on the properties of metals and the functional features of organs. Significant concentrations of metals are noted primarily in organs that are characterized by active metabolic processes on the one hand, and on the other are actively involved in processes aimed at maintaining homeostasis.

Key Words

Caspian seal, *Phoca caspica*, chemical elements, accumulation, feed objects, accumulation coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийский тюлень – это единственное морское млекопитающее на Каспии, уникальный эндемичный вид. С середины 1980-х годов популяция каспийского тюленя находится в депрессивном состоянии [1-3] и в 2020 году в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ каспийский тюлень занесен в Красную книгу РФ. Эксперты по охране каспийского тюленя объясняют данное снижение численности тюленя рядом факторов. Наиболее важным из них является промысловая охота в течение прошлого столетия, сокращение рыбных запасов, ухудшение состояния среды обитания в результате изменения климата, колебаний уровня моря, антропогенной деятельности, а также попадание в рыбные сети [4]. Одной из главных причин сокращения численности популяции каспийского тюленя является химическое загрязнение организма, и как следствие выявленный у этих животных кумулятивный политоксикоз [1; 3]. Таким образом, микроэлементный состав органов и тканей тюленя является отражением не только его физиологического состояния, но и характеризует среду его обитания, поскольку он является высшим трофическим звеном Каспийского моря [5-7].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлся каспийский тюлень (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). Образцы проб органов каспийского тюленя получены от павших животных в районе о. Малый Жемчужный в результате экспедиций в период с 2011 по 2018 гг.

Сырую пробу весом 10-15 г. помещали в сушильный шкаф и высушивали при температуре 80°C не менее 4 часов. После этого температуру в сушильном шкафу увеличивали до 105°C и продолжали высушивать около 4 часов до полного обезвоживания. Пробы измельчали до состояния порошка и помещали в колбу Кьельдаля V=10 см³. В колбу добавляли 5 см³ концентрированной азотной

кислоты. После суточной экспозиции колбы устанавливали на песчаную баню. Раствор в колбе кипятили до полного осветления. Затем охлаждали и отфильтровывали. Полученный раствор доводили 1% раствором азотной кислоты до метки 15-20 см³. Параллельно с исследуемой пробой готовили холостую пробу. Пробы хранили в хорошо проветриваемом помещении до момента определения содержания химических элементов.

Определение микроэлементов (Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co) и токсичных элементов (Pb, Cd, Hg) в органах и тканях погибших тюленей выполняли на кафедре «Гидробиология и общая экология» АГТУ, а также на кафедре «Экология» ДГУ методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Концентрацию Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co, Cd, Pb в органах и тканях каспийского тюленя выражали в мг/кг сухого вещества, а Hg – мг/кг влажного вещества.

Коэффициент накопления (Кн) химических элементов органами и тканями каспийского тюленя рассчитывался по формуле:

$$K_n = \frac{C_i}{C}$$

где: C_i – содержание химического элемента в гидробионтах;

C – содержание химического элемента в организмах питания.

Полученные результаты подвергали статистической обработке.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными объектами питания каспийского тюленя *Phoca caspica* (Gmelin, 1788) являются бычки семейства Gobiidae, кильки рода *Clupeonella* [8] и атерина (*Atherina mochon caspia*) [9] (табл. 1). Ценные промысловые рыбы – вобла, сельди, судак и др. – в пищевом рационе его занимают второстепенное место [8].

Таблица 1. Пищевые предпочтения *Phoca caspica* (Gmelin, 1788) [4]

Table 1. Food preferences of *Phoca caspica* (Gmelin, 1788) [4]

Кормовые организмы Food organisms	Доля, % Share, %
<i>Clupeonella engrauliformis</i> (Borodin, 1904)	57,0
<i>Clupeonella cultriventris caspia</i> (Svetovidov, 1941)	21,4
<i>Clupeonella grimmi</i> (Kessler, 1877)	3,4
семейство Gobiidae / family Gobiidae	7,9
<i>Rutilus rutilus caspicus</i> (Jacowlew, 1870)	4,2
<i>Atherina mochon caspia</i> (Risso, 1826)	3,3
<i>Stizostedion lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	0,7
Другие виды рыб / other fish species	1,1
<i>Caspiomizon wagneri</i> (Kessler, 1870)	0,1
класс Crustacea / Crustacea class	0,9
Итого / Total	100,0

На основании данных Б.И. Бадамшина [8] и Л.С. Хураськина [9], касающихся пищевой потребности популяции каспийского тюленя, был изучен микроэлементный состав тех объектов питания, доля которых составляет более 1%. Так как отбор проб осуществлялся в пределах Северной части

Каспийского моря, а по мнению Л.С. Хураськина [9] потребление тюленем *Clupeonella engrauliformis* и *Clupeonella grimmi* ограничено пределами Среднего и Южного Каспия, то эти виды килек не рассматривались в данном исследовании.

Цинк содержится во всех органах и тканях животных [10]. Распределение цинка в органах и тканях

каспийского тюленя *Phoca caspica* представлено на рисунке 1.

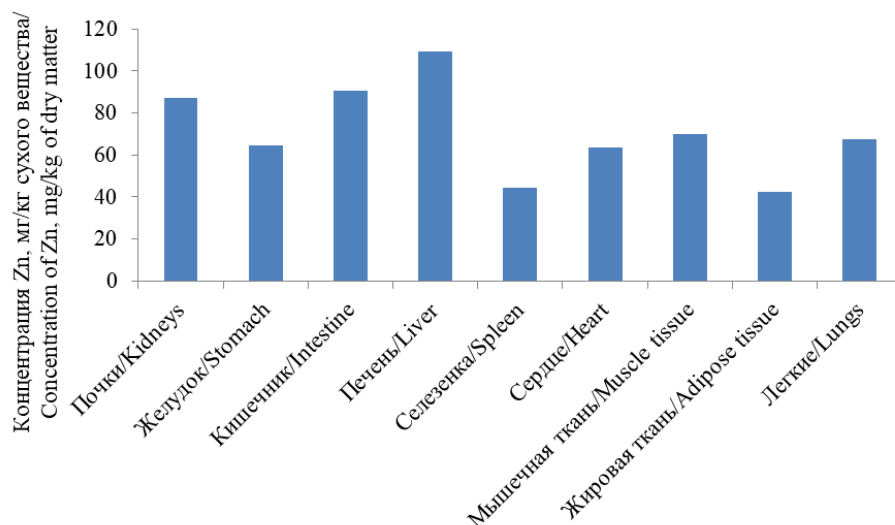


Рисунок 1. Содержание цинка в органах и тканях каспийского тюленя *Phoca caspica* Gmelin, 1788

Figure 1. Zinc content in organs and tissues of the Caspian seal, *Phoca caspica* Gmelin, 1788

Анализ накопления цинка в организме каспийского тюленя позволяет заключить, что наибольшими значениями цинка отличались печень ($109,39 \pm 22,14$ мг/кг), кишечник ($90,65 \pm 12,93$ мг/кг сухого вещества). Это связано с тем, что пищеварительный тракт является основным путем поступления цинка в организм. Соединения металла всасываются в кишечнике [10], что и обуславливает в нем высокую концентрацию химического элемента, а наименьшее количество металла выявлено в жировой ткани ($42,51 \pm 5,12$ мг/кг сухой массы). Органы и ткани каспийского тюленя по концентрации цинка можно расположить в следующий убывающий ряд: печень > кишечник > почки > мышечная ткань > легкие > желудок > сердце > селезенка > жировая ткань. Показано, что значения биоаккумуляции цинка в органах и тканях самок и самцов каспийского тюленя

находились на одном уровне. Половых различий в накоплении цинка органами и тканями у каспийского тюленя не выявлено. Отмечены возрастные изменения в печени и кишечнике нерпы [11-14]. Рассчитанные коэффициенты накопления цинка органами и тканями каспийского тюленя относительно объектов их питания (рыб – планктофагов, рыб-бентофагов) свидетельствуют о том, что они не способны существенно повлиять на его содержание в организме. Так, значения коэффициентов накопления цинка органами тканями тюленя составляли менее 1 (табл. 1).

У каспийского тюленя медь в наибольшем количестве выявили в желудке ($36,82$ мг/кг сухого вещества) (рис. 2). По мнению А.П. Авцына с соавторами [15] это связано с тем, что основные процессы всасывания меди происходят в желудке.

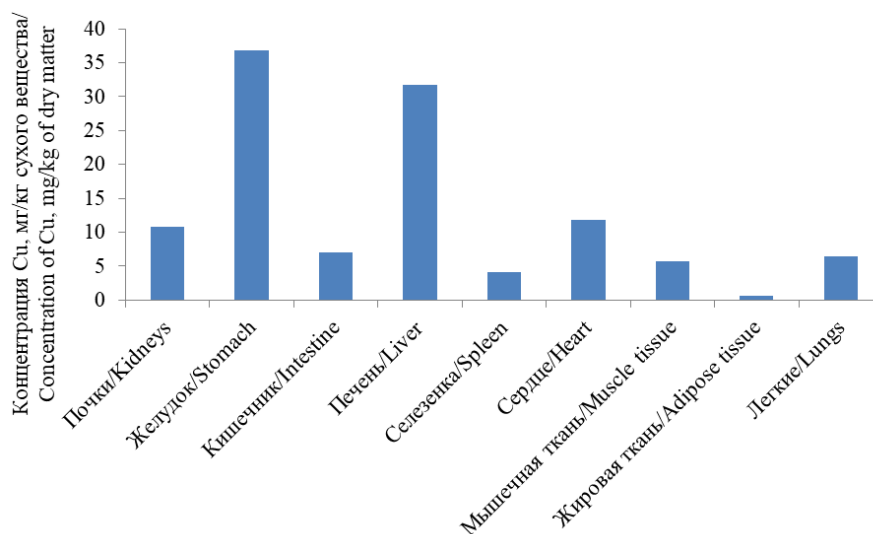


Рисунок 2. Содержание меди в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 2. Copper content in organs and tissues of the Caspian seal

Отмечено, что этот химический элемент накапливается в печени (31,78 мг/кг сухого вещества). При этом гепатоциты играют ключевую роль в обмене меди. Минимальное значение меди выявлено в жировой ткани млекопитающих, где оно составляло 0,63 мг/кг сухого вещества. По накоплению меди органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: желудок > печень > сердце > почки > кишечник > легкие > мышечная ткань > селезенка > жировая ткань. У самок и самцов наблюдалась сходная картина распределения меди по органам и тканям, при этом более высокие значения наблюдались у самок по сравнению с самцами. Выявлено, что с возрастом происходит достоверное увеличение концентрации металла в легких, желудке и мышцах. В печени и жире значения аккумуляции химического элемента с возрастом не изменялись. На основании рассчитанных коэффициентов накопления все исследованные органы являлись концентраторами этого металла. Наибольшими значениями Кн отличались желудок и печень морского млекопитающего (Кн желудка =

9369, Кн печени = 8087), а наименьшими – жировая ткань (Кн = 160). В пищевом комке каспийского тюленя присутствуют килька обыкновенная (21,4%), рыбы семейства *Gobiidae* (7,9%), вобла (4,2%) и атерина (3,3%) [16]. Для того чтобы оценить степень аккумуляции меди органами и тканями каспийского тюленя относительно этих пищевых компонентов рассчитаны коэффициенты накопления. Эти показатели значительно ниже таковых из воды. В то же время все исследованные органы и ткани по отношению к кормовым организмам являются концентраторами, исключение составляет жировая ткань, Кн которой значительно меньше 1. Наибольшие значения Кн относительно планктофагов и бентофагов зафиксированы в желудке и печени каспийского тюленя. Стоит отметить, что по сравнению с рыбами-бентофагами рыбы-планктофаги приносят больший вклад в накопление меди органами и тканями каспийского тюленя.

Результаты исследования содержания марганца в органах и тканях каспийского тюленя представлены на рисунке 3.

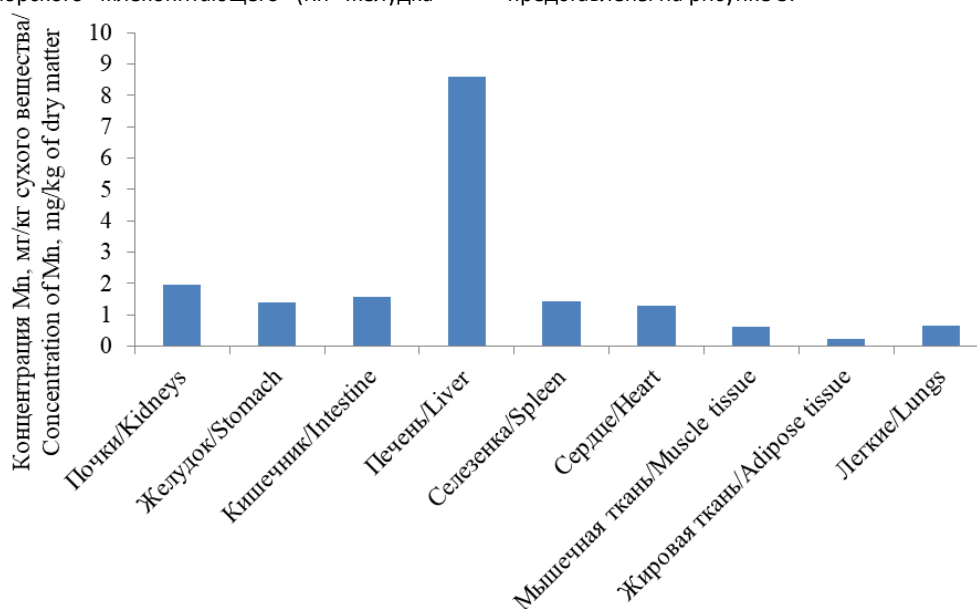


Рисунок 3. Содержание марганца в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 3. Manganese content in organs and tissues of the Caspian seal

Наибольшие концентрации марганца наблюдали в печени каспийского тюленя ($8,58 \pm 0,13$ мг/кг), а далее по мере убывания содержания марганца шли почки ($1,95 \pm 0,024$ мг/кг сухого вещества), концентрация элемента в которых в 4,4 раза меньше, чем в печени. В наименьшей степени аккумуляция металла происходит жировой тканью тюленя ($1,24 \pm 0,08$ мг/кг сухого вещества). По накоплению меди органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: печень > почки > кишечник > селезенка > желудок > сердце > легкие > мышечная ткань > жировая ткань. Концентрация марганца в органах и тканях самцов выше, чем в самках. Показано, что у каспийского тюленя с возрастом усвояемость марганца снижается, и наиболее ярко возрастные изменения зарегистри-

рованы в почках, кишечнике, поджелудочной железе и селезенке. На основании рассчитанных коэффициентов накопления марганца показано, что все исследованные органы являлись концентраторами этого металла. Наибольшими значениями Кн отличалась печень морского млекопитающего (Кн печени = 2145), а наименьшими – жировая ткань (Кн = 165). Анализируя значения коэффициентов накопления марганца относительно концентрации этого элемента в организмах планктофагов, показано, что печень является органом-аккумулятором (Кн = 1,3).

Анализ результатов биогеохимических исследований каспийского тюленя показал высокие значения хрома в печени животного (10,13 мг/кг сухого вещества) (рис. 4).

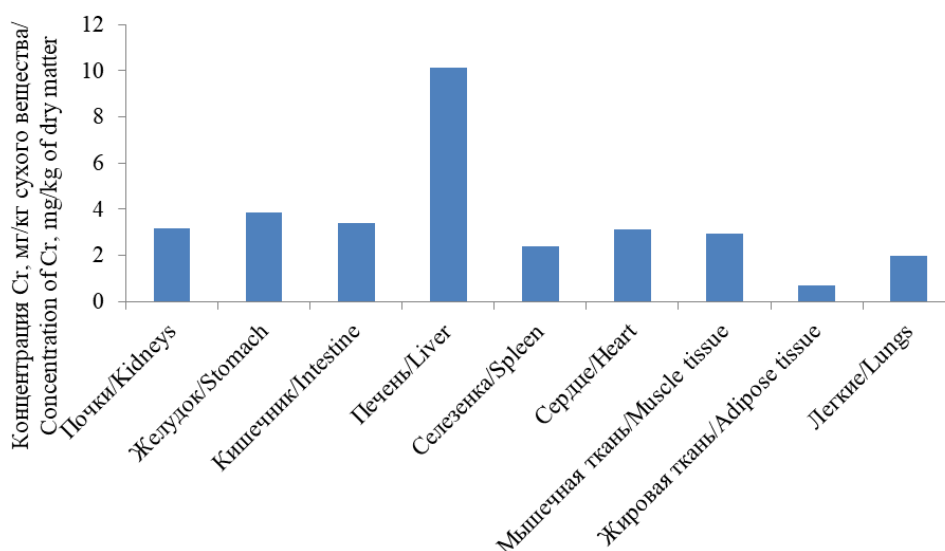


Рисунок 4. Содержание хрома в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 4. Chrome content in organs and tissues of the Caspian seal

Концентрация химического элемента в остальных органах по сравнению с печенью заметно ниже (более чем в 2 раза). Так, содержание хрома в таких органах как почки, желудок, кишечник, селезенка, сердце и мышечная ткань колебалось в пределах от 2,41 (селезенка) до 3,86 (желудок). Минимальное накопление хрома зафиксировано в легких (1,99 мг/кг сухого вещества) и жировой ткани (0,71 мг/кг сухого вещества). По накоплению хрома органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: печень > желудок ≥ кишечник ≥ почки ≥ сердце ≥ мышечная ткань ≥ селезенка > легкие > жировая ткань. Достоверных различий в накоплении этого химического элемента у самцов и самок не выявлено. Отмечено, что с возрастом количество хрома в организме каспийского тюленя снижается и наиболее ярко это выражено в почках.

Чтобы проследить источники хрома в органах и тканях каспийского тюленя рассчитаны коэффициенты накопления химического элемента, которые представлены в таблице 1. Показано, что рыбы-планктофаги влияют на увеличение концентрации хрома в печени. Коэффициент накопления хрома в печени составляет 2,5. В то же время вклад бентофагов в аккумуляционную способность органов и тканей каспийского тюленя несколько больше.

В организм животного соединения *никеля* поступают с пищей. В желудочно-кишечном тракте млекопитающих всасывается от 1 до 10% поступившего с пищей никеля [17].

Распределение никеля в органах и тканях каспийского тюленя *Phoca caspica* Gmelin, 1788 представлено на рисунке 5.

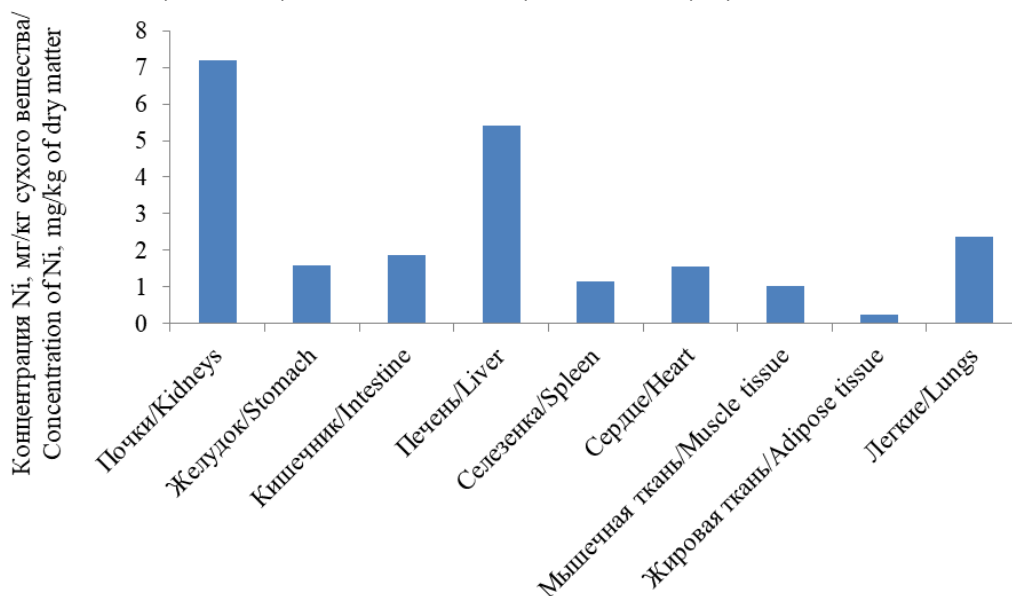


Рисунок 5. Содержание никеля в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 5. Nickel content in organs and tissues of the Caspian seal

Таблица 1. Коэффициенты накопления цинка, марганца, хрома, никеля и меди органами и тканями Каспийского тюленя
Table 1. Coefficients of accumulation of zinc, manganese, chromium, nickel and copper by organs and tissues of the Caspian seal

Объекты исследования Objects of research	Концентрация химических элементов Concentration of chemical elements					Коэффициент накопления относительно рыб планктофагов Accumulation coefficient relative to planktophagous fish					Коэффициент накопления относительно рыб бентофагов Accumulation coefficient relative to benthic fish				
	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu
рыбы-планктофаги (килька и атерина) planktophagous fish (sprat and sand smelt)	141,42	6,58	4,03	11,83	3,86										
рыбы-бентофаги (вобла и виды семейства бычковые) benthic fish (roach and goby species)	109,58	11,94	3,3	4,57	4,15										
Каспийский тюлень / Caspian seal															
Почки / Kidneys	87,27	1,95	3,17	7,2	10,84	0,6	0,3	0,79	0,6	2,81	0,8	0,16	0,96	1,6	2,61
Желудок / Stomach	64,74	1,39	3,86	1,58	36,82	0,5	0,2	0,96	0,1	9,54	0,6	0,12	1,17	0,3	8,87
Кишечник / Intestine	90,65	1,58	3,42	1,88	7,04	0,6	0,2	0,85	0,2	1,82	0,8	0,13	1,04	0,4	1,7
Печень / Liver	109,39	8,58	10,13	5,4	31,78	0,8	1,3	2,51	0,5	8,23	0,9	0,72	3,07	1,2	7,66
Селезенка / Spleen	44,17	1,43	2,41	1,16	4,17	0,3	0,2	0,6	0,1	1,1	0,4	0,12	0,73	0,3	1,00
Сердце / Heart	63,62	1,3	3,14	1,55	11,79	0,4	0,2	0,78	0,1	3,05	0,6	0,12	0,95	0,3	2,84
Мышечная ткань / Muscle tissue	69,77	0,6	2,95	1,02	5,77	0,5	0,1	0,73	0,1	1,49	0,6	0,05	0,89	0,2	1,39
Жировая ткань / Fatty tissue	42,51	0,24	0,71	0,23	0,63	0,3	0,03	0,18	0,01	0,16	0,4	0,02	0,22	0,1	0,15
Легкие / Lungs	67,44	0,66	1,99	2,37	6,39	0,5	0,1	0,49	0,2	1,66	0,6	0,06	0,6	0,5	1,54

Таблица 2. Коэффициенты накопления кобальта, ртути, кадмия, свинца органами и тканями Каспийского тюленя
Table 2. Coefficients of accumulation of cobalt, mercury, cadmium and lead in organs and tissues of the Caspian seal

Объекты исследования Objects of research	Концентрация химических элементов Concentration of chemical elements				Коэффициент накопления относительно рыб планктофагов Accumulation coefficient relative to planktophagous fish				Коэффициент накопления относительно рыб бентофагов Accumulation coefficient relative to benthic fish			
	Co	Hg	Cd	Pb	Co	Hg	Cd	Pb	Co	Hg	Cd	Pb
Каспийский тюлень / Caspian seal												
рыбы-планктофаги (килька и атерина) planktophagous fish (sprat and sand smelt)	1,89	0,02	1,98	5,55								
рыбы-бентофаги (вобла и виды семейства бычковые) benthic fish (roach and goby species)	1,52	0,02	0,51	6,13								
Почки / Kidneys	1,50	2,64	7,28	1,9	0,8	123	3,4	0,3	0,9	123	14	0,3
Желудок / Stomach	0,63	1,15	0,37	0,16	0,3	58	0,2	0,03	0,4	58	0,7	0,03
Кишечник / Intestine	0,87	0,41	0,24	0,18	0,5	21	0,1	0,03	0,6	21	0,5	0,03
Печень / Liver	2,62	5,18	3,45	1,8	1,4	259	1,7	0,03	1,7	259	6,7	0,3
Селезенка / Spleen	0,57	0,57	0,29	0,54	0,3	29	0,15	0,1	0,4	29	0,6	0,09
Сердце / Heart	0,74	0,34	0,16	0,7	0,4	17	0,1	0,13	0,5	17	0,1	0,11
Мышечная ткань / Muscle tissue	0,70	0,29	0,29	1,05	0,4	14,5	0,15	0,2	0,5	14,5	0,15	0,2
Жировая ткань / Fatty tissue	0,34	0,12	1,7	2,94	0,2	6	0,9	0,5	0,2	6	3,3	0,5
Легкие / Lungs	0,53	0,27	0,81	2,13	0,3	14	0,4	0,4	0,3	14	1,6	0,3

Из исследованных органов каспийского тюленя наиболее богаты никелем почки и печень.

В почках содержится 7,2 мг/кг, тогда как в печени – в 1,3 раза меньше (5,4 мг/кг) и за печенью по количеству никеля следуют легкие (2,37 мг/кг сухого вещества). Аккумуляция элемента остальными исследованными органами млекопитающего небольшая и не превышает 2 мг/кг сухого вещества. В жире тюленя количество металла зарегистрировано в следовых количествах (0,23 мг/кг сухого вещества). По накоплению никеля органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: почки > печень > легкие > кишечник > желудок ≥ сердце > селезенка > мышечная ткань > жировая ткань. Стоит отметить, что различия в содержании никеля в органах и тканях самцов и самок, а также возрастные изменения в аккумуляции никеля органами и тканями каспийского тюленя не

достоверны. Об отсутствии возрастных различий в накоплении гидробионтами ранее сообщалось другими авторами [18]. В таблице 1 представлены коэффициенты накопления никеля органами и тканями каспийского тюленя. На основании данных, представленных в таблице 1, показано, что никель не аккумулируется по пищевой цепи каспийского тюленя, т.к. его коэффициент накопления органами и тканями составляет меньше 1. В то же время рыбы-бентофаги способны повлиять на концентрации этого химического элемента в почках и печени нерпы. Стоит отметить, что Кн почек в 1,3 раза больше, чем в печени.

Концентрация кобальта в органах и тканях каспийской нерпы по сравнению с концентрацией в них других химических элементов невелика. Распределение кобальта в органах и тканях каспийского тюленя представлено на рисунке 6.

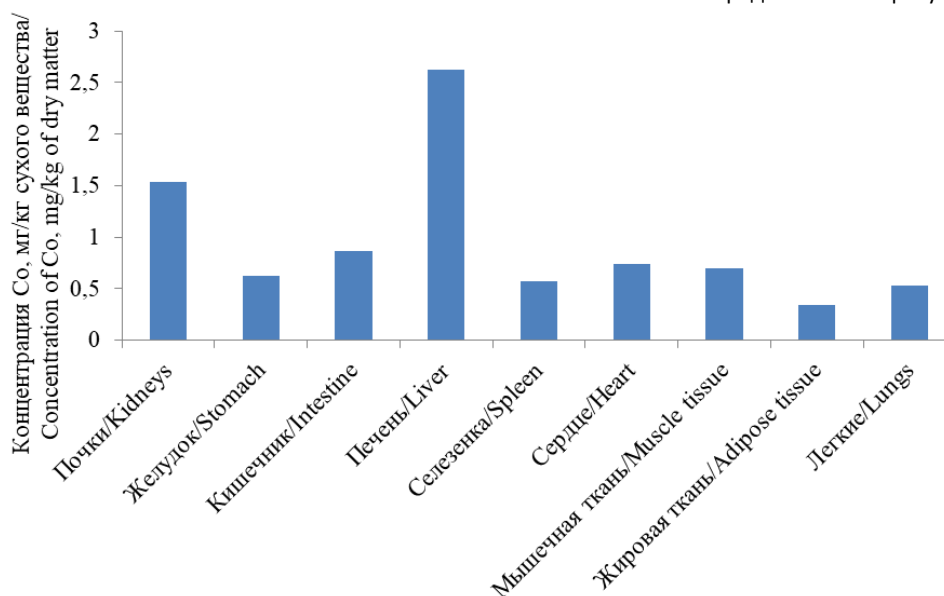


Рисунок 6. Содержание кобальта в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 6. Cobalt content in organs and tissues of the Caspian seal

В органах животных наибольшая концентрация кобальта приходится на печень, где более 40% кобальта связано с белковыми фракциями [19]. Здесь концентрация кобальта составляет 2,62 мг/кг сухой массы. Затем по уровню накопления химического элемента следуют почки, где его концентрация в 1,7 раза меньше, чем в печени. Известно, что почки способны аккумулировать кобальт при его избыточном поступлении в организм [19]. Анализ возрастных особенностей накопления химического элемента свидетельствует о его достоверном увеличении в легких, желудке и печени, в то же время в селезенке концентрация этого металла с возрастом снижается ($p < 0,05$). В таблице 2 представлены коэффициенты накопления кобальта органами каспийского тюленя. На основании данных, представленных в таблице 2, показано, что рассчитанные коэффициенты накопления свидетельствуют об алиментарном способе поступления кобальта в организм тюленя. Так, в печени $K_{\text{планктофаги}}=1,4$, а $K_{\text{бентофаги}}= 1,7$. Значения

коэффициентов накопления, рассчитанные для других органов каспийского тюленя, составляют меньше 1.

Распределение ртути в организме каспийского тюленя представлено на рисунке 7.

Исследование особенностей аккумуляции ртути органами каспийского тюленя выявило наибольшие концентрации ртути в печени ($4,69 \pm 0,9$ мг/кг), несколько ниже в почках ($2,075 \pm 0,12$). Наименьшее накопление ртути происходит в подкожном жире ($0,29 \pm 0,02$ мг/кг сырого вещества). Печень является основным депо по накоплению ртути, что подтверждается исследованиями В.Т. Комова с соавт. [20] и Е.С. Степиной [21] на других видах млекопитающих. Жировая ткань не обладает свойством избирательно накапливать ртуть, ее можно считать одним из депо ртути в организме с ненасыщенной и относительно незначительной емкостью [22]. По накоплению ртути органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: печень > почки > желудок > мышечная ткань > селезенка > кишечник > сердце ≥ легкие > жировая ткань.

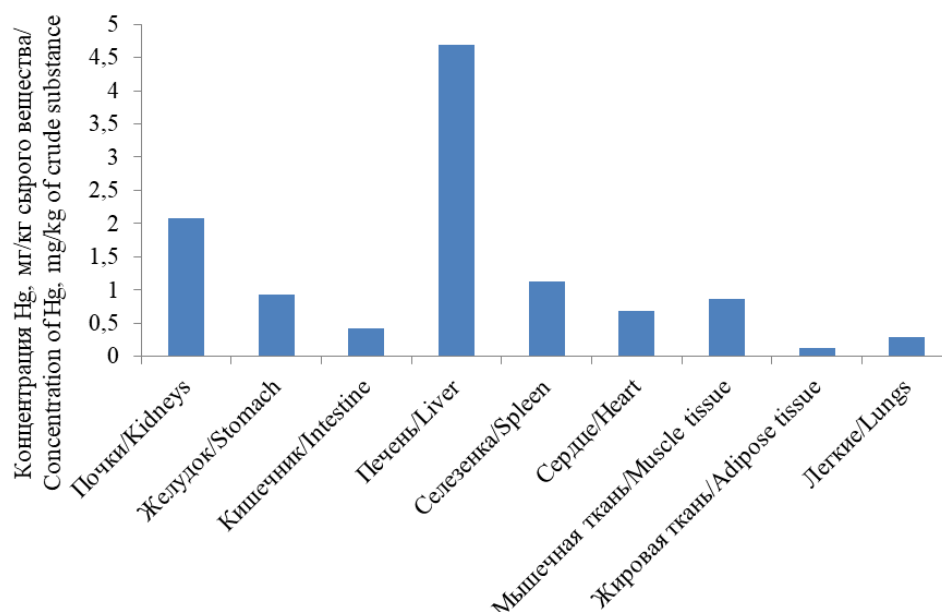


Рисунок 7. Содержание ртути в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 7. Mercury content in organs and tissues of the Caspian seal

Анализ полученных материалов по содержанию изученных химических элементов в органах и тканях каспийского тюленя показал, что на всех стадиях развития выявлены различные их концентрации, что объясняется их ролью в процессе онтогенеза. При одинаковых условиях обитания самки обладают в большинстве случаев более высокими коэффициентами накопления микроэлементов, чем самцы. Сравнительный анализ полученных концентраций металлов в органах разновозрастных каспийских тюленей продемонстрировал сходство в их распределении [23; 24]. На основании данных, представленных в таблице 2 можно сделать вывод о том, что у ртути алиментарный способ поступления в

организм, причем рыбы-планктофаги и рыбы-бентофаги в одинаковой мере могут влиять на уровень аккумуляции металла органами. Отмечено, что с повышением занимаемого положения в трофической пирамиде у живых объектов происходило достоверное возрастание содержания металла ($r = 0,96$). Это свойство ртути обуславливает необратимое возрастание ее концентрации при переходе по трофической цепи от организмов низших звеньев к высшим.

Уровни накопления *кадмия* различными органами и тканями каспийских тюленей представлены на рис. 8.

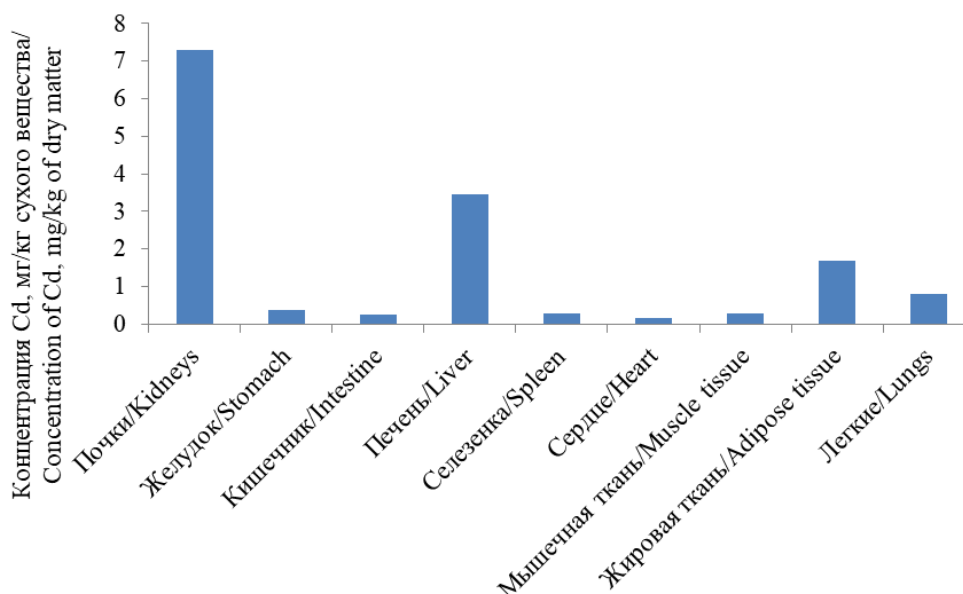


Рисунок 8. Содержание кадмия в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 8. Cadmium content in organs and tissues of the Caspian seal

У каспийского тюленя наибольшие концентрации кадмия обнаружены в почках (7,28 мг/кг), печени (3,45 мг/кг) и в жире (1,7 мг/кг сухого вещества). По сравнению с почками и печенью жировая ткань в значительно меньшей степени аккумулирует кадмий. Если в отношении печени и почек можно говорить об аккумуляции металла, то для жировой ткани приходится говорить скорее о пассивном распределении кадмия в организме в пользу печени и почек [18]. Согласно данным Н.А. Захаровой [1] максимальное содержание кадмия в печени у самок и самцов тюленей приходилось на 2000 год. Она объясняет это тем, что в этот период в водах Северного Каспия в 1,7 раз увеличилась концентрация кадмия на фоне предшествующих лет. По сравнению с данными Н.А. Захаровой [1] концентрация кадмия в наших пробах тюленя превышает максимальный уровень 2000-го года, что свидетельствует о возможно большем техногенном загрязнении. Кроме того, были выявлены достаточно высокие концентрации кадмия в легких, особенно у особей старших возрастов. По накоплению кадмия органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: почки > печень > жировая ткань > легкие > желудок ≥ селезенка, мышечная ткань ≥ кишечник > сердце. По мнению Н.В. Медведева [25] относительно других видов млекопитающих, присутствие кадмия в максимальной концентрации в печени и почках служит доказательством того, что поступление с пищей – главный путь проникновения химического элемента в организм млекопитающих; в то же время значи-

тельный уровень металла в легких позволяет предположить, что второй важный путь проникновения кадмия в организм – поступление его с атмосферным воздухом при дыхании. Выявлено, что самки тюленя обладают лучшей способностью к накоплению кадмия, а также с возрастом у тюленей происходило увеличение концентраций данного поллютанта в органах и тканях [24]. В таблице 2 представлены коэффициенты накопления кадмия каспийского тюленя. Коэффициент биологического поглощения кадмия исследованными органами был рассчитан в отношении взрослых особей (возрастная группа 12-17 лет). Показано, что максимальное значение зафиксировано у коэффициента накопления почками млекопитающих, тогда как для печени этот показатель в 2 раза ниже, а минимальное значение показателя рассчитано в отношении легких. Кадмий аккумулируется по трофической цепи экосистемы Каспийского моря. Об этом свидетельствуют рассчитанные коэффициенты накопления элемента относительно кормовых объектов.

Концентрация свинца в органах и тканях животного была несколько ниже, чем кадмия, что говорит о повышенных кумулятивных свойствах кадмия. Свинец, независимо от путей поступления в организм связывается эритроцитами, и поэтому свинец разносится кровью и накапливается, прежде всего, в жировой ткани органов, например, в почках и печени [17]. Возможно, это объясняет обнаружение наибольших значений металла в подкожно-жировой клетчатке тюленей (2,94 мг/кг сухого вещества) (рис. 9).

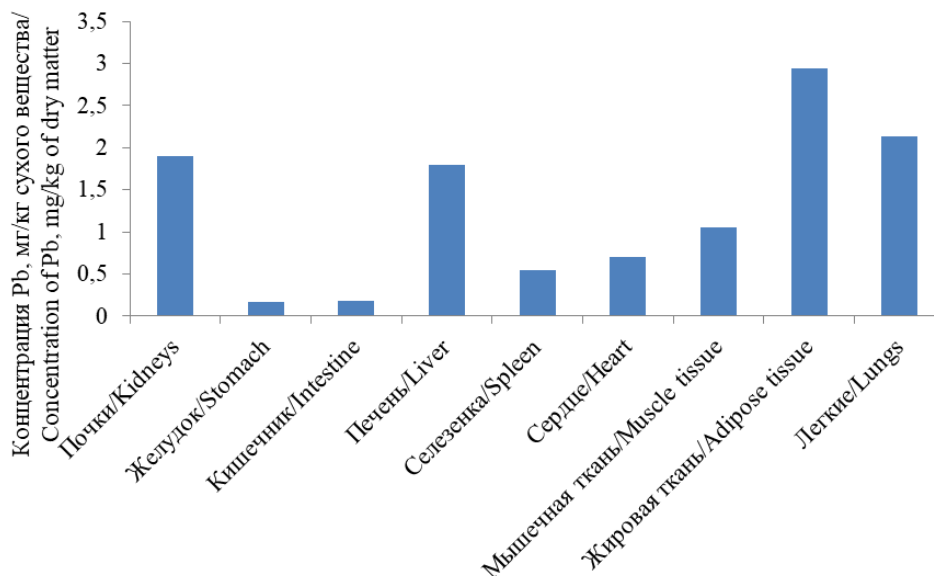


Рисунок 9. Содержание свинца в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 9. Lead content in organs and tissues of the Caspian seal

Концентрацию свинца в органах и тканях каспийского тюленя можно расположить в следующем убывающем порядке: жировая ткань > легкие > почки > печень > мышечная ткань > сердце > селезенка > кишечник ≥ желудок. Полученные нами данные [24] позволяют заключить, что с возрастом степень накопления свинца в организме каспийского тюленя снижается, при этом различия в значениях

исследованного показателя в органах и тканях между самками и самцами не достоверны. В таблице 2 представлены коэффициенты накопления свинца органами и тканями каспийского тюленя. Рассчитанные показатели свидетельствуют о том, что исследованные объекты питания не способны существенно оказывать влияние на концентрацию свинца в органах и тканях каспийского тюленя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показано, что химические элементы распределяются в организме тюленя неравномерно в зависимости от свойств металлов и функциональных особенностей органов. Значительные концентрации металлов отмечены, прежде всего, в органах, для которых характерно активное протекание процессов метаболизма с одной стороны, а с другой – активно участвующих в процессах, направленных на поддержание гомеостаза. В организме каспийского тюленя цинк, марганец, хром, кобальт и ртуть преимущественно накапливаются в печени, никель и кадмий в почках, медь – в желудке, а свинец – в жировой ткани.

При одинаковых условиях обитания самки обладают в большинстве случаев более высокими коэффициентами накопления микроэлементов, чем самцы. Самки каспийского тюленя по сравнению с самцами аккумулируют в большей мере медь, ртуть и кадмий. Половых различий в накоплении цинка, никеля, кобальта и свинца органами и тканями у каспийского тюленя не выявлено. С возрастом у каспийского тюленя происходит достоверное увеличение концентрации цинка, меди, ртути и кадмия, а усвояемость марганца, хрома, кобальта и свинца снижается.

Коэффициенты накопления химических элементов являются неким результатом их биогеохимической миграции по звеньям трофических цепей. Известно, что ртуть обладает высокой аккумуляционной способностью по отношению к живым организмам и нами на основании коэффициентов накопления химических элементов органами и тканями каспийского тюленя это еще раз отмечено.

Отмечена миграция меди, кобальта, хрома и кадмия в системе: рыбы-бентофаги и рыбы-планктофаги – каспийский тюлень; миграция марганца в системе: рыбы-планктофаги – каспийский тюлень, а миграция никеля в системе: рыбы-бентофаги – каспийский тюлень.

В то же время исследованные кормовые объекты каспийского тюленя не способны оказывать существенного влияния на содержание в нем цинка и свинца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захарова Н.А. Количественное содержание микроэлементов в тканях каспийского тюленя // Вестник Астраханского Государственного Технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань: изд-во АГТУ. 2004. N 2 (21). С. 169-171.
2. Сокольский А.Ф., Ануфриев Д.П., Непоменко Л.Ф. Современное состояние популяции каспийского тюленя и мероприятия по ее сохранению. Астрахань: Изд-во Астраханского инженерно-строительного ин-та, 2013. 197 с.
3. Володина В.В., Грушко М.П., Фёдорова Н.Н. Морфофункциональное состояние органов и тканей каспийского тюленя на фоне паразитарных инвазий. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2015. 143 с.
4. Кузнецов В.В., Черноок В.И., Шипулин С.В. Оценка

численности популяции каспийского тюленя в современный период // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. по 5. С. 86-88.

5. Мэтсон К., Бикхэм Дж. Загрязнение, иммуотоксикология и эпизоотии: оценка риска для каспийского тюленя (*Phoca caspica*) // Материалы международной конференции «Морские млекопитающие Голарктики», Архангельск, 23-26 мая, 2002. С. 200-201.
6. Захарова Н.А., Хураськин Л.С. Каспийский тюлень как вершина трофических цепей экосистемы Каспийского моря // Материалы международной конференции «Проблемы изучения и использования природных ресурсов морей», Астрахань, 2001. С. 55-60.
7. Кузнецов В.В. Влияние промысла на структуру популяции каспийского тюленя в исторической ретроспективе // Труды ВНИРО. 2017. Т. 168. С. 14-25.
8. Бадамшин Б.И. Каспийский тюлень и его промысловое использование // В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства на водоемах Средней Азии и Казахстана. Алма-Ата, 1966. С. 59-62.
9. Хураськин Л.С. Каспийский тюлень // В кн.: Каспийское море. Ихтиофауна и промысловые ресурсы. Москва: Наука, 1989. С. 198-205.
10. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. Москва: Наука, 2008. 315 с.
11. Зайцев В.Ф., Танасова А.С., Ершова Т.С., Володина В.В. Содержание ряда тяжелых металлов в организме Каспийского тюленя // Труды Биогеохимической лаборатории. 2016. Т. 25. С. 223-230.
12. Zaitsev V.F., Ershova T.S. The content of mercury and cadmium in the bodies of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // International Scientific Conference on Ecological Crisis: Technogenesis and Climate Change, Beograd, 21-23 April, 2016. P. 129-130.
13. Ershova T.S., Tanasova A.S., Zaitsev V.F. The contents of mercury, cadmium, lead, and zinc in organs of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // International Scientific Conference on Objectives of sustainable development in the third millennium, Beograd 20-22 April, 2017. P. 59-60.
14. Zaitsev V.F., Ershova T.S., Chaplygin W.A., Tanasova A.S. The migration of biogenic elements on the trophic chains of the Caspian Sea // International scientific conference on Green economy and Environment protection. Book of abstracts. Beograd, 23-25 April, 2018. 16 p.
15. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчков Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология: монография. Москва: Медицина, 1991. 496 с.
16. Хураськин Л.С., Захарова Н.А. Некоторые проблемы биологии каспийского тюленя в связи с антропогенной инвазией гребневика *Mnemiopsis* sp. // Материалы второй международной конференции «Морские млекопитающие Голарктики», Москва, 10-15 октября, 2002. С. 115-116.
17. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. Москва: Высшая школа, 1960. 554 с.
18. Bradley R.W., Morris J.R. Heavy metals in fish from a series of metalcontaminated lakes near Sudbury, Ontario // Water, Air and Soil Pollut. 1986. Vol. 27. N 3/4. P. 341-354.
19. Гудиева И.Р. Физиологические свойства кобальта и его влияние на организм человека // Молодой ученый. 2019. N 5. С. 42-46. URL: <https://moluch.ru/archive/243/56245/> (дата обращения: 14.09.2020)

20. Комов В.Т., Степина Е.С., Гремячих В.А., Поддубная Н.Я., Борисов М.Я. Содержание ртути в органах млекопитающих семейства куньих (Mustelidae) Вологодской области // Поволжский экологический журнал. 2012. N 4. С. 385-393.
 21. Степина Е.С. Содержание ртути в тканях и органах млекопитающих Вологодской области // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты», Москва, 7-9 сентября, 2010. М.: ГЕОХИ РАН, 2010. С. 314-318.
 22. Малов А.М., Сибиряков В.К., Семенов Е.В. Распределение ртути в некоторых органах и тканях крыс // Токсикологический вестник. 2009. N 5. С. 9-14.
 23. Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Содержание ртути в органах и тканях каспийского тюленя (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // Юг России: экология, развитие. 2016. Т. 11. N 1. С. 69-78 DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-69-78
 24. Ершова Т.С., Танасова А.С., Зайцев В.Ф., Володина В.В. Тяжелые металлы в некоторых органах каспийской нерпы (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета «Естественные и точные науки». 2016. Т. 10. N 2. С. 27-34.
 25. Медведев Н.В. Состояние популяций морских млекопитающих Карелии // В кн.: «Динамика популяций охотничьих животных северной Европы». Петрозаводск, 1998. С. 79-81.
- REFERENCES**
1. Zakharova N.A. Quantitative content of trace elements in the tissues of the Caspian seal. Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries]. 2004, no. 2 (21), pp. 169-171. (In Russian)
 2. Sokol'skiy A.F., Anufriev D.P., Nepomenko L.F. *Sovremennoe sostoyanie populyatsii kaspiiskogo tyulena i meropriyatiya po ee sokhraneniuyu* [The current state of the Caspian seal population and measures for its conservation]. Astrakhan', Astrakhan Engineering and Construction Institute Publ., 2013, 197 p. (In Russian)
 3. Volodina V.V., Grushko M.P., Fedorova N.N. *Morfofunktsional'noe sostoyanie organov i tkanei kaspiiskogo tyulena na fone parazitarnykh invazii* [Morphofunctional state of organs and tissues of the Caspian seal against the background of parasitic invasions]. Astrakhan', Astrakhan State Technical University Publ., 2015, 143 p. (In Russian)
 4. Kuznetsov V.V., Chernook V.I., Shipulin S.V. Estimation of the population of the Caspian seal in the modern period. Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse [Environmental protection in the oil and gas industry]. 2013, no. 5, pp. 86-88. (In Russian)
 5. Mjetson K., Bikhjem Dzh. Zagryaznenie, immunotoksikologiya i epizootii: otsenka riska dlya kaspiiskogo tyulena (*Phoca caspica*) [Pollution, immunotoxicology and epizootics: risk assessment for the Caspian seal (*Phoca caspica*)]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Morskije mlekopitayushchie Golarktiki»*, Arkhangel'sk, 23-26 maya, 2002 [Proceedings of International Conference "Marine Mammals of the Holarctic", Arkhangelsk, 23-26 May 2002]. Arkhangelsk, 2002, pp. 200-201. (In Russian)
 6. Zakharova N.A., Khuras'kin L.S. Kaspiiskii tyulen' kak vershina troficheskikh tsepei ekosistemy Kaspiiskogo morya [The Caspian seal as the top of the trophic chains of the Caspian Sea ecosystem]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Problemy izucheniya i ispol'zovaniya prirodnikh resursov morei»*, Astrakhan', 2001 [Proceedings of international conference "Problems of studying and using natural resources of the seas", Astrakhan', 2001]. Astrakhan', 2001, pp. 55-60. (In Russian)
 7. Kuznetsov V.V. [The influence of fishing on the structure of the Caspian seal population in historical retrospect]. In: *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO]. 2017, vol. 168, pp. 14-25. (In Russian)
 8. Badamshin B.I. The Caspian seal and its commercial use. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaystva na vodoemakh Srednei Azii i Kazakhstana* [Biological foundations of fisheries in the reservoirs of Central Asia and Kazakhstan]. Alma-Ata, 1966, pp. 59-62. (In Russian)
 9. Huras'kin L.S. The Caspian seal. In: *Kaspiiskoe more. Ikhtiofauna i promyslovye resursy* [The Caspian Sea. Ichthyofauna and commercial resources]. Moscow, Nauka Publ., 1989, pp. 198-205. (In Russian)
 10. Ermakov V.V., Tyutikov S.F. *Geokhimicheskaya ekologiya zhivotnykh* [Geochemical ecology of animals]. Moscow, Nauka Publ., 2008, 315 p. (In Russian)
 11. Zaitsev V.F., Tanasova A.S., Ershova T.S., Volodina V.V. [The content of a number of heavy metals in the body of the Caspian seal]. In: *Trudy Biogeokhimicheskoi laboratorii* [Proceedings of the Biogeochemical Laboratory]. 2016, vol. 25, pp. 223-230. (In Russian)
 12. Zaitsev V.F., Ershova T.S. Soderzhanie rtuti i kadmiya v organizme kaspiiskogo tyulena (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) [The content of mercury and cadmium in the bodies of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788)]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Ekologicheskii krizis: tekhnogenez i izmenenie klimata»*, Belgrad, 21-23 aprelya 2016 [Proceedings of international scientific conference "Ecological Crisis: Technogenesis and Climate Change", Beograd, 21-23 April, 2016]. Beograd, 2016, pp. 129-130. (In Russian)
 13. Ershova T.S., Tanasova A.S., Zaitsev V.F. The contents of mercury, cadmium, lead, and zinc in organs of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). International Scientific Conference on Objectives of sustainable development in the third millennium, Beograd 20-22 April, 2017, pp. 59-60.
 14. Zaitsev V.F., Ershova T.S., Chaplygin W.A., Tanasova A.S. The migration of biogenic elements on the trophic chains of the Caspian Sea. International scientific conference on Green economy and Environment protection. Book of abstracts. Beograd, 23-25 April, 2018, 16 p.
 15. Avcyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Storchkov L.S. *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya* [Human microelementoses: etiology, classification, organopathology]. Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (In Russian)
 16. Khuras'kin L.S., Zakharova N.A. Nekotorye problemy biologii kaspiiskogo tyulena v svyazi s antropogennoi invaziei grebnevidnogo Mnemiopsis [Some problems of the biology of the Caspian seal in connection with the anthropogenic invasion of the combtail *Mnemiopsis* sp.]. *Materialy vtoroi mezhdunarodnoi konferentsii «Morskije mlekopitayushchie Golarktiki»*, Moskva, 10-15 oktyabrya, 2002 [Proceedings of the second International Conference "Marine Mammals of the Holarctic", Moscow, 10-15 October, 2002]. Moscow, 2002, pp. 115-116. (In Russian)
 17. Voinar A.I. *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka* [The biological role of trace elements in the body of animals and humans]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1960, 544 p. (In Russian)
 18. Bradley R.W., Morris J.R. Heavy metals in fish from a series of metalcontaminated lakes near Sudbury, Ontario.

Water, Air and Soil Pollut, 1986, vol. 27, no. 3/4, pp. 341-354.

19. Gudieva I.R. *Fiziologicheskiye svoystva kobal'ta i yego vliyaniye na organizm cheloveka* [Physiological properties of cobalt and its effect on the human body]. Available at: <https://moluch.ru/archive/243/56245/> (accessed 14.09.2020)

20. Komov V.T., Stepina E.S., Gremyachikh V.A., Poddubnaya N.Ya. Mercury content in the organs of mammals of the marten family (Mustelidae) Vologda region. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Volga Ecological Journal]. 2012, no. 4, pp. 385-393. (In Russian)

21. Stepina E.S. Soderzhanie rtuti v tkanyakh i organakh mlekoopitayushchikh Vologodskoi oblasti [Mercury content in mammalian tissues and organs of the Vologda Oblast] *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Rtut' v biosfere: ekologo-geokhimicheskie aspekty», Moskva, 7-9 sentyabrya, 2010* [Proceedings of the International Symposium "Mercury in the Biosphere: Ecological and Geochemical aspects", Moscow, 7 September]. Moscow, 2010, pp. 314-318. (In Russian)

22. Malov A.M., Sibiryakov V.K., Semenov E.V. Distribution of mercury in some organs and tissues of rats.

Toksikologicheskii vestnik [Toxicological Bulletin]. 2009, no. 5, pp. 9-14. (In Russian)

23. Ershova T.S., Zaitsev V.F. Mercury content in organs and tissues of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). *South of Russia: ecology, development Journal*, 2016, vol. 11, no. 1, pp. 69-78. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-69-78

24. Ershova T.S., Tanasova A.S., Zaitsev V.F., Volodina V.V. Heavy metals in some organs of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences]. 2016, vol. 10, no. 2, pp. 27-34. (In Russian)

25. Medvedev N.V. The state of populations of marine mammals of Karelia. In: *Dinamika populyatsii okhotnich'ikh zhivotnykh severnoi Evropy* [Dynamics of populations of hunting animals of Northern Europe]. Petrozavodsk, 1998, pp. 79-81. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Шамсутдин М. Самудов и Владимир А. Чаплыгин обработали материал. Юлия А. Шевченко оформила статью. Татьяна С. Ершова проанализировала полученные данные, написала рукопись. Вячеслав Ф. Зайцев проанализировал полученные данные, проверил рукопись до подачи в редакцию. Магомед З. Гаджидадаев проверил и откорректировал 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

Shamsutdin M. Samudov and Vladimir A. Chaplygin processed the material. Yulia A. Shevchenko designed the article. Tatiana S. Ershova analysed the data obtained and wrote the manuscript. Vyacheslav F. Zaitsev analysed the data obtained and checked the manuscript before submitting it to the Editor. Magomed Z. Gadzhidadaev checked and corrected the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Татьяна С. Ершова / Tatiana S. Ershova <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

Вячеслав Ф. Зайцев / Vyacheslav F. Zaitsev <https://orcid.org/0000-0001-6350-2129>

Магомед З. Гаджидадаев / Magomed Z. Gadzhidadaev <https://orcid.org/0000-0001-9468-8501>

Владимир А. Чаплыгин / Vladimir A. Chaplygin <https://orcid.org/0000-0002-0509-702X>

Юлия А. Шевченко / Yulia A. Shevchenko <https://orcid.org/0000-0002-9900-5973>

Оригинальная статья / Original article
УДК 615.9:579.64:636.4:619:611.018
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-62-79

Изучение токсического действия трихотеценового микотоксина продуцента *Fusarium sporotrichioides* в опыте на свиньях

Ильгиз И. Идиятов¹, Ильнур Р. Кадиков¹, Вадим Р. Саитов¹, Глеб С. Кашеваров¹, Игорь М. Фицев¹, Анна М. Тремасова¹, Ксения В. Перфилова¹, Марина М. Сальникова²

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», Казань, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

Контактное лицо

Ильгиз И. Идиятов, кандидат биологических наук, заведующий отделением токсикологии, ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»; 420075 Россия, г. Казань, Научный городок-2.
Тел. +79274459046
Email idiyatov_ilgiz@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9279-4001>

Формат цитирования

Идиятов И.И., Кадиков И.Р., Саитов В.Р., Кашеваров Г.С., Фицев И.М., Тремасова А.М., Перфилова К.В., Сальникова М.М. Изучение токсического действия трихотеценового микотоксина продуцента *Fusarium sporotrichioides* в опыте на свиньях // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 62-79. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-62-79

Получена 3 ноября 2021 г.
Прошла рецензирование 2 декабря 2021 г.
Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель. Оценить последствия длительного потребления свиньями корма, экспериментально загрязненного Т-2 токсином в количестве, близком к наиболее часто обнаруживаемому в кормах.

Материал и методы. Опыты проводили на свиньях, которым в течение 45 суток скармливали корм, загрязненный Т-2 токсином в количестве 200 мкг/кг. В ходе эксперимента проводили оценку клинического состояния животных, потребления корма и воды, динамики живой массы, анализ показателей крови, состояния внутренних органов и тканей, статистическую обработку полученных данных общепринятыми методами.

Результаты. Длительное потребление свиньями корма, загрязненного микотоксином Т-2 не вызывало проявления выраженной клинической картины токсикоза. Однако у затравленных животных отмечалась диарея, отставание в росте и развитии. По результатам исследования крови было сделано заключение о подавлении токсином процесса кроветворения, ингибировании синтеза белка, снижении резистентности и микрофагоцитарной функции организма, нарушении обмена веществ, функционирования большинства органов и систем. Регистрировались патологические состояния и дегенеративные изменения клеток и тканей внутренних органов, опосредованные инициированием окислительного стресса, воспалительными процессами и цитотоксическим эффектом.

Выводы. Потребление свиньями корма, загрязненного Т-2 токсином в дозе 200 мкг/кг, сопровождалось нарушениями обменных процессов, функций органов и систем, проявляющихся снижением интенсивности роста, изменениями картины крови, активности ферментных систем, индуцированием окислительного стресса, иммуносупрессивными и воспалительными реакциями, патоморфологическими нарушениями. Таким образом, пероральное поступление Т-2 токсина даже в малых концентрациях оказывает комплексное негативное воздействие на организм.

Ключевые слова

Fusarium sporotrichioides, Т-2 токсин, свиньи, токсичность.

Study of the toxic effect of trichothecene mycotoxin produced by *Fusarium sporotrichioides* in an experiment on pigs

Ilgiz I. Ildiyatov¹, Ilnur R. Kadikov¹, Vadim R. Saitov¹, Gleb S. Kashevarov¹, Igor M. Fitsev¹, Anna M. Tremasova¹, Ksenia V. Perfilova¹ and Marina M. Salnikova²

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

²Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

Principal contact

Ilgiz I. Ildiyatov, Candidate of Biological Sciences, Head of the Department, Department of Toxicology, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety; Nauchniy Gorodok-2, Kazan, Russia 420075.
Tel. +79274459046
Email ildiyatov_ilgiz@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9279-4001>

How to cite this article

Ildiyatov I.I., Kadikov I.R., Saitov V.R., Kashevarov G.S., Fitsev I.M., Tremasova A.M., Perfilova K.V., Salnikova M.M. Study of the toxic effect of trichothecene mycotoxin produced by *Fusarium sporotrichioides* in an experiment on pigs. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 62-79. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-62-79

Received 3 November 2021

Revised 2 December 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. To assess the consequences of long-term consumption by pigs of feed experimentally contaminated with T-2 toxin in an amount close to the most commonly found in feed.

Material and Methods. The experiments were carried out on pigs, which were fed food contaminated with T-2 toxin in the amount of 200 mg/kg for 45 days. During the experiment, the clinical condition of animals, feed and water consumption, the dynamics of live weight, analysis of blood parameters, the state of internal organs and tissues and statistical processing of the data obtained by conventional methods were undertaken.

Results. Long-term consumption of feed contaminated with mycotoxin T-2 by pigs did not cause a pronounced clinical picture of toxicosis. However, the treated animals had diarrhea and lag in growth and development. According to the results of the blood test, it was concluded that the toxin suppressed the hematopoiesis process, inhibited protein synthesis, reduced resistance and microphagocytic function of the body, metabolic disorders and the functioning of most organs and systems. Pathological conditions and degenerative changes of cells and tissues of internal organs were recorded and mediated by the initiation of oxidative stress, inflammatory processes and cytotoxic effect.

Conclusions. The consumption of feed contaminated with T-2 toxin in a dose of 200 mg/kg by pigs was accompanied by disturbances of metabolic processes, functions of organs and systems, manifested by a decrease in growth intensity, changes in the blood picture, activity of enzyme systems, induction of oxidative stress, immunosuppressive and inflammatory reactions and pathomorphological disorders. Thus, the oral intake of T-2 toxin, even in small concentrations, was found to have a complex negative effect on the body.

Key Words

Fusarium sporotrichioides, T-2 toxin, pigs, toxicity.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на внедрение передовых методов ведения сельского хозяйства и производства, контаминации кормов и продуктов питания микотоксинами избежать невозможно, в некоторых концентрациях они практически повсеместно содержатся в рационе человека и животных [1; 2]. При этом микотоксины, загрязняющие корма, могут оказывать токсическое действие на животных и передаваться в продукты животного происхождения [3-5]. Случаи массовых отравлений микотоксинами людей и сельскохозяйственных животных зарегистрированы во многих странах мира [6]. Биологические реакции после контакта с микотоксинами варьируются от острого токсикоза с выраженной клинической картиной и летальностью до хронического скрытого течения со снижением продуктивности и резистентности к патогенам [4].

T-2 токсин – трихотеценовый микотоксин, продуцируемый широко распространенными микромицетами рода *Fusarium*, обладающий сильнейшим системным токсическим действием и высокой устойчивостью в окружающей среде [3; 7; 8]. Биологическое действие токсина заключается в ингибировании синтеза белка, ДНК, нарушении структуры мембран, иницировании окислительных процессов, запуске апоптоза [9]. Он быстро метаболизируется и выводится из организма, однако поражает многие системы и органы, угнетает гемопоэз, проявляет иммуносупрессивное действие, повышает восприимчивость к инфекционным заболеваниям [1; 3; 10; 11]. Токсичность и другие вредные эффекты токсина варьируются в зависимости от множества факторов, таких как дозировка, путь введения, продолжительность воздействия, возраст, пол и общее состояние здоровья животного, наличие других токсичных веществ [12; 13].

Свиноводческой отрасли проблема микотоксикозов причиняет ощутимый ущерб, что объясняется концентрированным типом кормления, особенностями обмена веществ животных, современными технологиями содержания [14]. Уровни загрязнения микотоксинами кормов для свиней обычно недостаточно высоки, чтобы вызвать явное заболевание, но могут привести к экономическим потерям из-за снижения продуктивности и иммуносупрессии [1; 15].

Разумеется, кормовое сырье может быть заражено несколькими видами микроскопических грибов, которые могут одновременно продуцировать несколько микотоксинов, и, кроме того, рацион животного состоит из нескольких продуктов в составе комбинированного корма [16].

Данные материалы являются частью исследовательской работы по оценке характера сочетанного воздействия на организм животных экотоксикантов и имели целью отразить последствия длительного потребления свиньями корма, экспериментально контаминированного T-2 токсином в количестве, близком к наиболее часто обнаруживаемому в кормах из различных регионов Российской Федерации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В опытах использовали T-2 токсин, синтезированный в лаборатории микотоксинов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» коллективом под руководством д.в.н. Семенова Э.И., продуцентом токсина служил микроскопический гриб *Fusarium sporotrichioides* 2M15.

Наличие основного вещества и посторонних примесей в синтезированном T-2 токсине контролировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии – квадрупольной времяпролетной tandemной масс-спектрометрии (ВЭЖХ-МС/МС), а его идентификацию проводили по времени удерживания (t_r) и ESI масс-спектру в режиме положительной ионизации. Для этого сравнивали время удерживания и ESI масс-спектр синтезированного T-2 токсина с временем удерживания и ESI масс-спектром раствора аналитического стандарта T-2 токсина (кат. № T4887 Sigma-Aldrich, США) с концентрацией 1 мкг/мл.

Использовали жидкостной хроматограф «Dionex UltiMate 3000» (Thermo Fisher Scientific, США), квадрупольный времяпролетный tandemный масс-спектрометрический (МС) детектор высокого разрешения «Bruker Impact II», электрораспылительный (ESI) источник ионизации «ionBooster» (Bruker Daltonics, Германия). ESI-источник функционировал при напряжении 500 В – на распылительном щите и 4600 В – на капилляре, давлении газа-распылителя (N_2 , «ос. ч.») – 0,4 бар, скорости потока газа-осушителя (N_2) – 4,5 л/мин при температуре 180°C, скорости потока газа-испарителя (N_2) – 250 л/ч при температуре – 250°C. Диапазон регистрируемых масс ионов – 100-1000 m/z. Детектирование осуществляли при положительной ионизации в режиме мониторинга множественных реакций (MRM), минимизирующем влияние химических шумов. Хроматографическое разделение осуществляли на колонке с обращенной фазой «Acclaim 120 C18» (2,2 мкм, 100×2,1 мм, Thermo Fisher Scientific, США). Условия проведения хроматографического анализа: подвижная фаза А состава: H_2O – с добавлением 0,1% $HCOOH$ и 5 мМ $HCOONH_4$, подвижная фаза В состава: CH_3OH с добавлением 0,1% $HCOOH$ и 5 мМ $HCOONH_4$. Режим элюирования градиентный. Температура термостата колонки – 35°C, объем вводимой пробы – 5 мкл. Для обработки хроматомасс-спектрометрической информации применяли программное обеспечение (ПО) «DataAnalysis» (Bruker Daltonics, Германия).

В эксперименте комбикорм для опытных животных контаминировали T-2 токсином из расчета 200 мкг/кг, что превышает предельно допустимую концентрацию в два раза [17].

Эксперимент по изучению токсического действия T-2 токсина проводили на 6 клинически здоровых свиньях породы «Крупная белая» в возрасте 8 недель, живой массой 14-17 кг, разделенных на 2 группы по 3 особи в каждой. Эксперимент одобрен локальным этическим комитетом ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». Процедуры выполняли в соответствии с правовыми нормами, определяющими условия и методы проведения экспериментов на животных. Содержание животных соответствовало «Правилам

лабораторной практики (GLP)» и приказу Минздрава России от 01.04.2016 №193н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики». Кормление свиней проводили в соответствии с зоотехническими нормами. Результаты исследования корма на наличие микромицетов и микотоксинов были отрицательными. Качество воды соответствовало ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая». Животных содержали в контролируемых условиях окружающей среды 15-18°C и относительной влажности воздуха 50-65%. Чистку вольеров осуществляли ежедневно.

Свиньям опытной группы скармливали корм, экспериментально загрязненный Т-2 токсином, животным контрольной группы задавали нативный доброкачественный комбикорм. Продолжительность опыта составила 45 суток (терминальные точки – 1, 15, 30 и 45 суток). В ходе эксперимента проводили оценку клинического состояния животных, потребления корма и воды, динамики живой массы, показателей крови, состояния внутренних органов и тканей. Оценка клинического состояния животных осуществляли по общепринятой схеме [18].

Забор крови проводили из яремной вены с соблюдением необходимых требований. Гематологические исследования включали определение концентрации эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов с помощью анализатора «MYTHIC 18 VET» (Orphee, Швейцария) и дифференциальный подсчет лейкоцитарной формулы. Анализ общего белка сыворотки крови проводили рефрактометрическим методом, белковых фракций – турбидиметрическим (нефелометрическим), содержание малонового диальдегида (продукта перекисного окисления липидов) – по качественной реакции с тиобарбитуровой кислотой [9; 19]. Активность ферментов, концентрацию продуктов белкового и липидного обменов, углеводов определяли на биохимическом анализаторе Stat Fax 3300 (Awareness Technology, США) [9; 19]. Количество Т-лимфоцитов выявляли методом спонтанного розеткообразования с гетерогенными эритроцитами (Е-РОК), В-лимфоцитов – методом ЕАС-розеток [9; 19]. Фагоцитарную способность нейтрофилов устанавливали по их способности поглощать и переваривать микробы, объектом фагоцитоза служила суточная культура *Staphylococcus aureus*, предоставленная отделением бактериологии ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». Функциональную способность нейтрофилов устанавливали по фагоцитарной активности (проценту активных фагоцитирующих нейтрофилов), фагоцитарному индексу (среднему числу микробных тел, приходящихся на один сосчитанный нейтрофил), фагоцитарному числу (среднему количеству микробов в одном активном нейтрофиле) и фагоцитарной емкости, характеризующей общую фагоцитарную активность [9; 19]. Лизоцимную активность сыворотки крови выявляли нефелометрическим методом, основанным на способности фермента растворять мукополисахариды оболочки ряда бактерий. В качестве стандарта для определения титра лизоцима в испытуемом материале служила культура *Micrococcus luteus* (B-6003) (предоставлена

отделением бактериологии ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ») [9; 19].

На 45 сутки эксперимента проводили эвтаназию животных в соответствии с «Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований с использованием лабораторных животных» Хельсинкской декларации с последующим вскрытием и макроскопической оценкой состояния внутренних органов.

Для гистологического исследования после вскрытия у животных отбирали пробы сердца, печени и почек, фиксировали их в нейтральном забуференном 10% растворе формалина. Обезживление и уплотнение отобранных тканей осуществляли погружением в серию спиртов возрастающей крепости с последующей заливкой парафином. Из подготовленных блоков изготавливали гистологические срезы толщиной 8 мкм, окраску препаратов тканей проводили гематоксилин-эозином [9]. Микроскопическое исследование образцов осуществляли с помощью светооптического микроскопа Levenhuk 400T (Levenhuk, США) с использованием цифровой камеры Levenhuk M1000 PLUS (Levenhuk, США).

С помощью методов электронной микроскопии изучали ультраструктуру клетки паренхимы печени и коркового слоя почек. Подготовку материала проводили по общепринятой схеме. Образцы тканей фиксировали в растворе глутарового альдегида (2,5%) на 0,1 М фосфатном буфере (pH 7,4) в течение 4 часов, после двукратной промывки тем же буфером проводили постфиксацию в растворе тетраоксида осмия (1%) в течение 2 часов. Затем после промывки фосфатным буфером ткани обезживали в спиртах повышающейся концентрации, ацетоне и заключали в смесь эпоновых смол [9; 19]. Из полимеризованных блоков готовили ультрасрезы толщиной 70 нм, окрашивали уранилацетатом, ацетатом свинца, препараты анализировали с помощью электронного микроскопа JEM 100 CX-II («Jeol», Japan) при ускоряющем напряжении 80 кВ. Съемку проводили на фототехническую пленку Agfa orthochromatic. Оцифровка негативов производилась на сканере Epson perfection 4990 foto с разрешением 600 dpi. Морфометрическая обработка микрофотографий производилась с помощью программ AxioVision Rel. 4.8 (Carl Zeiss) и ACDSee Pro v.6.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Excel 2010 (Microsoft Corporation, США) (описательная статистика) и Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

Для среднegrupповых показателей рассчитывали ошибку среднего арифметического для малых выборок в соответствии с формулой В.2.17 рекомендаций по выражению неопределённости [20].

Для выявления межгрупповых различий использовали тест Манна-Уитни; для оценки согласованности внутригрупповых изменений вычисляли коэффициент конкордации Кендалла с ранговым дисперсионным анализом Фридмана;

критический уровень статистической значимости (p) принимали равным 0,05.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное ВЭЖХ-МС/МС исследование синтезированного Т-2 токсина позволило зарегистрировать на его хроматограмме пик, совпадающий по времени удерживания ($t_r=9,2$ мин) с таковым для раствора аналитического образца (рис. 1, а). Проведенный анализ хроматограммы не выявил в составе синтезированного Т-2 токсина наличия посторонних примесей, не характерных для данного соединения, детектируемых в условиях ВЭЖХ.

Идентификацию Т-2 токсина проводили по масс-спектру ESI, регистрацию которого проводили в

режиме сканирования положительных ионов. Характерной особенностью ESI масс-спектра Т-2 токсина (рис. 1, б), позволяющей идентифицировать его с высокой степенью надежности, является наличие в масс-спектре интенсивных пиков, связанных с образованием его аддуктов с ионами аммония $[M+NH_4]^+$ ($m/z=484.2115$ Da) и Na^+ ($m/z=489.2095$ Da). В то же время пик иона-прекурсора $[M+H]^+$ ($m/z=467.2281$ Da) обладает низкой интенсивностью. Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися литературными данными [21-23].

По результатам проведенных количественных определений можно заключить, что содержание основного вещества в исследуемом препарате составляет $97,8 \pm 0,5\%$.

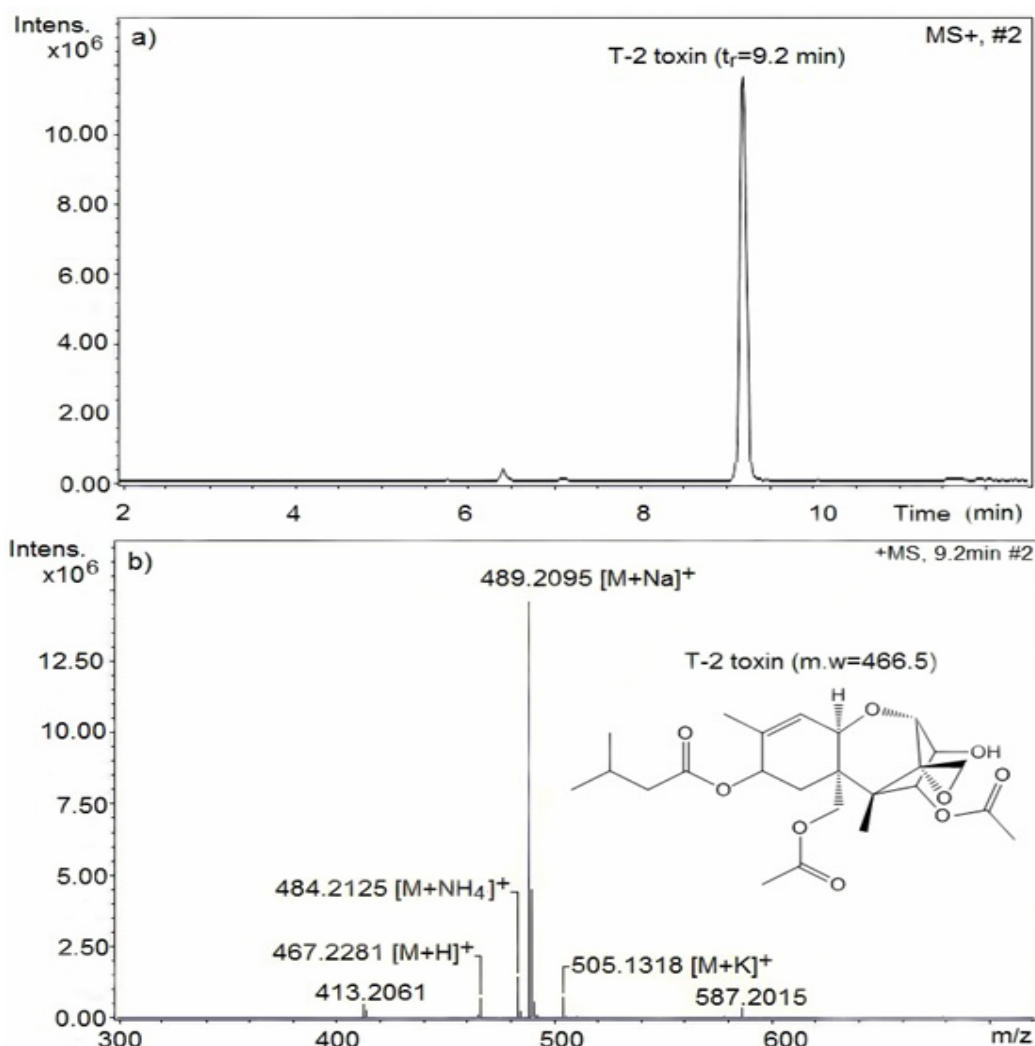


Рисунок 1. Результаты исследования синтезированного Т-2 токсина методом ВЭЖХ-МС/МС:

а) хроматограмма; б) ESI масс-спектр Т-2 токсина

Figure 1. The results of the study of synthesized T-2 toxin by HPLC-MS/MS: а) chromatogram;

б) ESI mass spectrum of T-2 toxin

Анализ клинико-гематологических показателей. Длительное потребление свиньями корма, содержащего Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг, являлось причиной снижения аппетита и активности, возникновения расстройств в функционировании

желудочно-кишечного тракта (диареи). Животные отставали в росте и развитии, так, на 15 сутки эксперимента прирост массы тела свиней на фоне микотоксикоза по сравнению с контрольной группой был меньше на 11,33%, на 30 сутки – на 29,60%, на 45

сутки опыта – на 30,58%. Потребляя токсин, свиньи ежедневно показывали на 30,41% меньший прирост в сравнении с контрольными животными (табл. 1). Однако при проведении теста Манна-Уитни

статистически значимых различий массы тела между группами опыта и контроля не обнаружено ни в одном из временных срезов; прирост массы за опыт и среднесуточный также различались не значимо.

Таблица 1. Изменение прироста массы тела свиней при различной продолжительности приема корма, контаминированного Т-2 токсином в дозе 200 мкг/кг и потреблявших доброкачественный корм

Table 1. Change in the body weight gain of pigs with different duration of intake of feed contaminated with T-2 toxin at a dose of 200 mkg/kg and consumed good-quality feed

Группа (n=3) Group (n=3)	Период исследования / Масса тела (кг) Study period / Body weight (kg)				W	Прирост массы Weight gain	
	1 сут 1 day	15 сут 15 days	30 сут 30 days	45 сут 45 days		За опыт For the experiment	Средне- суточный Average daily
Опыт Experiment	14,67±0,41	17,33±0,54	19,83±0,74	23,00±1,27	1,00*	8,33±0,89	0,19±0,02
Контроль Control	15,00±0,71	18,00±1,41	22,33±1,59	27,00±1,62	1,00*	12,00±1,54	0,27±0,03

Примечание: W – коэффициент конкордации Кендалла; * – $p < 0,05$

Note: W – is the Kendall concordance coefficient; * – $p < 0.05$

Клинические признаки, наблюдаемые в данном опыте у животных при потреблении с кормом Т-2 токсина, были аналогичны тем, которые отмечались у телят [24], коз [25], овец [26], птицы [27]. Сообщалось, что у свиней токсические эффекты Т-2 токсина проявляются в виде пищевой алейки с рвотой, диареей, лейкопенией, кровотечениями [11; 28], при хроническом воздействии также отмечали задержку роста, подавление набора веса, отказ от корма [29]. Плохая поедаемость корма и диарея, повлекшая за собой снижение абсорбционной способности стенкой кишечника, вероятно, приводили к низкой усвояемости питательных веществ, понижению интенсивности обменных процессов и, как следствие, снижению прироста массы тела.

Кровью выполняются очень важные и многообразные функции в организме, изменение ее состава служит диагностическим признаком развития патологических процессов в органах и системах [9]. Результаты гематологических исследований материала от свиней, потреблявших корм, контаминированный Т-2 токсином, показали понижение по сравнению с контрольными значениями количества эритроцитов на 15, 30 и 45 сутки эксперимента, соответственно, на 3,56; 10,38 и 17,08%, гемоглобина – на 4,66; 6,56 и 10,76%, лейкоцитов – на 7,79; 17,55 и 19,94% (табл. 2). Динамика исследуемых показателей может свидетельствовать о подавлении под воздействием Т-2 токсина эритро- и лейкопоэза, ингибировании синтеза белка. Такое же заключение было сделано и по результатам проведения опытов на крысах, мышах, морских свинках, кроликах, норках кошках и козах [28-31].

Лейкограмма крови животных опытной группы в сравнении с контрольной характеризовалась понижением уровня эозинофилов на 15, 30 и 45 сутки исследования, соответственно, на 17,00; 19,82 и 14,53%, палочкоядерных нейтрофилов – 5,77; 30,16 и 7,07%, сегментоядерных нейтрофилов – 30,40; 46,32 и

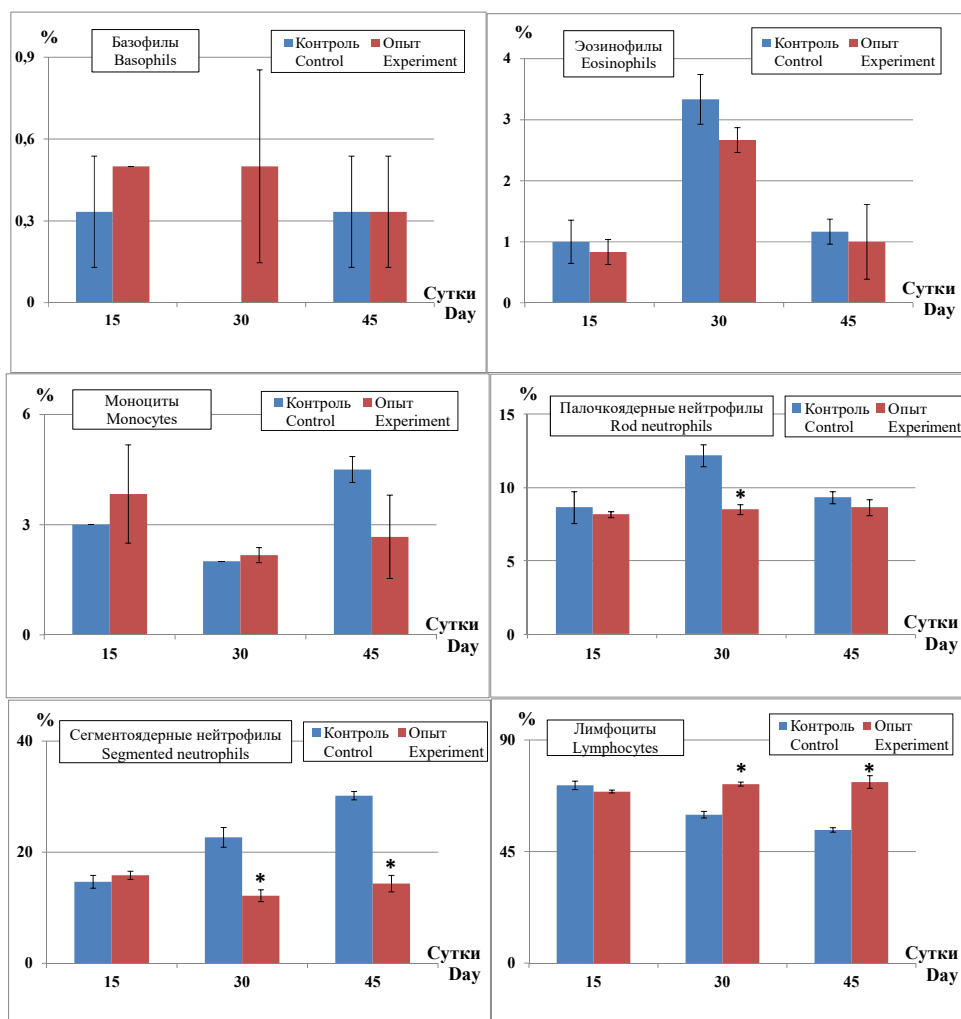
53,77%, моноцитов – на 30 сутки на 45,75%, 45 сутки – 40,67%. Относительное количество лимфоцитов на фоне Т-2 токсикоза имело тенденцию к увеличению, и превысило контрольное значение на 30 сутки на 20,63%, 45 сутки – на 36,02% (рис. 2). Изменения соотношения групп лейкоцитов, а именно эозино-, моноцито-, нейтропения и лимфоцитоз могут служить признаком снижения резистентности и микрофагоцитарной функции организма вследствие истощения гранулопоэза [9].

Сообщается, что клетки-предшественники лимфоцитов, гранулоцитов, моноцитов и эритроцитов высокочувствительны к Т-2 токсину [32].

О наличии негативного воздействия Т-2 токсина на организм, функциональное состояние органов и систем, а также степени патологического процесса на этом фоне свидетельствуют результаты исследования сыворотки крови [9], которые у свиней, подвергнутых воздействию токсина при поступлении *per os* с кормом, имели существенные различия с контрольными значениями (табл. 3). Так, у животных опытной группы содержание общего белка на 15, 30 и 45 сутки опыта было ниже контроля, соответственно, на 9,18; 9,81 и 14,13%, альбуминовой фракции – на 16,75; 23,17 и 19,49%, α -глобулинов – 11,19; 6,46 и 17,34%. Концентрация β - и γ -глобулинов характеризовалась превышением значений контрольной группы. Динамика анализируемых показателей может свидетельствовать о снижении усвояемости протеина корма, нарушении белковосинтезирующей функции печени. Развитие гипоальбуминемии указывало на дефицит аминокислот, изменение коллоидно-осмотического давления крови, почечную недостаточность и нарушение метаболизма, так как альбумины участвуют в транспорте жирных кислот, витаминов, гормонов, билирубина, кальция и магния. Повышение содержания глобулинов служило признаком развития патологических состояний, связанных с воспалительными процессами [9].

Таблица 2. Гематологические показатели свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг и потреблявших доброкачественный корм (n=3)**Table 2.** Hematological parameters of pigs which consumed T-2 toxin at a dose of 200 mkg/kg with feed and which consumed good-quality feed (n=3)

Показатель Index	Период исследования / Study period				W
	1 сут / 1 day	15 сут / 15 days	30 сут / 30 days	45 сут / 45 days	
Опыт / Experiment					
Эритроциты, $\times 10^{12}/\text{л}$ Erythrocytes, $\times 10^{12}/\text{L}$	6,15 $\pm$ 0,12	5,96 $\pm$ 0,12	5,61 $\pm$ 0,11*	5,29 $\pm$ 0,11*	1,00**
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$ Leukocytes, $\times 10^9/\text{L}$	15,60 $\pm$ 0,28	14,67 $\pm$ 0,29*	15,03 $\pm$ 0,11*	14,17 $\pm$ 0,32*	1,00**
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/L	106,33 $\pm$ 3,56	102,33 $\pm$ 3,56	99,67 $\pm$ 3,89	96,67 $\pm$ 4,32*	1,00**
Контроль / Control					
Эритроциты, $\times 10^{12}/\text{л}$ Erythrocytes, $\times 10^{12}/\text{L}$	6,13 $\pm$ 0,08	6,18 $\pm$ 0,05	6,26 $\pm$ 0,03	6,38 $\pm$ 0,03	0,98**
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$ Leukocytes, $\times 10^9/\text{L}$	15,63 $\pm$ 0,51	15,91 $\pm$ 0,69	18,23 $\pm$ 1,27	17,70 $\pm$ 1,07	0,91**
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/L	105,67 $\pm$ 2,48	107,33 $\pm$ 2,86	106,67 $\pm$ 1,08	108,33 $\pm$ 1,08	0,27

Примечание: W – коэффициент конкордации Кендалла; * – $p < 0,05$ (тест Манна-Уитни);** – $p < 0,05$ (ранговый дисперсионный анализ Фридмана)Note: W – is the Kendall concordance coefficient; * – $p < 0.05$ (Mann-Whitney test); ** – $p < 0.05$ (Friedman rank analysis of variance)**Рисунок 2.** Лейкограмма крови свиней контрольной и опытной групп на 15, 30 и 45 сутки опыта (n=3), %; * – отличие от контрольной группы на уровне $p = 0.05$ (тест Манна-Уитни)**Figure 2.** Blood leukogram of pigs of the control and experimental groups on the 15th, 30th and 45th days of the experiment (n=3), %; * – difference from the control group at the level of $p = 0.05$ (Mann-Whitney test)

Активность гепатобилиарных ферментов аланин- и аспартатаминотрансферазы (АЛТ и АСТ) у свиней, затравленных токсином, превысила контрольные величины на 15 сутки на 76,74 и 5,84%, коэффициент Де Ритиса (KDR) составил 0,76. На 30 сутки эксперимента активность ферментов была выше на 32,47 и 11,19% (KDR = 1,11), на 45 сутки – 5,78 и 44,35% (KDR = 1,76), соответственно. Изменение их концентрации может указывать на повреждение мембран гепатоцитов и нарушение обменных процессов на уровне аминокислот под воздействием токсина. При этом динамика АЛТ имела тенденцию к резкому подъему и последующему снижению, что объясняется нахождением фермента преимущественно в цитозоле клеток и массовым его высвобождением при повреждении гепатоцитов. Динамика АСТ с постепенным повышением уровня к концу опыта может быть свидетельством нарушения обмена аминокислот и считается также специфичной для патологии печени и сердца [9].

На развитие патологии печени, нарушение обмена кальция и фосфора, застой желчи у свиней, затравленных микотоксином, указывали результаты анализа щелочной фосфатазы (ЩФ) и билирубина, которые в исследуемые сроки превысили контрольные значения, соответственно, на 13,27; 27,07; 29,00% и 11,31; 23,92; 44,15%. Повышение концентрации мочевины (на 21,19; 19,60; 18,39%) могло происходить в результате нарушения ее синтеза печенью и выделения почками. Увеличение

активности щелочной фосфатазы, как фермента, преимущественно содержащегося в слизистой оболочке кишечника, костной ткани, клетках печени и почечных канальцев, указывало на поражение этих органов и нарушение фосфорно-кальциевого обмена, что в совокупности с анализом протеинограммы дает основания предполагать развитие нефротического симптомокомплекса [9]. Появление в крови билирубина является физиологическим состоянием организма, вследствие того, что он образуется при распаде эритроцитов [9]. Установленное в опыте накопление избыточного количества билирубина могло быть связано с поражением паренхимы печени, нарушением функции гепатоцитов.

Снижение содержания глюкозы, которое было отмечено на 30 сутки на 13,63%, к 45 суткам – на 22,49% в сравнении с контролем, повышение уровня амилазы и холестерина на 15, 30 и 45 сутки, соответственно, на 6,16; 20,20; 36,31% и 11,02; 16,59; 26,09% могли быть признаком дисфункции печени и поджелудочной железы. Понижение уровня глюкозы связывали с повреждением гепатоцитов, понижением образования из гликогена и других источников, всасывания из кишечного тракта и повышением потребности в ней тканей [9]. Повышение концентрации амилазы, являющейся ферментом, катализирующим гидролитическое расщепление гликогена и крахмала, объяснимо замедлением ее элиминации [9].

Таблица 3. Биохимические показатели сыворотки крови свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг и потреблявших доброкачественный корм (n=3)

Table 3. Biochemical parameters of blood serum of pigs which consumed T-2 toxin at a dose of 200 mkg/kg with feed and which consumed good-quality feed (n=3)

Показатель Index	Период исследования / Study period				W
	1 сут / 1 day	15 сут / 15 days	30 сут / 30 days	45 сут / 45 days	
Опыт / Experiment					
Общий белок, г/л Total protein, g/L	60,10±0,85	61,52±1,23	59,40±0,85*	59,10±0,85*	0,98**
Альбумины, г/л Albumins, g/L	27,16±1,36	24,89±1,74*	22,98±1,17*	25,70±1,20*	1,00**
α-глобулины, г/л α-globulins, g/L	9,98±0,41	11,24±0,41	9,70±0,27*	9,16±0,40*	0,91**
β-глобулины, г/л β-globulins, g/L	10,58±0,48	12,35±0,72*	13,33±0,76*	10,84±1,32	0,91**
γ-глобулины, г/л γ-globulins, g/L	12,38±1,56	13,03±1,45	13,38±1,44	13,39±2,22	0,73
АЛТ, Ед/л / ALT, U/L	10,61±0,84	20,82±1,65*	15,38±1,22*	12,62±1,00	1,00**
АСТ, Ед/л / AST, U/L	13,50±1,57	15,77±1,86	17,00±1,97	22,23±2,61*	1,00**
ЩФ, Ед/л / ALP, U/L	186,40±8,24	219,97±9,75*	248,00±10,79*	255,12±11,20*	1,00**
Билирубин, мкмоль/л Bilirubin total, μmol/L	2,61±0,07	3,74±0,11*	4,30±0,13*	4,93±0,15*	1,00**
Мочевина, ммоль/л Urea, mmol/L	4,23±0,15	5,49±0,19*	5,92±0,20*	6,78±0,09*	1,00**
Холестерин, ммоль/л Cholesterol, mmol/L	2,43±0,16	2,62±0,18	2,67±0,18	2,90±0,19*	1,00**
Креатинин, мкмоль/л Creatinine, μmol/L	42,30±3,18	45,27±3,41	46,07±3,47	47,50±3,55	1,00**
Амилаза, Ед/л Amylase, U/L	61,43±2,92	70,65±3,36	80,46±3,85*	92,12±4,40*	1,00**
Глюкоза, ммоль/л Glucose, mmol/L	4,53±0,56	4,29±0,53	3,93±0,49	3,86±0,48	1,00**

Контроль / Control					
Общий белок, г/л Total protein, g/L	60,27±0,59	63,29±0,96	62,50±0,74	63,90±0,95	0,78
Альбумины, г/л Albumins, g/L	26,77±0,96	28,85±1,05	28,43±0,11	29,34±1,02	0,73
α-глобулины, г/л α-globulins, g/L	9,91±0,67	11,25±0,40	11,15±0,68	12,21±0,69	0,64
β-глобулины, г/л β-globulins, g/L	11,10±0,50	10,71±0,30	10,42±0,55	9,85±0,48	0,91**
γ-глобулины, г/л γ-globulins, g/L	12,48±0,91	12,48±0,62	12,56±0,75	12,49±0,33	0,02
АЛТ, Ед/л / ALT, U/L	10,37±0,64	11,78±0,73	11,61±0,72	11,93±0,74	1,00**
АСТ, Ед/л / AST, U/L	13,53±1,33	14,90±1,47	15,29±1,50	15,40±1,47	1,00**
ЩФ, Ед/л / ALP, U/L	189,47±6,12	194,20±6,23	195,17±6,31	197,77±9,16	0,73
Билирубин, мкмоль/л Bilirubin total, μmol/L	2,55±0,08	3,36±0,11	3,47±0,12	3,42±0,11	1,00**
Мочевина, ммоль/л Urea, mmol/L	4,31±0,08	4,53±0,08	4,95±0,09	5,60±0,11	1,00**
Холестерин, ммоль/л Cholesterol, mmol/L	2,37±0,15	2,36±0,15	2,29±0,15	2,30±0,15	0,98**
Креатинин, мкмоль/л Creatinine, μmol/L	41,20±1,59	42,93±1,76	44,17±1,71	43,65±1,70	1,00**
Амилаза, Ед/л Amylase, U/L	62,00±2,19	66,55±2,16	66,94±2,37	67,58±2,39	0,98**
Глюкоза, ммоль/л Glucose, mmol/L	4,22±0,44	4,18±0,43	4,55±0,47	4,98±0,52	1,00**

Примечание: W – коэффициент конкордации Кендалла; * – отличия от контрольной группы на уровне $p < 0,05$

(тест Манна-Уитни); ** – $p < 0,05$ (ранговый дисперсионный анализ Фридмана)

Note: W – is the Kendall concordance coefficient; * – differences from the control group at the level of $p < 0.05$

(Mann-Whitney test); ** – $p < 0.05$ (Friedman rank analysis of variance)

Нарушение метаболических путей характерно для воздействия на организм Т-2 токсина [28]. На фоне токсикоза происходило заметное снижение уровня общего белка, глюкозы, повышение лактатдегидрогеназы [27; 33; 34]. Способность токсина к ингибированию синтеза белков и ДНК связывают с наличием в его структуре тиоловой группы [14], связыванием и инактивированием активности пептидилтрансферазы [8].

О тяжести и выраженности патологических процессов, протекающих в организме, также можно судить по интенсивности реакции перекисного окисления липидов, ее активацию рассматривают как один из возможных начальных патогенетических механизмов повреждения клеток жизненно важных органов, в том числе под воздействием микотоксинов [9; 35]. Содержание продуктов перекисного окисления липидов, которое проводили по индикации малонового диальдегида (МДА), в крови у свиней, потреблявших контаминированный Т-2 токсином корм, имели достоверные отличия от значений контрольных животных (рис. 3). Концентрация МДА в гемолизате эритроцитов в исследуемые сроки превысила контроль на 55,07; 70,59 и 64,18%, а в плазме крови – на 31,65; 68,67 и 40,08%. Проявление антиоксидантной реакции и образование свободных радикалов установлено также по повышенному содержанию дисульфида глутатиона и 3-гидроксипутирата при интоксикации Т-2 токсином [28]. Повышение концентрации продуктов перекисного окисления под воздействием Т-2 токсина

у различных видов животных отмечали и в таких органах как почки, печень, селезенка, тимус, костный мозг [25; 36-39]. При этом окислительный стресс представляет собой результат снижения продукции антиоксидантов в клетках и образования большого количества активных форм кислорода, оказывающих негативное воздействие за счет окисления жизненно важных макромолекул, таких как липиды, нуклеиновые кислоты, белки [40; 41]. Этим объясняются обнаруживаемые серьезные гистологические изменения в тканях организма при Т-2 токсикозе [25]. Кроме того, на фоне воздействия Т-2 токсина установлена прямая связь между окислительным стрессом и генными маркерами стресса (HSP), генами индукторов апоптоза (каспаза-3) и цитокинами, что указывает на роль в патогенезе Т-2 токсикоза наряду с окислительным также и апоптотического и воспалительного механизмов [25; 42].

При потреблении животными корма, содержащего Т-2 токсин, имели место и изменения, затрагивающие иммунную систему, отдельные звенья клеточного и гуморального иммунитета, приводя к снижению адаптивности и развитию иммуно-депрессивного состояния [9]. Отмечали понижение фагоцитарной активности нейтрофилов (ФА) на 15; 30; 45 сутки исследования в сравнении с контролем, соответственно, на 8,93; 19,10; 26,26%, фагоцитарного индекса (ФИ) – на 11,36; 20,19; 29,81%, фагоцитарной емкости (ФЕ) – на 35,82; 60,96; 67,94% (рис. 4). Значения показателей функциональных

характеристик коррелировали с результатами подсчета лейкограммы (рис. 2). Активность лизоцима сыворотки крови была ниже контрольных значений

на 9,84; 10,37; 15,78%. Содержание Т-лимфоцитов на 30 и 45 сутки было меньше на 13,33 и 12,83%, В-лимфоцитов – на 13,95 и 11,25% (табл. 4).

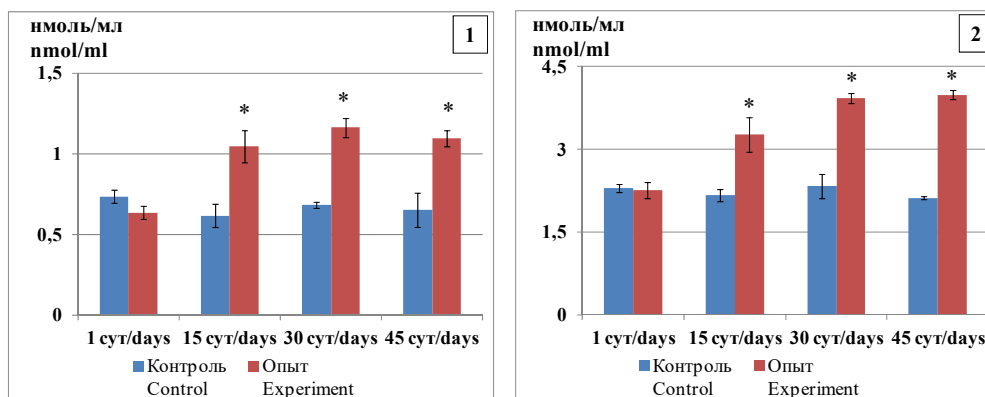


Рисунок 3. Концентрация малонового диальдегида в крови свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг и потреблявших доброкачественный корм: 1 – в эритроцитах, 2 – в плазме крови (n=3); * – отличие от контрольной группы на уровне $p = 0.05$ (тест Манна–Уитни)

Figure 3. The concentration of malondialdehyde in the blood of pigs who consumed T-2 toxin at a dose of 200 mcg/kg and consumed benign feed: 1 – in erythrocytes, 2 – in blood plasma (n=3);

* – difference from the control group at the level of $p = 0.05$ (Mann–Whitney test)

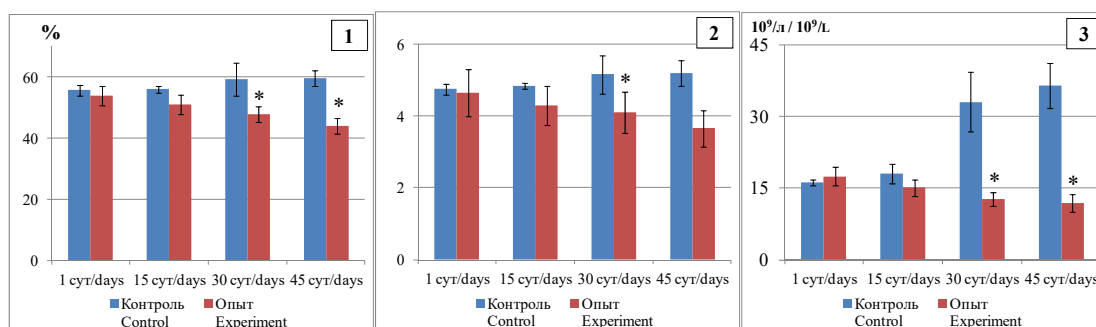


Рисунок 4. Фагоцитарная активность нейтрофилов в крови свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг и потреблявших доброкачественный корм: 1 – ФА, %; 2 – ФИ; 3 – ФЕ, $\times 10^9/\text{л}$ (n=3); * – отличие от контрольной группы на уровне $p = 0.05$ (тест Манна–Уитни)

Figure 4. Phagocytic activity of neutrophils in the blood of pigs who consumed T-2 toxin at a dose of 200 mcg/kg and consumed benign feed: 1 – Phagocytic Activity (PA), %; 2 – Phagocytic Index (PI); 3 – Phagocytic Capacity (PC), $\times 10^9/\text{L}$ (n=3); * – difference from the control group at the level of $p = 0.05$ (Mann–Whitney test)

Полученные данные свидетельствуют о комбинированном нарушении функции Т- и В- систем иммунитета под воздействием Т-2 токсина. Патогенез поражения иммунной системы может быть связан с нарушением созревания и дифференцировки клеток-предшественников, регуляции функции иммунокомпетентных клеток [9].

Лейкопения, истощение клеток лимфоидных органов, снижение уровня лимфоцитов, их пролиферации, выработки антител, иммуноглобулинов, цитокинов и функции врожденного иммунитета отмечали и в других работах [11; 28; 43]. При Т-2 токсикозе частым является снижение активности большинства лизосомальных ферментов. Длительное воздействие низких доз Т-2 токсина может влиять на Т-клетки памяти и оказывать неблагоприятное воздействие на гуморальный ответ, опосредованный В-лимфоцитами, и вторичный иммунный ответ у свиней [13; 14]. Воздействие Т-2

токсина на иммунные клетки, такие как моноциты, макрофаги и лимфоциты, связывали с экспрессией противовоспалительных генов, хемокинов и цитокинов [25; 44]. При этом генерация воспалительных цитокинов имеет прямую связь с инфильтрацией лимфоцитов и макрофагов в стенку кишечника и отмеченной в опыте воспалительной реакцией [25; 45]. Такие сосудистые реакции могли служить причиной анорексии, снижения привесов, иммуносупрессии и повреждения тканей [25]. Иммунотоксичность Т-2 токсина определяется способностью воздействовать на систему иммунитета путем инициации перекисного окисления липидов мембран клеток, в частности, вследствие инактивации антиоксидантных ферментов и витаминов [9]. При этом было отмечено, что широкий иммуносупрессивный эффект микотоксинов может снизить сопротивляемость организма к инфекционным заболеваниям и эффективность вакцинаций [14; 46].

Таблица 4. Активность нейтрофилов и содержание Т- и В-лимфоцитов в крови свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг, n=3, и потреблявших доброкачественный корм (n=3)**Table 4.** Neutrophil activity and the content of T- and B-lymphocytes in the blood of pigs which consumed T-2 toxin at a dose of 200 mkg/kg, n=3, and which consumed benign feed (n=3)

Показатель Index	Период исследования / Study period				W
	1 сут / 1 day	15 сут / 15 days	30 сут / 30 days	45 сут / 45 days	
Опыт / Experience					
ФА, % / Phagocytic activity, %	54,00±3,24	51,00±3,24	48,00±2,55*	44,00±2,55*	1**
ФЧ / Phagocytic number	8,55±0,71	8,37±0,56	8,51±0,77	8,30±0,75	0,64
ЛАСК, %					
Lysozyme Activity of Blood Serum, %	26,57±0,43	24,37±0,43*	24,03±0,76*	22,87±1,97*	0,64
Т-лимфоциты, %					
T-lymphocytes, %	53,00±1,41	51,67±1,08	47,67±1,08*	45,33±1,08*	1**
В-лимфоциты, %					
B-lymphocytes, %	27,67±1,08	26,33±1,47	24,67±1,08*	22,67±1,08*	1**
Контроль / Control					
ФА, % / Phagocytic activity, %	55,67±1,78	56,00±1,22	59,33±5,35	59,67±2,68	0,53
ФЧ / Phagocytic number	8,48±0,09	8,65±0,28	8,67±0,11	8,70±0,22	0,11
ЛАСК, %					
Lysozyme Activity of Blood Serum, %	26,27±0,43	27,03±0,22	26,80±0,60	27,13±0,68	0,78
Т-лимфоциты, %					
T-lymphocytes, %	53,67±2,86	51,67±2,27	55,00±2,83	52,00±1,87	0,50
В-лимфоциты, %					
B-lymphocytes, %	27,67±1,47	26,00±1,87	28,67±0,41	26,67±0,41	0,48

Примечание: W – коэффициент конкордации Кендалла; * – отличия от контрольной группы на уровне $p < 0,05$ (тест Манна-Уитни); ** – $p < 0,05$ (ранговый дисперсионный анализ Фридмана)

Note: W – is the Kendall concordance coefficient; * – differences from the control group at the level of $p < 0.05$ (Mann-Whitney test); ** – $p < 0.05$ (Friedman rank analysis of variance)

Патологоанатомические исследования

Патологоанатомическая картина вскрытия подвергнутых эвтаназии свиней (рис. 5) при интоксикации Т-2 токсином отражает инъекцию сосудов брыжейки и кишечника, серозное геморрагическое воспаление слизистой оболочки

кишечника, дистрофию печени, почек с размытостью границы между корковым и мозговым веществом, отеком головного мозга, кровенаполненность сосудов. Легкие, сердце, селезенка не имели видимых патологических изменений.



Рисунок 5. Патологоанатомическая картина вскрытия свиней: потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг в течение 45 суток (1); и потреблявших доброкачественный корм (2)

Figure 5. Pathoanatomical picture of the autopsy of pigs: those which consumed T-2 toxin at a dose of 200 mkg/kg for 45 days (1); and those which consumed good-quality feed (2)

Перечисленные патологические изменения при пероральном поступлении токсина Т-2 отмечают и другие исследователи, в некоторых работах сообщается о дозозависимом провоцировании токсином возникновения некроза и изъязвлений пищеварительного тракта, дистрофии сердца, почек, головного мозга, периферических ганглиев

вегетативной нервной системы, геморрагического диатеза, повреждении кровеносных сосудов [13; 28]. Возможной причиной провоцирования токсином геморрагического синдрома может служить нарушение проницаемости мембран тромбоцитов и подавление реакции их агрегации.

Результаты гистологического исследования

Реакция тканей организма свиней на Т-2 токсин, содержащийся в корме в количестве 200 мкг/кг, характеризуется наличием дистрофических и сосудистых изменений. Отмечаются дистрофические

изменения гепатоцитов (рис. 6.1), дистрофия эпителия извитых канальцев почек с очаговыми некробиозами и десквамацией (рис. 6.2), внутриклеточный и периваскулярный отёк в сердце (рис. 6.3).

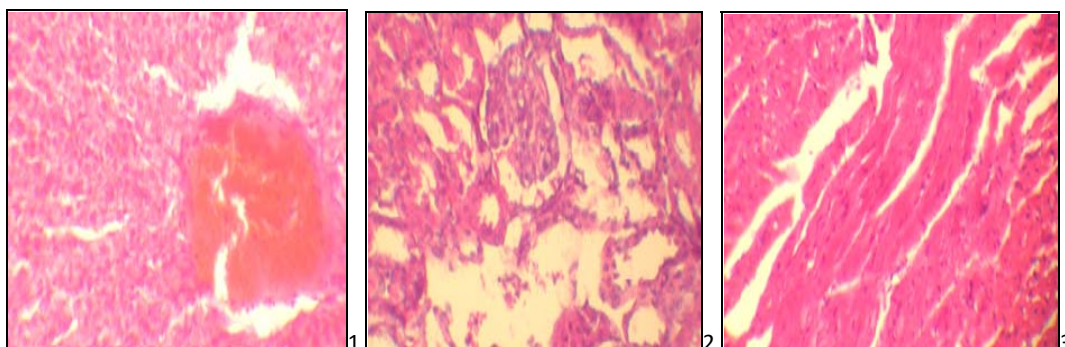


Рисунок 6. Гистологические препараты органов свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг в течение 45 суток: 1 – печени, 2 – почки, 3 – миокарда; окраска гематоксилином Эрлиха, эозином водным, объектив 20х

Figure 6. Histological preparations of pig organs which consumed T-2 toxin with feed at a dose of 200 mkg/kg for 45 days: 1 – liver, 2 – kidney, 3 – myocardium; staining with hematoxylin Ehrlich, eosin aqueous, lens 20х

При пероральном поступлении Т-2 токсина в разных дозах у различных видов животных в желудочно-кишечном тракте разные авторы отмечали гиперплазию эпителия, инфильтрацию лимфоцитов и сосудистые нарушения, прогрессирующие до тяжелого некроза [25; 47]. У свиней регистрировали также кровоизлияния, реакцию лимфатических узлов, увеличение количества эндотелиальных лимфоцитов и плазматических клеток эпителия, снижение количества бокаловидных клеток и недоразвитость гликокаликса [47; 48]. При этом патогенез поражения кишечника у животных был сходен, некротическим изменениям под воздействием Т-2 токсина подвергались в большей степени эпителий крипт и пейеровы бляшки, поскольку эта область состоит из активно делящихся клеток [25; 28]. Значительные изменения обнаруживали и в лимфоидных органах [25; 49]. Дегенеративные изменения эпителия извитых канальцев почек, отмеченные в опыте, были обнаружены и другими исследователями [25]. Помимо наблюдаемых нами в печени дегенеративных процессов токсин вызывал некроз гепатоцитов, гиперплазию, утолщение и пролиферацию перипротоковой ткани, фиброз желчных протоков [25; 50]. Также для Т-2 токсикоза были свойственны сосудистые реакции в головном мозге, дегенерация нейронов и кортикальных клеток, сателлитоз. Патологические изменения органов могли быть связаны с последствиями оксидантного стресса, метаболических изменений, трансформации и выведения токсина [25; 51].

Результаты электронно-микроскопического исследования

На ультратонких срезах в гепатоцитах опытной группы свиней (рис. 7.1) изменения зарегистрированы в ядерном аппарате – перераспределение хроматина, уменьшение содержания гликогена и цистерн гРЭПР.

Митохондрии имеют небольшое количество крист и плотный хлопьевидный матрикс, что характеризует нарушение энергетического баланса клеток.

В почках свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин, ультраструктурные изменения в большей степени обнаружены в клетках проксимальных канальцев и подоцитах коркового слоя. Митохондрии ряда клеток проксимальных канальцев располагаются между складками базальной клеточной мембраны и имеют набухшие кристы и плотный матрикс (рис. 7.2). На концевых межклеточных участках складок находятся прозрачные полости, в плотной цитоплазме – мелкие вакуоли. Ядра характеризуются извилистым контуром, увеличенным перинуклеарным пространством, но конденсация хроматина остается в пределах нормы. В других эпителиоцитах отмечаются признаки необратимой патологии: набухшие митохондрии без крист и с хлопьевидным или прозрачным матриксом, встречаются пероксисомы, цитоплазма сильно вакуолизирована. Ядра таких клеток имеют фрагментированный хроматин. Некоторые клетки теряют межклеточные контакты, что приводит к десквамации.

Для подоцитов коркового слоя почек (рис. 7.3) характерно изменение формы малых цитоподий и их слияние, что приводит к нарушению структуры фильтрационного барьера гламерулы, ядра клеток округлой формы, в перинуклеарном пространстве патологий не обнаружено.

В опытах на козах при воздействии Т-2 токсина в клетках печени, почек и кишечника отмечали патологии митохондрий, нечеткость ядерной мембраны с потерей крист и внутреннего матрикса, гиперплазию и дилатацию эндоплазматического ретикулума, конденсацию гетерохроматина, в головном мозге – дегенерацию нейронов [25]. Механизм действия трихотеценов включает взаимодействие токсина с субклеточными

структурами, что приводит к нарушению морфологии митохондрий, эндоплазматического ретикулума и других мембран [13; 25].

Отмеченные ультраструктурные изменения позволяют говорить о способности Т-2 токсина вызывать цитотоксические эффекты [25; 52; 53].

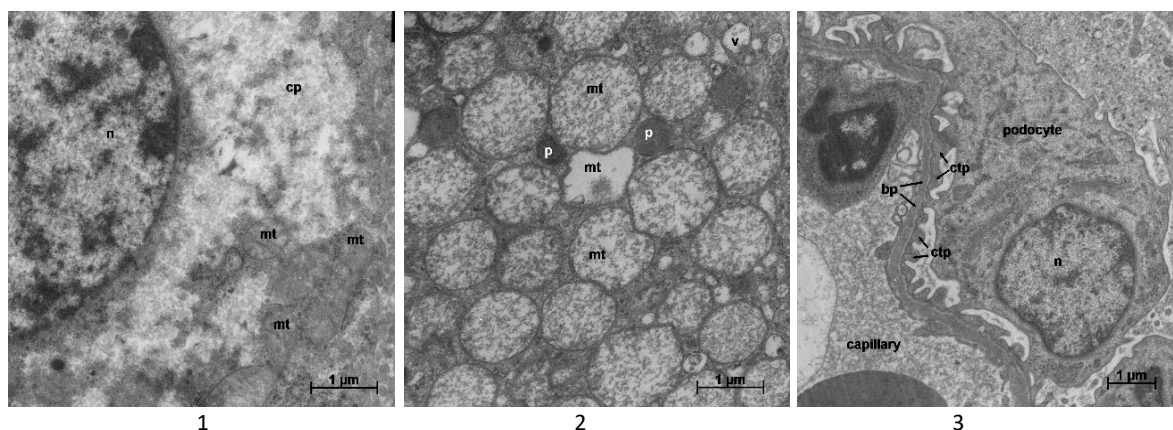


Рисунок 7. Ультраструктура клеток органов свиней, потреблявших с кормом Т-2 токсин в дозе 200 мкг/кг в течение 45 суток: 1 – участок гепатоцита; 2 – фрагмент проксимального канальца почки; 3 – подоцит почечного клубочка.

Условные обозначения: *n* – ядро, *cp* – цитоплазма, *mt* – митохондрия, *cpt* – цитоподии подоцита, *bp* – базальная пластинка, *v* – вакуоль, *p* – пероксисома

Figure 7. Ultrastructure of organ cells of pigs which consumed T-2 toxin at a dose of 200 mg/kg with feed for 45 days: 1 – a section of the hepatocyte; 2 – a fragment of the proximal tubule of the kidney; 3 – a podocyte of the renal glomerulus.

Symbols: *n* – nucleus, *cp* – cytoplasm, *mt* – mitochondria, *cpt* – cytopodia of the podocyte, *bp* – basal plate, *v* – vacuole, *p* – peroxisome

Анализ патоморфологических изменений органов поросят, выявивший наличие дегенеративно-дистрофических процессов на макро- и микроскопическом уровнях, подтвердил выводы о полнотропности яда. Под воздействием Т-2 токсина происходят гемодинамические нарушения (набухание стенок сосудов в сердце, развитие периваскулярных отеков) и дистрофические изменения гепатоцитов, эпителия извитых канальцев почек с очаговыми некробиозами и десквамацией. Нарушаются структуры митохондрий, происходит деструкция мембран гранулярного эндоплазматического ретикулума, уменьшение числа рибосом, изменение формы и слияние цитоподий подоцитов почек [9].

ВЫВОДЫ

Потребление свиньями корма, экспериментально загрязненного Т-2 токсином в дозе 200 мкг/кг, сопровождалось нарушениями у животных обменных процессов, функций органов и систем, проявляющихся снижением интенсивности роста, изменениями картины крови, активности ферментных систем, индуцированием окислительного стресса, иммуносупрессивными и воспалительными реакциями, патоморфологическими нарушениями. Таким образом, пероральное поступление Т-2 токсина даже в малых концентрациях оказывает негативное воздействие на организм, проявляющееся комплексно.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Часть работы выполнена в рамках реализации гранта МК-1582.2020.11 (соглашение № 075-15-2020-225 от 27.04.2020), с привлечением оборудования,

приобретенного при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации.

2. Авторы выражают благодарность за помощь в выполнении отдельных этапов работы к.б.н. Вафину И.Ф., к.б.н. Осянину К.А., к.м.н. Губеевой Е.Г., научному коллективу под руководством д.в.н. Семенова Э.И.

ACKNOWLEDGMENT

1. Part of the work was carried out as part of the implementation of grant МК-1582.2020.11 (Agreement No. 075-15-2020-225 dated 04/27/20), with the involvement of equipment purchased with the support of the Presidential Grants Council of the Russian Federation for state support of young Russian scientists and state support of leading scientific schools of the Russian Federation.

2. The authors express their gratitude for the help in carrying out certain stages of the work to Dr I.F. Vafin, Dr K.A. Osyenin and Dr E.G. Gubeeva, the scientific team under the leadership of Dr E.I. Semenov.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bryden W.L. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: implications for animal productivity and feed security // *Animal Feed Sci Technol.* 2012. V. 173. P. 134-158. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.014
2. Idiyatov I.I., Tremasova A.M., Tremasov Y.M., Valiullin L.R., Kalinitchenko V.P., Rud V.Y., Semenov A.M. Screening of endophytic bacteria exhibiting antagonistic activity against *Fusarium sporotrichioides* micromycete // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science.* 2021. V. 663(1).

Article number: 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012047.

3. Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global mycotoxin occurrence in feed: a ten-year survey // *Toxins*. 2019. V. 11(7). 375 p. DOI: 10.3390/toxins11070375
4. Kalantari H., Moosavi M. Review on T-2 toxin // *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*. 2010. V. 5(1). P. 26-38.
https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Jundishapur+J+Nat+Pharm+Prod.&title=Review+on+T-2+Toxin.&author=H+Kalantari&author=M+Moosavi&volume=5&issue=1&publication_year=2010&pages=26-38& (дата обращения: 17.10.2021)
5. Khabirova S.R., Idiyatov I.I., Shuralev E.A., Tremasova A.M. Metabolite-associated enzymatic properties of microorganisms with an antagonistic effect on *Aspergillus* and *Fusarium* fungi, pathogenic for crops and farm animals // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2021. V. 723. Article number: 022022. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022022
6. Alassane-Kpembi I., Puel O., Oswald I.P. Toxicological interactions between the mycotoxins deoxynivalenol, nivalenol and their acetylated derivatives in intestinal epithelial cells // *Archives of Toxicology*. 2015. V. 89(8). P. 1337-1346. DOI: 10.1007/s00204-014-1309-4
7. Bryden W.L. Mycotoxins and mycotoxicoses: significance, occurrence and mitigation in the food chain. In: Ballantyne B., Marrs T., Syversen T. // *General and Applied Toxicology*. 2009. 3rd ed. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd. P. 3529-3553.
8. Afsah-Hejri L., Jinap S., Hajeb P., Radu S., Shakibazadeh S.H. A review on mycotoxins in food and feed: Malaysia case study // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013. V. 12(6). P. 629-651. DOI: 10.1111/1541-4337.12029
9. Идиятов И.И. Сочетанное воздействие малых доз диоксина и т-2 токсина на организм поросят и пути коррекции: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: специальность: 06.02.03, 06.02.02. Казань, 2013. 172 с.
10. Kanora A., Maes D. The role of mycotoxins in pig reproduction: A review // *Veterinari Medicina*. 2009. V. 54(12). P. 565-576. DOI: 10.17221/156/2009-VETMED
11. Obremski K., Podlasz P., Żmigrodzka M., Winnicka A., Woźny M., Brzuzan P., Jakimiuk E., Wojtacha P., Gajęcka M., Zielonka Ł., Gajęcki M. The effect of T-2 toxin on percentages of CD4⁺, CD8⁺, CD4⁺CD8⁺ and CD21⁺ lymphocytes, and mRNA expression levels of selected cytokines in porcine ileal Peyer's patches // *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2013. V. 16(2). P. 341-349. DOI: 10.2478/pjvs-2013-0046
12. Omar H.M. Mycotoxins-induced oxidative stress and disease // *Mycotoxin and Food Safety in Developing Countries*. 2013. Chapter 3. P. 63-92. INTECH Europe Publishers, Croatia. DOI: 10.5772/51806
13. Adhikari M., Negi B., Kaushik N., Adhikari A., Al-Khedhairy A.A., Kaushik N.K., Choi E.H. T-2 mycotoxin: toxicological effects and decontamination strategies // *Oncotarget*. 2017. V. 8 (20). P. 33933-33952. DOI: 10.18632/oncotarget.15422
14. Pierron A., Alassane-Kpembi I., Oswald I.P. Impact of mycotoxin on immune response and consequences for pig health // *Animal Nutrition*. 2016. V. 2 (2). P. 63-68. DOI: 10.1016/j.aninu.2016.03.001
15. Oswald I.P., Marin D.E., Bouhet S., Pinton P., Taranu I., Accensi F. Immunotoxicological risk of mycotoxins for domestic animals // *Food Additives and Contaminants*. 2005. V. 22(4). P. 354-360. DOI: 10.1080/02652030500058320
16. Alassane-Kpembi I., Schatzmayr G., Taranu I., Marin D., Puel O., Oswald I.P. Mycotoxins co-contamination: methodological aspects and biological relevance of combined toxicity studies // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. V. 57(16). P. 3489-3507. DOI: 10.1080/10408398.2016.1140632
17. European Commission. Commission Recommendation No 2013/165/EU of 27 March 2013 on the presence of T-2 and HT-2 toxin in cereals and cereal products // *Official Journal of the European Union*. 2013. OJ L 91. P. 12-15. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:294:0044:0044:EN:PDF> (дата обращения: 17.10.2021)
18. Chauhan R.S., Agarwal D.K. Textbook of Veterinary Clinical and Laboratory Diagnosis, 2nd Edition. 2008. 364 p. https://www.academia.edu/32745221/Textbook_of_Veterinary_Clinical_and_Laboratory_Diagnosis_2nd_Edition_Vetbooks_ir. (дата обращения: 17.10.2021)
19. Саитов В.Р. Токсикологический и ультраструктурный анализ изменений в организме и клетках животных при хроническом воздействии ксенобиотиков и применении лечебно-профилактических средств: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук: специальность: 16.00.02. Казань, 2014. 350 с.
20. JCGM 100:2008 Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. https://www.bipm.org/fr/search?p_p_id=search_portlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_resource_id=%2Fdownload%2Fpublication&p_p_cacheability=cacheLevelPage&_search_portlet_dlfid=41373434&p_p_lifecycle=1&_search_portlet_javax.portlet.action=search&_search_portlet_formDate=1618209355352&_search_portlet_query=JCGM+100%3A2008%2CEvaluation+of+measurement+data+%E2%80%94+Guide+to+the+expression+of+uncertainty+in+measurement&_search_portlet_source=BIPM (дата обращения: 17.10.2021)
21. Wu J., Ordinario T., Qin F. Multiclass-multianalyte method for mycotoxin testing in foods using immunoaffinitycolumn sampleclean-upwith QSight LC/MS/MS. 2020. <https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/app-145410-mycotoxins-in-food-by-iac-lcmsms.pdf> (дата обращения: 17.10.2021)
22. Sagawa N., Takino T., Kuroguchi S. A simple method with liquid chromatography / tandem mass spectrometry for the determination of the six trichothecene mycotoxins in rice medium // *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 2006. V. 70(1). P. 230-236. DOI: 10.1271/bbb.70.230
23. Baere S.D., Goossens J., Osselaere A., Devreese M., Vandenbroucke V., Backer P.D., Croubels S. Quantitative determination of T-2 toxin, HT-2 toxin, deoxynivalenol and deepoxy-deoxynivalenol in animal body fluids using LC-MS/MS detection // *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. 2011. V. 879. P. 2403-2415. DOI: 10.1016/j.jchromb.2011.06.036
24. Yiannikouris A., Jouany J.P. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review // *Animal Research*. 2002. V. 51(2). P. 81-99. DOI: 10.1051/animres:2002012
25. Nayakwadi S., Ramu R., Sharma A.K., Gupta V.K., Rajukumar K., Kumar V., Shirahatti P.S., Rashmi L., Basalingappa K.M. Toxicopathological studies on the effects of T-2 mycotoxin and their interaction in juvenile goats // *PLoS One*. 2020. V. 15(3). e0229463. DOI: 10.1371/journal.pone.0229463
26. Ferreras M.C., Benavides J., García-Pariente C., Delgado L., Fuertes M., Muñoz M., García-Marín J.F., Pérez V. Acute and chronic disease associated with naturally occurring T-2

- mycotoxicosis in sheep // *Journal of Comparative Pathology*. 2013. V. 148. P. 236-242. DOI: 10.1016/j.jcpa.2012.05.016
27. Tarasova E.Yu., Matrosova L.E., Tanaseva S.A., Mishina N.N., Potekhina R.M., Ermolaeva O.K., Smolentsev S.Yu., Tremasova A.M., Kadikov I.R., Egorov V.I., Aslanov R.M., Semenov E.I. Protective effect of adsorbent complex on morphofunctional state of liver during chicken polymycotoxicosis // *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2020. V. 11(11). P. 264-268. DOI: 10.31838/srp.2020.11.38
28. Adhikari M., Negi B., Kaushik N., Adhikari A., Al-Khedhairi A.A., Kaushik N.K., Choi E.H. T-2 mycotoxin: toxicological effects and decontamination strategies // *Oncotarget*. 2017. V. 8(20). P. 33933-33952. DOI: 10.18632/oncotarget.15422
29. Devreese M., Backer P.D., Croubels S. Different methods to counteract mycotoxin production and its impact on animal health // *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*. 2013. V. 82. PP. 181-190.
30. Gentry P.A., Ross M.L., Chan P.K. Effect of T-2 toxin on bovine haematological and serum enzyme parameters // *Veterinary and Human Toxicology*. 1984. V. 26(1). P. 24-28. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6702098/> (дата обращения: 17.10.2021)
31. Gentry P.A., Cooper M.L. Effect of Fusarium T-2 toxin on haematological and biochemical parameters in the rabbit // *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 1981. V. 45(4). P. 400-405.
32. Hartl F.U. Molecular chaperones in cellular protein folding // *Nature*. 1996. V. 381(6583). P. 571-579. DOI: 10.1038/381571a0
33. Wan Q., Wu G., He Q., Tang H., Wang Y. The toxicity of acute exposure to T-2 toxin evaluated by the metabolomics technique // *Molecular BioSystems*. 2015. V. 11(3). P. 882-891. DOI: 10.1039/C4MB00622D
34. Pande V.V., Kurkure N.V., Bhandarkar A.G. Effect of T-2 toxin on growth, performance and haematobiochemical alterations in broilers // *Indian Journal of Experimental Biology*. 2006. V. 44(1). P. 86-88. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16430098/> (дата обращения: 17.10.2021)
35. Zhang Y., Han J., Zhu C.C., Tang F., Cui X.S., Kim N.H., Sun S.C. Exposure to HT-2 toxin causes oxidative stress induced apoptosis/autophagy in porcine oocytes // *Scientific Reports*. 2016. V. 6. Article number: 33904. DOI: 10.1038/srep33904
36. Sehata S., Kiyosawa N., Atsumi F., Ito K., Yamoto T., Teranishi M., Uetsuka K., Nakayama H., Doi K. Microarray analysis of T-2 toxin-induced liver, placenta and fetal liver lesions in pregnant rats // *Experimental and Toxicologic Pathology*. 2005. V. 57(1). P. 15-28. DOI: 10.1016/j.etp.2005.02.005
37. Prabhu P.C., Dwivedi P., Sharma A.K. Toxicopathological studies on the effects of aflatoxin B(1), ochratoxin A and their interaction in New Zealand White rabbits // *Experimental and Toxicologic Pathology*. 2013. V. 65(3). P. 277-286. DOI: 10.1016/j.etp.2011.09.003
38. Zhuang Z., Yang D., Huang Y., Wang S. Study on the Apoptosis Mechanism Induced by T-2 Toxin // *PLoS ONE*. 2013. V. 8(12). e83105. DOI: 10.1371/journal.pone.0083105
39. Doi K., Uetsuka K. Mechanisms of mycotoxin-induced neurotoxicity through oxidative stress-associated pathways // *International Journal of Molecular Sciences*. 2011. V. 12(8). P. 5213-5237. DOI: 10.3390/ijms12085213
40. Chaudhari M., Jayaraj R., Bhaskar A.S., Lakshmana Rao P.V. Oxidative stress induction by T-2 toxin causes DNA damage and triggers apoptosis via caspase pathway in human cervical cancer cells // *Toxicology*. 2009. V. 262(2). P. 153-161. DOI: 10.1016/j.tox.2009.06.002
41. Chaudhari M., Jayaraj R., Santhosh S.R., Rao, P.V. Oxidative damage and gene expression profile of antioxidant enzymes after T-2 toxin exposure in mice // *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. 2009. V. 23(3). P. 212-221. DOI: 10.1002/jbt.20282
42. Quiroga M.A., Risso M.A., Perfumo C.J. T-2 mycotoxin intoxication in piglets: a systematic pathological approach and apoptotic immunohistochemical studies // *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*. 2009. V. 2. P. 16-22. https://bjvp.org.br/wp-content/uploads/2015/07/V.2-N.1-06-20881_2009_12_30_23_50.pdf. (дата обращения: 17.10.2021)
43. Guilford F.T., Hope J. Deficient Glutathione in the Pathophysiology of Mycotoxin-Related Illness // *Toxins*. 2014. V. 6(2). P. 608-623. DOI: 10.3390/toxins6020608
44. Chen J., Chu Y., Cao J., Yang Z., Guo X., Wang Z. T-2 toxin induces apoptosis, and selenium partly blocks, T-2 toxin induced apoptosis in chondrocytes through modulation of the Bax/Bcl-2 ratio // *Food Chemical Toxicology*. 2006. V. 44(4). P. 567-573. DOI: 10.1016/j.fct.2005.09.004
45. Wang G.Y., Zhang J.W., Lu Q.H., Xu R.Z., Dong, Q.H. Berbamine induces apoptosis in human hepatoma cell line SMMC7721 by loss in mitochondrial transmembrane potential and caspase activation // *Journal of Zhejiang University Science*. 2007. V. 8(4). P. 248-255. DOI: 10.1631/jzus.2007.B0248
46. Antonissen G., Martel A., Pasmans F., Ducatelle R., Verbrugghe E., Vandenbroucke V., Li S., Haesebrouck F., Immerseel, F., Croubels S. The impact of Fusarium mycotoxins on human and animal host susceptibility to infectious diseases // *Toxins*. 2014. V. 6(2). P. 430-452. DOI: 10.3390/toxins6020430
47. Jaradat Z.W. T-2 mycotoxin in the diet and its effects on tissues // In: *Reviews in Food and Nutrition Toxicity*, Watson R.R., Preedy V.R. (Eds). Boca Raton, CRC Press. 2005. V. 4. P. 173-212. DOI: 10.1201/9781420037524.ch7
48. Obremski K., Zielonka L., Gajicka M., Jakimiuk E., Bakula T., Baranowski M., Gajeci M. Histological estimation of the small intestine wall after administration of feed containing deoxynivalenol, T-2 toxin and zearalenone in the pig // *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2008. V. 11(4). P. 339-345. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19227132/> (дата обращения: 17.10.2021)
49. Quiroga M.A., Miguel A.R., Carlos J.P. T-2 mycotoxin intoxication in piglets: a systematic pathological approach and apoptotic immune-histochemical studies // *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*. 2009. V. 2(1). P. 16-22. http://bjvp.org.br/wp-content/uploads/2015/07/V.2-N.1-06-20881_2009_12_30_23_50.pdf. (дата обращения: 17.10.2021)
50. Nagata T., Suzuki H., Ishigami N., Shinozuka J., Uetsuka K., Nakayama H., Doi K. Development of apoptosis and changes in lymphocyte subsets in thymus, mesenteric lymph nodes and Peyer's patches of mice orally inoculated with T-2 toxin. // *Experimental and Toxicologic Pathology*. 2001. V. 53(4). P. 309-315. DOI: 10.1078/0940-2993-00196
51. Wu Q., Dohnal V., Huang L., Kuca K., Yuan Z. Metabolic pathways of trichothecenes // *Drug Metabolism Reviews*. 2010. V. 42(2). P. 250-267. DOI: 10.1080/03602530903125807
52. Мухаммадиев Рин.С., Мухаммадиев Риш.С., Бирюля В.В., Идиятов И.И., Набатов А.А., Глинушкин А.П., Валиуллин Л.Р. Оценка цитотоксичности трихотецена *Fusarium* sp. на линию рака молочной железы *in vitro* // *Сибирский онкологический журнал*. 2019. N 18(6). С. 90-95. DOI: 10.21294/1814-4861-2019-18-6-90-95

53. Идиятов И.И., Валиуллин Л.Р., Бирюля В.В., Шангараев Н.Г., Рагинов И.С., Трemasов М.Я., Лекишвили М.В., Никитин А.И. Цитотоксическая активность Т-2 токсина к перевиваемым культурам клеток эпителия легкого эмбриона крупного рогатого скота // *Гены и клетки*. 2017. Т. 12. N 1. С. 41-46. DOI: 10.23868/201703006

REFERENCES

- Bryden W.L. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science Technology*, 2012, vol. 173, pp. 134-158. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.014
- Idiyatov I.I., Tremasova A.M., Tremasov Y.M., Valiullin L.R., Kalinitchenko V.P., Rud V.Y., Semenov A.M. Screening of endophytic bacteria exhibiting antagonistic activity against *Fusarium sporotrichioides* micromycete. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 663(1), article number: 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012047
- Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global mycotoxin occurrence in feed: a ten-year survey. *Toxins*, 2019, vol. 11(7), 375 p. DOI: 10.3390/toxins 11070375
- Kalantari H., Moosavi M. Review on T-2 toxin. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 2010, vol. 5(1), pp. 26-38. https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Jundishapur+J+Nat+Pharm+Prod.&title=Review+on+T-2+Toxin.&author=H+Kalantari&author=M+Moosavi&volume=5&issue=1&publication_year=2010&pages=26-38& (accessed 17.10.2021)
- Khabirova S.R., Idiyatov I.I., Shuralev E.A., Tremasova A.M. Metabolite-associated enzymatic properties of microorganisms with an antagonistic effect on *Aspergillus* and *Fusarium* fungi, pathogenic for crops and farm animals. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 723, article number: 022022. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022022
- Alassane-Kpembi I., Puel O., Oswald I.P. Toxicological interactions between the mycotoxins deoxynivalenol, nivalenol and their acetylated derivatives in intestinal epithelial cells. *Archives of Toxicology*, 2015, vol. 89(8), pp. 1337-1346. DOI: 10.1007/s00204-014-1309-4
- Bryden W.L. Mycotoxins and mycotoxicoses: significance, occurrence and mitigation in the food chain. In: Ballantyne B., Marrs T., Syversen T. General and Applied Toxicology. 2009, 3rd ed, Chichester, UK, John Wiley and Sons Ltd, pp. 3529-3553.
- Afsah-Hejri L., Jinap S., Hajeb P., Radu S., Shakibazadeh S.H. A review on mycotoxins in food and feed: Malaysia case study. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2013, vol. 12(6), pp. 629-651. DOI: 10.1111/1541-4337.12029
- Idiyatov I.I. *Sochetannoe vozdeistvie mal'kikh doz dioksina i t-2 toksina na organizm porosyat i puti korrektsii* [The combined effect of small doses of dioxin and T-2 toxin on the body of piglets and ways of correction]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata biologicheskikh nauk. Kazan', 2013, 172 p. (In Russian)
- Kanora A., Maes D. The role of mycotoxins in pig reproduction: A review. *Veterinari Medicina*, 2009, vol. 54(12), pp. 565-576. DOI: 10.17221/156/2009-VETMED
- Obremski K., Podlasz P., Żmigrodzka M., Winnicka A., Woźny M., Brzuzan P., Jakimiuk E., Wojtacha P., Gajęcka M., Zielonka Ł., Gajęcki M. The effect of T-2 toxin on percentages of CD4⁺, CD8⁺, CD4⁺CD8⁺ and CD21⁺ lymphocytes, and mRNA expression levels of selected cytokines in porcine ileal Peyer's patches. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 2013, vol. 16(2), pp. 341-349. DOI: 10.2478/pjvs-2013-0046
- Omar H.M. Mycotoxins-induced oxidative stress and disease. *Mycotoxin and Food Safety in Developing Countries*. 2013, chapter 3, pp. 63-92. INTECH Europe Publishers, Croatia. DOI: 10.5772/51806
- Adhikari M., Negi B., Kaushik N., Adhikari A., Al-Khedhairi A.A., Kaushik N.K., Choi E.H. T-2 mycotoxin: toxicological effects and decontamination strategies. *Oncotarget*, 2017, vol. 8 (20), pp. 33933-33952. DOI: 10.18632/oncotarget.15422
- Pierron A., Alassane-Kpembi I., Oswald I.P. Impact of mycotoxin on immune response and consequences for pig health. *Animal Nutrition*, 2016, vol. 2 (2), pp. 63-68. DOI: 10.1016/j.aninu.2016.03.001
- Oswald I.P., Marin D.E., Bouhet S., Pinton P., Taranu I., Accensi F. Immunotoxicological risk of mycotoxins for domestic animals. *Food Additives and Contaminants*, 2005, vol. 22(4), pp. 354-360. DOI: 10.1080/02652030500058320
- Alassane-Kpembi I., Schatzmayr G., Taranu I., Marin D., Puel O., Oswald I.P. Mycotoxins co-contamination: methodological aspects and biological relevance of combined toxicity studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, vol. 57(16), pp. 3489-3507. DOI: 10.1080/10408398.2016.1140632
- European Commission. Commission Recommendation No 2013/165/EU of 27 March 2013 on the presence of T-2 and HT-2 toxin in cereals and cereal products. Official Journal of the European Union. 2013. OJ L 91. P. 12-15. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:294:0044:0044:EN:PDF> (accessed 17.10.2021)
- Chauhan R.S., Agarwal D.K. Textbook of Veterinary Clinical and Laboratory Diagnosis, 2nd Edition, 2008, 364 p. https://www.academia.edu/32745221/Textbook_of_Veterinary_Clinical_and_Laboratory_Diagnosis_2nd_Edition_Vetbooks_ir. (accessed 17.10.2021)
- Saitov V.R. *Toksikologicheskii i ul'trastrukturnyi analiz izmenenii v organizme i kletkakh zhivotnykh pri khronicheskom vozdeistvii ksenobiotikov i primenenii lechebno-profilakticheskikh sredstv* [Toxicological and ultrastructural analysis of changes in the body and cells of animals under chronic exposure to xenobiotics and the use of therapeutic and prophylactic agents]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora biologicheskikh nauk. Kazan', 2014, 350 p. (In Russian)
- JCGM 100:2008 Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. https://www.bipm.org/fr/search?p_p_id=search_portlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_resource_id=%2Fdownload%2Fpublication&p_p_cacheability=cacheLevelPage&_search_portlet_dfileid=41373434&p_p_lifecycle=1&_search_portlet_javax.portlet.action=search&_search_portlet_formDate=1618209355352&_search_portlet_query=JCGM+100%3A2008%2CEvaluation+of+measurement+data+%E2%80%94+Guide+to+the+expression+of+uncertainty+in+measurement&_search_portlet_source=BIPM (accessed 17.10.2021)
- Wu J., Ordinario T., Qin F. Multiclass-multianalyte method for mycotoxin testing in foods using immunoaffinitycolumn sampleclean-upwith QSight LC/MS/MS. 2020. <https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/app-145410-mycotoxins-in-food-by-iac-lcmsms.pdf> (accessed 17.10.2021)
- Sagawa N., Takino T., Kuroguchi S. A simple method with liquid chromatography / tandem mass spectrometry for the determination of the six trichothecene mycotoxins in rice

- medium. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 2006, vol. 70(1), pp. 230-236. DOI: 10.1271/bbb.70.230
23. Baere S.D., Goossens J., Osselaere A., Devreese M., Vandenbroucke V., Backer P.D., Croubels S. Quantitative determination of T-2 toxin, HT-2 toxin, deoxynivalenol and deepoxy-deoxynivalenol in animal body fluids using LC-MS/MS detection. *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 2011, vol. 879, pp. 2403-2415. DOI: 10.1016/j.jchromb.2011.06.036
24. Yiannikouris A., Jouany J.P. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. *Animal Research*, 2002, vol. 51(2), pp. 81-99. DOI: 10.1051/animres: 2002012
25. Nayakwadi S., Ramu R., Sharma A.K., Gupta V.K., Rajukumar K., Kumar V., Shirahatti P.S., Rashmi L., Basalingappa K.M. Toxicopathological studies on the effects of T-2 mycotoxin and their interaction in juvenile goats. *PLoS One*, 2020, vol. 15(3), e0229463. DOI: 10.1371/journal.pone.0229463
26. Ferreras M.C., Benavides J., García-Pariente C., Delgado L., Fuertes M., Muñoz M., García-Marín J.F., Pérez V. Acute and chronic disease associated with naturally occurring T-2 mycotoxicosis in sheep. *Journal of Comparative Pathology*, 2013, vol. 148, pp. 236-242. DOI: 10.1016/j.jcpa.2012.05.016
27. Tarasova E.Yu., Matrosova L.E., Tanaseva S.A., Mishina N.N., Potekhina R.M., Ermolaeva O.K., Smolentsev S.Yu., Tremasova A.M., Kadikov I.R., Egorov V.I., Aslanov R.M., Semenov E.I. Protective effect of adsorbent complex on morphofunctional state of liver during chicken polymycotoxicosis. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 2020, vol. 11(11), pp. 264-268. DOI: 10.31838/srp.2020.11.38
28. Adhikari M., Negi B., Kaushik N., Adhikari A., Al-Khedhairy A.A., Kaushik N.K., Choi E.H. T-2 mycotoxin: toxicological effects and decontamination strategies. *Oncotarget*, 2017, vol. 8(20), pp. 33933-33952. DOI: 10.18632/oncotarget.15422
29. Devreese M., Backer P.D., Croubels S. Different methods to counteract mycotoxin production and its impact on animal health. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 2013, vol. 82, pp. 181-190.
30. Gentry P.A., Ross M.L., Chan P.K. Effect of T-2 toxin on bovine haematological and serum enzyme parameters. *Veterinary and Human Toxicology*, 1984, vol. 26(1), pp. 24-28. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6702098/> (accessed 17.10.2021)
31. Gentry P.A., Cooper M.L. Effect of Fusarium T-2 toxin on haematological and biochemical parameters in the rabbit. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 1981, vol. 45(4), pp. 400-405.
32. Hartl F.U. Molecular chaperones in cellular protein folding. *Nature*, 1996, vol. 381(6583), pp. 571-579. DOI: 10.1038/381571a0
33. Wan Q., Wu G., He Q., Tang H., Wang Y. The toxicity of acute exposure to T-2 toxin evaluated by the metabolomics technique. *Molecular BioSystems*, 2015, vol. 11(3), pp. 882-891. DOI: 10.1039/C4MB00622D
34. Pande V.V., Kurkure N.V., Bhandarkar A.G. Effect of T-2 toxin on growth, performance and haematobiochemical alterations in broilers. *Indian Journal of Experimental Biology*, 2006, vol. 44(1), pp. 86-88. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16430098/> (accessed 17.10.2021)
35. Zhang Y., Han J., Zhu C.C., Tang F., Cui X.S., Kim N.H., Sun S.C. Exposure to HT-2 toxin causes oxidative stress induced apoptosis/autophagy in porcine oocytes. *Scientific Reports*, 2016, vol. 6, article number: 33904. DOI: 10.1038/srep33904
36. Sehata S., Kiyosawa N., Atsumi F., Ito K., Yamoto T., Teranishi M., Uetsuka K., Nakayama H., Doi K. Microarray analysis of T-2 toxin-induced liver, placenta and fetal liver lesions in pregnant rats. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 2005, vol. 57(1), pp. 15-28. DOI: 10.1016/j.etp.2005.02.005
37. Prabhu P.C., Dwivedi P., Sharma A.K. Toxicopathological studies on the effects of aflatoxin B(1), ochratoxin A and their interaction in New Zealand White rabbits. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 2013, vol. 65(3), pp. 277-286. DOI: 10.1016/j.etp.2011.09.003
38. Zhuang Z., Yang D., Huang Y., Wang S. Study on the Apoptosis Mechanism Induced by T-2 Toxin. *PLoS ONE*, 2013, vol. 8(12), e83105. DOI: 10.1371/journal.pone.0083105
39. Doi K., Uetsuka K. Mechanisms of mycotoxin-induced neurotoxicity through oxidative stress-associated pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 2011, vol. 12(8), pp. 5213-5237. DOI: 10.3390/ijms12085213
40. Chaudhari M., Jayaraj R., Bhaskar A.S., Lakshmana Rao P.V. Oxidative stress induction by T-2 toxin causes DNA damage and triggers apoptosis via caspase pathway in human cervical cancer cells. *Toxicology*, 2009, vol. 262(2), pp. 153-161. DOI: 10.1016/j.tox.2009.06.002
41. Chaudhari M., Jayaraj R., Santhosh S.R., Rao, P.V. Oxidative damage and gene expression profile of antioxidant enzymes after T-2 toxin exposure in mice. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 2009, vol. 23(3), pp. 212-221. DOI: 10.1002/jbt.20282
42. Quiroga M.A., Risso M.A., Perfumo C.J. T-2 mycotoxin intoxication in piglets: a systematic pathological approach and apoptotic immunohistochemical studies. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*, 2009, vol. 2, pp. 16-22. https://bjvp.org.br/wp-content/uploads/2015/07/V.2-N.1-06-20881_2009_12_30_23_50.pdf. (accessed 17.10.2021)
43. Guilford F.T., Hope J. Deficient Glutathione in the Pathophysiology of Mycotoxin-Related Illness. *Toxins*, 2014, vol. 6(2), pp. 608-623. DOI: 10.3390/toxins6020608
44. Chen J., Chu Y., Cao J., Yang Z., Guo X., Wang Z. T-2 toxin induces apoptosis, and selenium partly blocks, T-2 toxin induced apoptosis in chondrocytes through modulation of the Bax/Bcl-2 ratio. *Food Chemical Toxicology*, 2006, vol. 44(4), pp. 567-573. DOI: 10.1016/j.fct.2005.09.004
45. Wang G.Y., Zhang J.W., Lu Q.H., Xu R.Z., Dong, Q.H. Berbamine induces apoptosis in human hepatoma cell line SMMC7721 by loss in mitochondrial transmembrane potential and caspase activation. *Journal of Zhejiang University Science*, 2007, vol. 8(4), pp. 248-255. DOI: 10.1631/jzus.2007.B0248
46. Antonissen G., Martel A., Pasmans F., Ducatelle R., Verbrugghe E., Vandenbroucke V., Li S., Haesebrouck F., Immerseel, F., Croubels S. The impact of Fusarium mycotoxins on human and animal host susceptibility to infectious diseases. *Toxins*, 2014, vol. 6(2), pp. 430-452. DOI: 10.3390/toxins6020430
47. Jaradat Z.W. T-2 mycotoxin in the diet and its effects on tissues. In: *Reviews in Food and Nutrition Toxicity*, Watson R.R., Preedy V.R. (Eds). Boca Raton, CRC Press. 2005, vol. 4, pp. 173-212. DOI: 10.1201/9781420037524.ch7
48. Obremski K., Zielonka L., Gajecka M., Jakimiuk E., Bakula T., Baranowski M., Gajewski M. Histological estimation of the small intestine wall after administration of feed containing deoxynivalenol, T-2 toxin and zearalenone in the pig. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 2008, vol. 11(4), pp. 339-345. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19227132/> (accessed 17.10.2021)
49. Quiroga M.A., Miguel A.R., Carlos J.P. T-2 mycotoxin intoxication in piglets: a systematic pathological approach and apoptotic immune-histochemical studies. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*, 2009, vol. 2(1), pp. 16-22.

http://bjvp.org.br/wp-content/uploads/2015/07/V.2-N.1-06-20881_2009_12_30_23_50.pdf. (accessed 17.10.2021)

50. Nagata T., Suzuki H., Ishigami N., Shinozuka J., Uetsuka K., Nakayama H., Doi K. Development of apoptosis and changes in lymphocyte subsets in thymus, mesenteric lymph nodes and Peyer's patches of mice orally inoculated with T-2 toxin. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 2001, vol. 53(4), pp. 309-315. DOI: 10.1078/0940-2993-00196

51. Wu Q., Dohnal V., Huang L., Kuca K., Yuan Z. Metabolic pathways of trichothecenes. *Drug Metabolism Reviews*, 2010, vol. 42(2), pp. 250-267. DOI: 10.1080/03602530903125807

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ильгиз И. Идиятов провел работу по конструированию дизайна экспериментов и их постановке, анализу полученных результатов, подготовке материалов к опубликованию, литературный обзор по теме исследования. Ильнур Р. Кадиков провел работу по конструированию дизайна исследований и постановке экспериментов. Вадим Р. Сaitов провел работу по постановке экспериментов, анализу результатов патоморфологического исследования. Глеб С. Кашеваров провел статистическую обработку цифрового материала и работу по подготовке материалов к опубликованию. Игорь М. Фицев провел работу по постановке экспериментов, ВЭЖХ-МС/МС исследование проб, подготовке материалов к опубликованию. Анна М. Трemasова провела литературный обзор по теме исследования. Ксения В. Перфилова провела отбор проб патологического материала, гистологические и ультраструктурные исследования. Марина М. Сальникова провела гистологические и ультраструктурные 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.

52. Mukhammadiev Rin.S., Mukhammadiev Rish.S., Biryulya V.V., Idiyatov I.I., Nabatov A.A., Glinushkin A.P., Valiullin L.R. An in vitro estimation of cytotoxicity of fusarium trichothecene on the breast cancer cell line. *Siberian Journal of Oncology*, 2019, vol. 18(6), pp. 90-95. (In Russian) DOI: 10.21294/1814-4861-2019-18-6-90-95

53. Idiyatov I.I., Valiullin L.R., Biryulya V.V., Shangaraev N.G., Raginov I.S., Tremasov M.I., Lekishvili M.V., Nikitin A.I. Cytotoxic activity of T-2 toxin for a immortalized of cattle fetal lung epithelium cells. *Genes and cells*, 2017, vol. 12(1), pp. 41-46. (In Russian) DOI: 10.23868/201703006

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ilgiz I. Idiyatov carried out work on the design of experiments and their formulation, analysis of the results obtained, preparation of materials for publication and a literature review on the research topic. Ilnur R. Kadikov carried out work on the design of research and staging experiments. Vadim R. Saitov carried out work on the formulation of experiments and analysis of the results of pathomorphological research. Gleb S. Kashevarov carried out statistical processing of digital material and work on the preparation of materials for publication. Igor M. Fitsev conducted work on setting up experiments. HPLC-MS/MS sampling and preparing materials for publication. Anna M. Tremasova conducted a literature review on the topic of the study. Ksenia V. Perfilova conducted sampling of pathological material and histological and ultrastructural studies. Marina M. Salnikova conducted histological and ultrastructural studies. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ильгиз И. Идиятов / Ilgiz I. Idiyatov <https://orcid.org/0000-0001-9279-4001>
Ильнур Р. Кадиков / Ilnur R. Kadikov <https://orcid.org/0000-0002-3184-7779>
Вадим Р. Сaitов / Vadim R. Saitov <https://orcid.org/0000-0001-9815-1314>
Глеб С. Кашеваров / Gleb S. Kashevarov <https://orcid.org/0000-0002-4520-7596>
Игорь М. Фицев / Igor M. Fitsev <https://orcid.org/0000-0002-2828-4354>
Анна М. Трemasова / Anna M. Tremasova <https://orcid.org/0000-0002-1706-134X>
Ксения В. Перфилова / Ksenia V. Perfilova <https://orcid.org/0000-0002-7656-2208>
Марина М. Сальникова / Marina M. Salnikova <https://orcid.org/0000-0002-3928-4974>

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.482
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-80-90

Почвенные процессы в подзолах песчаных в условиях вариаций климатических параметров лесостепи Среднерусской провинции

Николай П. Неведров, Елена П. Проценко, Ирина П. Балабина, Мария Ю. Фомина, Галина И. Попова
Курский государственный университет, Курск, Россия

Контактное лицо

Николай П. Неведров, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИЛ экомониторинга, ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»; 305000 Россия, Курская область, г. Курск, ул. Радищева, 33.
Тел. +7(471)270-14-20
Email 9202635354@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>

Формат цитирования

Неведров Н.П., Проценко Е.П., Балабина И.П., Фомина М.Ю., Попова Г.И. Почвенные процессы в подзолах песчаных в условиях вариаций климатических параметров лесостепи Среднерусской провинции // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, N 1. С. 80-90. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-80-90

Получена 29 августа 2021 г.
Прошла рецензирование 14 декабря 2021 г.
Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель исследования состояла в выявлении влияния фактора климата на протекание почвенных процессов в подзолах песчаных в условиях лесостепи Среднерусской провинции.

Материал и методы. В ходе исследования применялись традиционные (метод почвенной съемки, профильный метод, микробиологические методы и др.) и новейшие методы (прямые измерения (*in situ*) почвенных потоков CO₂) исследования.

Результаты. Установлено, что почвообразовательные процессы в азональных альфегумусовых песчаных почвах рефлексивны к вариациям климатических параметров лесостепной зоны. В более теплых и засушливых условиях лесостепи (южная часть) формируются дерново-подзолы песчаные, в более холодных и увлажненных условиях лесостепи (северная часть) – подзолы песчаные. Дерново-подзолы южной части лесостепи имели более гумусированный почвенный профиль, запасы которого были на 19,2% выше, чем в подзолах. Также дерново-подзолы имели большую обеспеченность элементами минерального питания растений и более высокую микробиологическую активность (численность бактерий в 12,7 раза выше, микромицетов – в 10,5 раза, актиномицетов – в 4,5 раза) чем подзолы песчаные. В летнее время скорость потоков CO₂ из альфегумусовых песчаных почв в северной части лесостепной зоны достигала значения 9,1 г CO₂ м²/сутки, в южной части – 12,5 г CO₂ м²/сутки.

Заключение. В условиях дальнейших изменений климата, которые в лесостепной зоне носят аридный тренд, возможна трансформация подзолов песчаных в дерново-подзолы песчаные.

Ключевые слова

Дерново-подзол, альфегумусовые почвы, эмиссия CO₂, микробиологическая активность, климатические изменения.

Soil processes in sandy podzols under conditions of variations in climatic parameters of the forest steppe of the Central Russian province

Nikolay P. Nevedrov, Elena P. Protsenko, Irina P. Balabina, Maria Yu. Fomina and Galina I. Popova

Kursk State University, Kursk, Russia

Principal contact

Nikolay P. Nevedrov, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Research Laboratory of Environmental Monitoring, Kursk State University; 33 Radishcheva St, Kursk, Kursk Region, Russia 3050000.
Tel. +7(471)270-14-20
Email 9202635354@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>

How to cite this article

Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Balabina I.P., Fomina M.Yu., Popova G.I. Soil processes in sandy podzols under conditions of variations in climatic parameters of the forest steppe of the Central Russian province. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 80-90. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-80-90

Received 29 August 2021

Revised 14 December 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. The aim of the research was to identify the influence of the climate factor on the soil processes in sandy podzols in the forest-steppe of the Central Russian province.

Material and Methods. Traditional methods (soil survey method, profile method, microbiological methods, etc.) and the latest methods (direct measurements [*in situ*] of soil CO₂ emission) of investigation were used.

Results. It has been established that soil formation processes in azonal Al-Fe-humus sandy soils are reflexive to variations in climatic parameters of the forest-steppe zone. In warmer and arid conditions of the forest-steppe (southern part), sandy sod-podzols are formed, in colder and humid conditions of the forest-steppe (northern part) – sandy podzols. The soddy-podzols of the southern part of the forest-steppe can be characterized by a more humous soil profile, the content of which is 19.2% higher than in the sandy podzols. Moreover sod-podzols have greater availability of mineral nutrition elements for plants and a higher microbiological activity (the number of bacteria is 12.7 times higher, micromycetes – 10.5 times, actinomycetes – 4.5 times) than sandy podzols. In summer, the rate of CO₂ emission in Al-Fe-humus sandy soils in the northern part of the forest-steppe zone reached 9.1 g CO₂ m²/day, in the southern part – 12.5 g CO₂ m²/day.

Conclusion. Further climate changes, which have an arid trend in the forest-steppe zone, can possibly lead to transformation of sandy podzols into sandy sod-podzols.

Key Words

Sod-podzol, Al-Fe-humus soils, CO₂ emission, microbiological activity, climatic changes.

ВВЕДЕНИЕ

Подзолы песчаные — азональный тип почв, сформированный на легких мономинеральных и полиминеральных песчаных отложениях, как правило, приуроченных к аренам рек. Подзолы песчаные занимают около 4% площади суши [1]. Это определяет актуальность исследования этих почв для решения вопросов их рационального использования и дифференциации приемов хозяйствования на разных стадиях их освоения.

Почвообразование альфегумусовых почв слабо зависит от климатических вариаций и однотипно в масштабах от зоны подзолистых почв, до зоны каштановых почв. Это обусловлено гидротермическими особенностями песков [2-4]. Однако имеются данные, свидетельствующие о том, что почвенные разности альфегумусовых почв выделяются даже внутри одной природной зоны, что связано как с воздействием климатического фактора, так и факторов рельефа, биоты, материнской породы и времени [5-8]. Динамика свойств почв и почвенных процессов в подзолах песчаных стремительнее, чем в зональных типах почв [9-12]. Следовательно, экосистемные сервисы подзолов также быстро меняются во времени, что предопределяет необходимость комплексного экологического мониторинга их функций (средообразующей, лесорастительной, углерододепонирующей) и свойств (физических, химических, физико-химических, биологических).

В лесостепной зоне подзолы песчаные встречаются в сосняках, представленных разновозрастными насаждениями сосны обыкновенной [11; 13]. Высадка лесонасаждений в центральной лесостепи на территориях, сложенных флювиогляциальными и древнеаллювиальными песками проводилась с целью решения различных региональных экологических проблем: дефляции,

снижение уровня поверхностных вод, создание зеленых поясов вокруг городов и санитарных зон вокруг промышленных предприятий. Сформированные лесные экосистемы представляют собой сукцессионные серии, имеющие отчетливо выраженный тренд, направленный на смену соснового леса на климаксовый широколиственный лес — дубраву [11; 13]. Скорость таких сукцессий вариабельна в географическом аспекте и зависит от многих факторов, среди которых значимую роль играют климатические параметры. Исследование особенностей влияния климата на протекание почвенных процессов в частности и трансформацию экосистем в целом особенно актуально ввиду глобальных климатических изменений [14; 15].

Целью настоящего исследования являлось определение влияния фактора климата на протекание почвенных процессов в подзолах песчаных в условиях лесостепи Среднерусской провинции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось в вегетационный сезон 2021 года. Рассматривались свойства почв и особенности протекания почвенных процессов в сходных лесных экосистемах лесостепной зоны, различающихся по географическому положению. В качестве ключевых объектов были выбраны сосновые лесонасаждения в Железногорском районе Курской области (Кармановское лесничество) и в Новооскольском районе Белгородской области (Новооскольское лесничество). В качестве «северного участка» рассматривалось насаждение сосны обыкновенной в Кармановском лесничестве, а в качестве южного участка — в Новооскольском лесничестве. Расстояние между участками в направлении с севера-запада на юго-восток — 230 км (рис. 1).

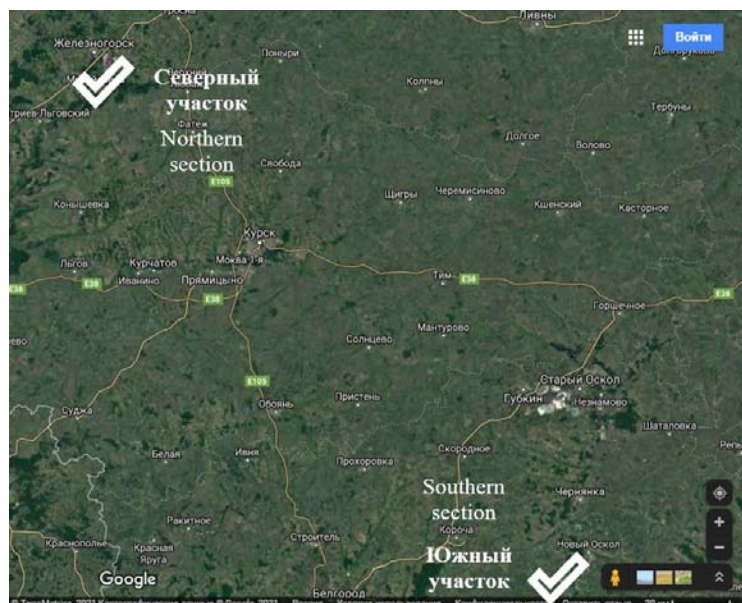


Рисунок 1. Географическое расположение ключевых объектов исследования

Figure 1. Geographic location of key research objects

По климатическим показателям исследуемые объекты существенно отличаются, так на северо-западе Курской области в среднем выпадает 550-640 мм осадков в год, а на юге и востоке Белгородской области среднегодовая норма осадков – около 400 мм. Среднегодовые температуры на исследуемых объектах также разнятся 5,9°C – северный участок, 6,8°C – южный участок. В целом, южный участок характеризуется более теплым и

засушливым [16] климатом относительно северного участка.

Исследуемые участки располагались в надпойменных террасах рек Свапа и Оскол. Надпойменные террасы сложены флювиогляциальными и древнеаллювиальными песками. Почвенный покров северного участка преимущественно представлен подзолами иллювиально-железистыми псевдофибровыми песчаными (рис. 2 А).

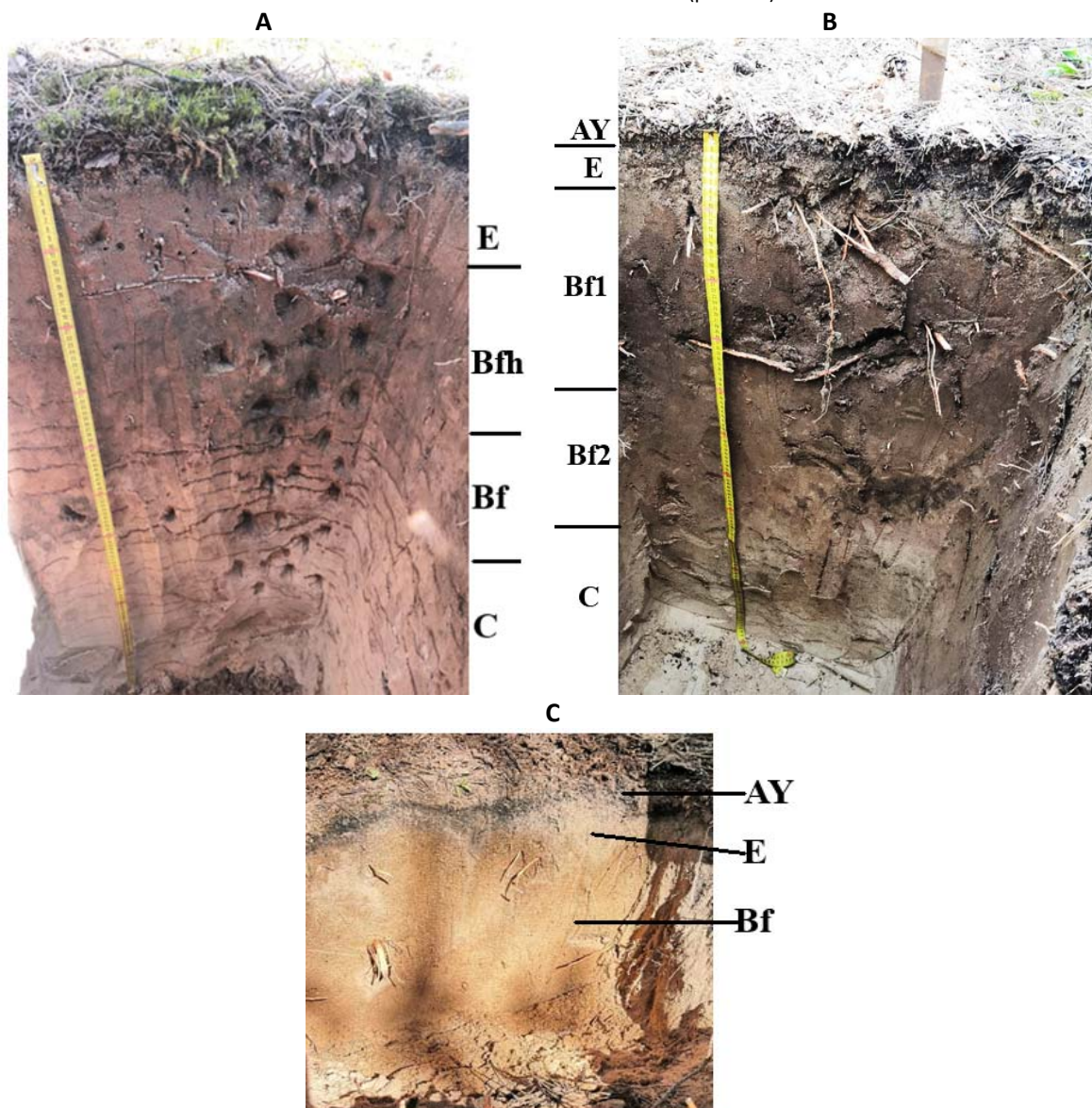


Рисунок 2. Почвенные профили исследуемых участков
Figure 2. Soil profiles of the study areas

Почвенный профиль имел следующее строение: О (0-2 см) органогенный горизонт подстильно-торфяной горизонт в нижней части отмечалась тонкая прослойка темной оторфованной органики; Е (2-16 см) окраска по Munsell 10 YR 7/1, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, зерна минералов полностью лишены пленок, обильно пронизан корнями, переход плавный, постепенный по окраске; Bfh (16-42 см) окраска по Munsell 10 YR 6/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый,

зерна минералов покрыты тонкими буроватыми (железистыми) пленками, железистые примазки обильно пятнами от 1 до 5 см в поперечнике, затеки гумуса по ходам корней, обильно пронизан корнями сосны, переход постепенный по окраске; Bf (42-87 см) окраска по Munsell 10 YR 8/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, субгоризонтальные псевдофибры темновато-бурого цвета шириной до 1 см, корни сосны обыкновенной – редко; С (87-110 см) окраска по Munsell 10 YR 8/2,

влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, псевдофибры бурого (железистого) цвета шириной до 1-2 мм.

Почвенный профиль южного участка был представлен дерново-подзолом иллювиально-железистым песчаным и заметно отличался по морфологии от описанного выше профиля (рис. 2В, 2С): О (0-1 см) органогенный горизонт подстильно-торфяной горизонт; АУ (2-4 см) окраска по Munsell 5 YR 5/1, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, большинство зерен минералов (80%) покрыты темными пленками, примерно 20% зерен минералов полностью лишены пленок, обильно пронизан корнями растений, переход четкий по окраске; Е (4-8 см) окраска по Munsell 5 YR 7/1, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, зерна минералов полностью лишены пленок, затеки гумуса в виде прожилок 0,5-1 см, пронизан корнями, переход четкий по окраске; Вf1 (8-40 см) окраска по Munsell 5 YR 6/3, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, зерна минералов покрыты тонкими темно-буроватыми пленками, обильно пронизан корнями сосны, переход постепенный по окраске; Вf2 (40-74 см) окраска по Munsell 5 YR 7/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, железисто-марганцевые конкреции диаметром до 5 мм, железистые примазки – пятна 1-2 см, корни сосны обыкновенной – редко; С (74-112 см) окраска по Munsell 5 YR 8/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, псевдофибры бурого (железистого) цвета шириной до 1-2 мм.

Характеристика растительного покрова

Северный участок: 1-й ярус – сосна обыкновенная (высота древостоя 19-22 м, сомкнутость крон около 70%), 2-й ярус представлен редким подростом лиственных пород до 3-4 метров высотой – дуб черешчатый (*Quercus robur*), береза белая (*Betula alba*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*). В 3-м ярусе наблюдались полукустарник – малина лесная (*Rubus idaeus*) и травянистые растения – чистотел большой (*Chelidonium majus*), ландыш майский (*Convallaria majalis*) (куртинами по 5-10 м²), злаки (*Poaceae*) (редко на осветленных участках), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*), земляника лесная (*Fragaria vesca*). Напочвенный покров (4-й ярус) – мохово-лишайниковый. Южный участок: 1-й ярус – сосна обыкновенная (высота древостоя 19-22 м, сомкнутость крон около 75%). Во втором ярусе наряду с лиственными породами (дуб черешчатый (*Quercus robur*), береза белая (*Betula alba*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus*) в межкروновых пространствах отмечалось активное возобновление сосны обыкновенной. Высота древостоя второго яруса 2-4 метра. Третий ярус: чистотел большой (*Chelidonium majus*), злаки (*Poaceae*) (обильно на осветленных участках), очиток большой (*Sedum maximum*), молочай острый (*Euphorbia esula*), герань Роберта (*Geranium robertianum*), подмаренник

трехцветковый (*Gallium triflorum*), недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*) (очень редко). Четвертый ярус (напочвенный покров) – мохово-лишайниковый – очень редко, маленькими островками по 20-30 см в диаметре. Наличие ксерофитных травянистых растений и отсутствие влаголюбивых видов свидетельствует о более аридных климатических условиях на южном участке относительно северного участка исследования.

Пробы почв в почвенных профилях отбирались сопряженно с генетическими горизонтами. В каждом из исследуемых лесных массивах на репрезентативных участках было заложено по три почвенных разреза и по пять скважин буром-пробоотборником. Отбор проб почв проводился в соответствии с [17; 18]. С применением стандартных методик определялись базовые химические и физико-химические свойства: органическое вещество по Тюрину [19], pH KCl [20] щелочногидролизуемый азот [21], подвижный фосфор [22], обменный калий [22]. Определение подвижных форм тяжелых металлов проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Пробоподготовка – подвижные формы ТМ извлекались вытяжкой ацетатно-аммонийного буфера pH = 4,8 [23].

Функциональные группы почвенных микроорганизмов – бактерии, грибы, актиномицеты определялись на следующих питательных средах: ГМФ-агар, среда Чапека, среда Гаузе I. Отбор проб почв для химического и микробиологического анализа проводился в первой декаде мая.

На исследуемых участках проводилось измерение почвенных потоков диоксида углерода камерным методом. Для этого за 60 минут до замера в почву на глубину 5 см врезались десять напочвенных оснований (диаметр – 20 см). С помощью зажимов на них герметично закреплялась экспозиционная камера объемом 7,2 литра (диаметр – 20 см). Прямое измерение потоков CO₂ осуществлялось *in situ* с помощью мобильного инфракрасного газоанализатора, встроенного в крышку основания. Измерения проводились весной (в первой декаде мая) и летом (в третьей декаде июня) с 9:00 до 13:00 ч. Одновременно с измерением эмиссии CO₂ в каждой точке определяли температуру (термометром Checktemp, Hanna, Германия; слой 0-10 см, измерение у основания) и влажность почвы (влагомер МГ-44, Россия; слой 0-10 см, измерение у основания) в трех повторениях, температура воздуха снаружи и внутри камеры.

Статистическая обработка данных проводилась с применением средств пакета анализа прикладных программ Microsoft Office 2010 (Microsoft Excel).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвообразовательные процессы подзолов песчаных на исследуемых участках имели явные различия, которые приводили к формированию разных типов почв – подзола песчаного и дерново-подзола песчаного. В почвах южного участка подзолистый

процесс был менее развит, чем в почвах северного. Мощность подзолистого горизонта в почвах южного участка была в 3,5 раза меньше. Также в почвах южного участка диагностировали наличие серогумусового горизонта (AY), что свидетельствует о развитии дернового процесса. Распределение органического вещества в исследуемых почвах – резко убывающее вниз по профилю. Содержание

органического вещества в серогумусовом и подзолистом горизонтах было значительно выше в почвах южного участка. Почвенный профиль дерново-подзола (южный участок), в целом, более гумусирован, чем профиль подзола (северный участок), что наглядно отражает показатель запаса гумуса в метровой толще почвы, значения которого на 19,2% выше у дерново-подзола (табл. 1).

Таблица 1. Химические и физико-химические свойства подзолов песчаных в зависимости от географического местоположения

Table 1. Chemical and physicochemical properties of sandy podzols depending on geographic location

Генетический горизонт (мощность см) Genetic horizon (thickness cm)	Органическое вещество, % Organic matter, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг/кг P ₂ O ₅ , ppm	K ₂ O, мг/кг K ₂ O, ppm	N щ.г., мкг/кг Nitrogen content, ppm	Запас гумуса, т/га Humus stock, t/ha
Новооскольское лесничество (южный участок) Novooskolskoe forestry (southern section)						
AY (2)	7,4±1,1	4,4±0,2	40±5	100±7	95±6	37,0±3,3
E (4)	0,7±0,1	4,2±0,1	27±3	45±4	50±2	
Bf ₁ (32)	0,3±0,01	4,1±0,1	56±6	32±3	27±2	
Bf ₂ (34)	0,14±0,01	4,3±0,1	28±4	30±1	28±3	
C (30)	0,05±0,01	4,7±0,2	23±2	27±1	30±4	
Кармановское лесничество (северный участок) Karmanovskoe forestry (northern section)						
E (14)	0,6±0,1	4,0±0,2	30±1	37±2	43±1	26,9±2,5
Bfh (26)	0,33±0,02	4,3±0,2	116±3	38±2	31±1	
Bf (45)	0,12±0,03	4,3±0,1	53±4	39±2	46±2	
C (22)	0,12±0,01	4,8±0,3	36±6	24±4	42±1	

По-видимому, это связано с количеством выпадающих осадков. На северном участке их выпадает значительно больше, в результате чего с большей периодичностью возникает ухудшение аэрации и снижается активность протекания аэробных процессов.

Реакция среды в почвах исследуемых участков варьировала по профилю от сильноокислых до среднекислых значений, что связано с высоким содержанием обменного алюминия и составом органического опада (хвоя сосны) [2]. Кислотность убывала вниз по профилю. В подзолистых горизонтах подзола и дерново-подзола кислотность была значительно выше, чем в других минеральных горизонтах (табл. 1).

Профильное распределение подвижного фосфора в дерново-подзолах носило прогрессивно-элювиально-иллювиальный характер, в подзолах – регрессивно-элювиально-иллювиальный. В альфегумусовых горизонтах подзолов (северный участок) содержание подвижного фосфора было 2,07 раза выше, чем в альфегумусовых горизонтах дерново-подзолов (южный участок), что обусловлено более интенсивной вертикальной миграцией фосфоорганических соединений, предопределяемой большим количеством выпадающих осадков на северном участке.

Обменный калий и органический азот распределены в профиле дерново-подзола по аккумулятивному типу распределения, в профиле подзола – по элювиально-иллювиальному типу, что, опять же, можно объяснить степенью оподзоленности почв и различиями водного режима на исследуемых участках. Стоит отметить, что в верхней части профиля дерново-подзола (южный участок) накапливалось в 2,2-2,7 раза больше обменного калия и легкогидролизуемых форм азота, чем в верхней части профиля подзола (северный участок) (табл. 1).

Профильное распределение микроэлементов и свинца в почвах северного участка носило аккумулятивный характер и плавно убывало вниз по профилю, за исключением подвижных форм меди, для которой был характерен регрессивно-элювиально-иллювиальный тип распределения (табл. 2).

В профиле дерново-подзола (южный участок) максимальное количество тяжелых металлов (кроме железа) содержалось в серогумусовом горизонте, что обусловлено относительно высоким содержанием органического вещества, способствующего удержанию и накоплению ТМ. Для Fe отмечали регрессивно-элювиально-иллювиальный тип распределения по профилю, для Mn и Pb – аккумулятивный, для Zn и Ni – прогрессивно-элювиально-иллювиальный, для меди – недифференцированный.

Таблица 2. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в подзолах песчаных в зависимости от географического местоположения**Table 2.** Content of mobile forms of heavy metals in sandy podzols depending on geographic location

Генетический горизонт Genetic horizon	Содержание подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг Concentration of mobile forms of heavy metals, mg/kg					
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb
Новооскольское лесничество (южный участок) Novooskolskoe forestry (southern section)						
AY (2)	11,3±0,4	12,5±0,8	0,16±0,03	1,61±0,32	0,43±0,03	1,4±0,2
E (4)	23,0±0,9	3,8±0,2	0,17±0,04	0,25±0,01	0,22±0,02	0,8±0,1
Bf₁ (32)	19,1±0,8	1,2±0,1	0,21±0,02	0,15±0,02	0,34±0,02	0,3±0,1
Bf₂ (34)	9,7±0,9	0,4±0,1	0,18±0,03	0,18±0,04	0,16±0,02	0,3±0,1
C (30)	7,0±0,5	0,3±0,1	0,18±0,04	0,73±0,11	0,19±0,02	0,4±0,1
Кармановское лесничество (северный участок) Karmanovskoe forestry (northern section)						
E (14)	41,8±2,2	8,7±0,5	0,16±0,03	0,35±0,01	0,49±0,02	0,8±0,1
Bfh (26)	35,8±1,4	2,7±0,2	0,24±0,04	0,18±0,01	0,20±0,01	0,5±0,1
Bf (45)	15,1±0,9	1,8±0,3	0,18±0,02	0,16±0,01	0,27±0,01	0,5±0,1
C (22)	5,4±0,6	0,3±0,1	0,17±0,02	0,17±0,01	0,17±0,1	0,5±0,1

В почвах южного участка показатель содержания подвижного железа уступал таковому в почвах северного участка, что можно объяснить чаще возникающим избыточным увлажнением, сопровождающимся восстановительными условиями среды. В виду относительно интенсивных процессов выщелачивания в иллювиально-железистом горизонте подзола массовые концентрации подвижных Fe, Mn, Ni и Pb были значимо выше (на 55,6%, 40,0%, 56,3% и 66,6% соответственно), чем в аналогичном горизонте дерново-подзола. Также более кислая среда в подзолистом горизонте почв

северного участка способствовала повышению мобильности практически всех ТМ по сравнению с южным участком (табл. 2).

Исследуемые почвы имели значительные различия в показателях микробиологической активности. В дерново-подзолах южного участка численность бактерий и микроскопических грибов была выше в 2,1-12,7 и в 2,5-10,5 раза соответственно, что объясняется более высоким уровнем обеспеченности почв органическим азотом и более оптимальными условиями аэрации, достигающимися за счет меньшей влажности почвы (табл. 3; рис. 3).

Таблица 3. Микробиологическая активность подзолов песчаных в зависимости от географического местоположения**Table 3.** Microbiological activity of sandy podzols depending on geographic location

Генетический горизонт (глубина отбора) Genetic horizon (sampling depth)	Количество почвенных микроорганизмов, КОЕ/г почвы Number of soil microorganisms, CFU/g soil		
	Бактерии на ГМФ-агаре Bacteria on agar	Грибы на среде Чапека Fungi on Czapek's feed medium	Актиномицеты на среде Гаузе-1 Actinomycetes on Gause-I medium
Новооскольское лесничество (южный участок) Novooskolskoe forestry (southern section)			
AY (2-4)	71,0*10 ⁸ ±3,0	2,0*10 ² ±0,08	46,27*10 ⁸ ±2,5
E (4-8)	1,32*10 ⁸ ±0,2	3,29*10 ² ±0,1	35,08*10 ⁸ ±0,9
Bf (20-40)	0,402*10 ⁸ ±0,03	0,54*10 ² ±0,03	28,15*10 ⁸ ±0,5
Кармановское лесничество (северный участок) Karmanovskoe forestry (northern section)			
E (2-10)	5,621*10 ⁸ ±0,13	0,19*10 ² ±0,02	23,21*10 ⁸ ±1,1
Bfh (20-40)	0,0475*10 ⁸ ±0,003	0,19*10 ² ±0,04	7,76*10 ⁸ ±0,2
Bf (40-60)	0,0188*10 ⁸ ±0,002	0,22*10 ² ±0,03	13,43*10 ⁸ ±0,1

Численность актиномицетов также была выше в почвах южного участка в 2-4,5 раза, что, скорее всего, объясняется более высокой обеспеченностью дерново-подзола минеральным азотом.

Сезонная динамика влажности почв на обоих исследуемых участках имела тренд, направленный на снижение этого показателя в летнее время относительно весеннего периода (на 8,2-

28,6%). Сезонная динамика температурного режима характеризовалась диаметрально противоположно направленным трендом. Как на северном, так и на южном участках показатель увеличивался в летний период на 94-98%, относительно его весенних значений (рис. 3).

Скорость потоков CO_2 из исследуемых почв также значительно возрастала в летнее время на 79,3% на северном участке и на 114,8% – на южном, что в большей степени обусловлено повышением температуры почв.

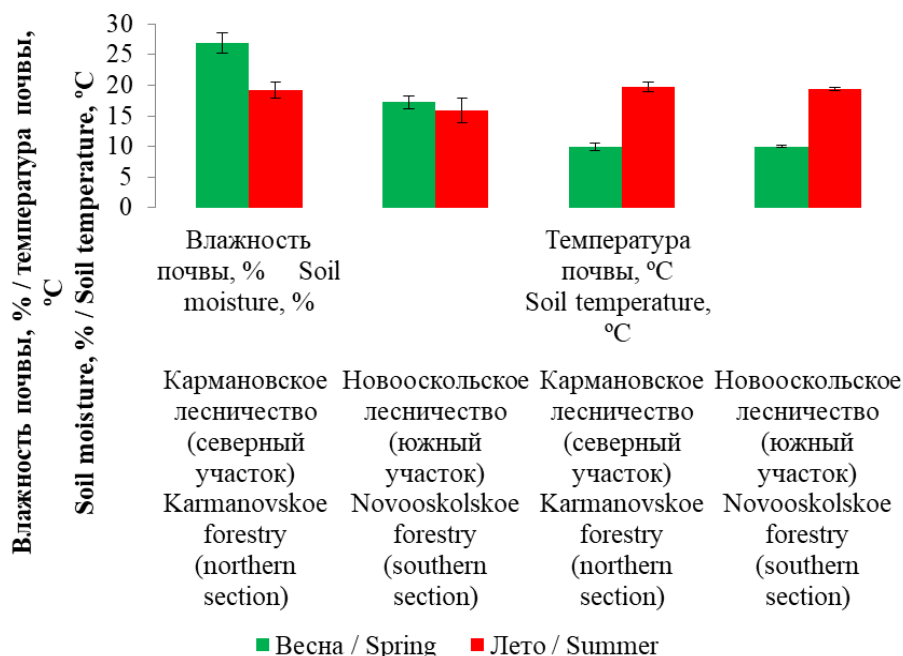


Рисунок 3. Краткосрочная (сезонная) динамика гидротермических свойств альфегумусовых почв лесостепи Среднерусской провинции в условиях вариаций климатических параметров

Figure 3. Short-term (seasonal) dynamics of the hydrothermal properties of the Al-Fe-humus soils of the forest-steppe of the Central Russian province under conditions of variations in climatic parameters

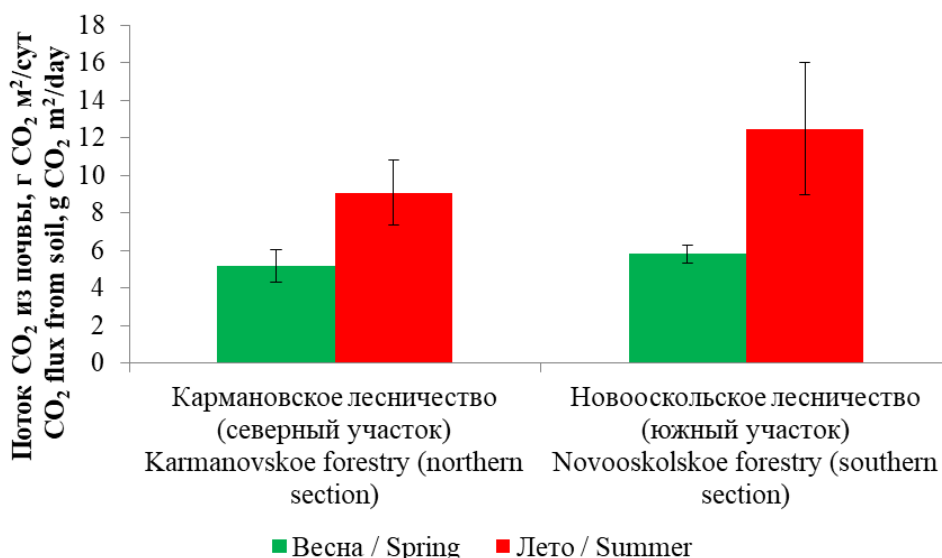


Рисунок 4. Краткосрочная (сезонная) динамика эмиссии CO_2 и альфегумусовых почв лесостепи Среднерусской провинции в условиях вариаций климатических параметров

Figure 4. Short-term (seasonal) dynamics of CO_2 and Al-Fe-humus soils emission in the forest-steppe of the Central Russian province under conditions of variations in climatic parameters

Несмотря на различия в численности почвенных микроорганизмов скорость потоков CO_2 из почв южного и северного участков существенно не

различалась в весеннее время. По-видимому, доля автотрофного дыхания (биомасса корней) на исследуемых участках также имела существенные

различия. В летние месяцы скорость эмиссии CO₂ из дерново-подзолов южного участка была на 37,6±13,2% выше, чем из подзолов южного участка, что, очевидно, связано с более высокой микробиологической активностью дерново-подзолов. Стоит также отметить, что в летнее время значительно возросла пространственная вариабельность показателя скорости эмиссии внутри каждого из участков, что указывает на повышение пространственной изменчивости биологических свойств почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвообразовательные процессы в легких альфегумусовых почвах сосновых лесонасаждений лесостепной зоны изменяются в направлении с северо-запада на юго-восток, что в большей степени обусловлено сменой климатических характеристик (сочетание тепла и влаги). Такие изменения прослеживаются уже в масштабе 200-250 км. Под монодоминантными насаждениями сосны обыкновенной на флювиогляциальных и древнеаллювиальных песках в южной части лесостепи формируются дерново-подзолы песчаные, в северной – подзолы песчаные с разной степенью оподзоленности. В южной части лесостепной зоны в альфегумусовых почвах происходит активное развитие дернового процесса, сопровождающегося аккумуляцией органического вещества, элементов минерального питания растений, повышением микробной биомассы почвы в верхней части профиля и формированием серогумусовых горизонтов (AY). Микробиологическая активность дерново-подзолов южной части лесостепи Среднерусской провинции была в 12,7 раза выше для бактерий, 10,5 раза – для микромицетов и 4,5 раза – для актиномицетов. Скорость потоков CO₂ из альфегумусовых почв значительно возросла в летнее время. В северной части лесостепной зоны скорость эмиссии из подзолов песчаных в летнее время достигала 9,1 г CO₂ м²/сутки, в южной части из дерново-подзолов – до 12,5 г CO₂ м²/сутки. При дальнейшей аридизации климата возможно последовательное наступление географического смещения характеристик почвообразовательных процессов в направлении с юго-востока на северо-запад, которое может сопровождаться сохранением сосновых насаждений в виду их ксерофитности и олиготрофности и протеканием почвенной сукцессии в ряду «подзол-песчаный => дерново-подзол песчаный».

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (проект – МК-416.2021.1.4).

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out with support of Grant of the President of the Russian Federation for Young Russian Scientists – Candidates of Sciences (Project – МК-416.2021.1.4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Britannica. The Editors of Encyclopaedia. "Podzol". *Encyclopedia Britannica*, 16 Dec. 2010, Available at: <https://www.britannica.com/science/Podzol>. (accessed 11.08.2021)
2. Гаяль А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
3. Гаяль А.Г., Маланин А.Н. Об особенностях почвообразования на песках и о дерновых неоподзоленных почвах // Почвоведение. 1977. N 4. С. 23-34.
4. Соболев С.С. Пески европейской части СССР. Природа. 1939. N 9. С. 27-34.
5. Шопина О.В., Кадетов Н.Г., Семенов И.Н. Фиторазнообразие в Полесских ландшафтах Керженского заповедника // Материалы VIII Всероссийской научной конференции с международным участием «Лесные почвы и функционирование лесных экосистем», Москва, 24-27 сентября, 2019. С. 143-146.
6. Яшин И.М., Кузнецов П.В., Петухова А.А. Экогеохимическая оценка почв и лесопарковых фаций Петрозаводска // Известия ТСХА. 2011. N 4. С. 30-43.
7. Mokma D., Yli-Halla M., Lindqvist K. Podzol formation in sandy soils of Finland. *Geoderma*. 2004. V. 120. P. 259-272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.008> (accessed 07.08.2021)
8. Sauer D., Schüllli-Maurer I., Sperstad R., Sørensen R., Stahr K. Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2008. V. 171. P. 483-497. Available at: <https://doi.org/10.1002/jpln.200700023> (accessed 07.08.2021)
9. Дымов А.А., Лаптева Е.М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубках // Лесоведение. 2006. N 3. С. 42-49.
10. Ильинцев А.С., Богданов А.П., Быков Ю.С. Динамика физических свойств подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании // Лесн. журн. 2019. N 5. С. 70-82. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70
11. Неведров Н.П., Фомина М.Ю., Проценко Е.П., Протасова М.В., Балабина Н.А., Сапронова С.Г., Смицкая Г.И. Почвенные сукцессии подзолов и дерново-подзолов песчаных лесостепи при смене лесобразующих пород // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. N 2. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_213.pdf. (дата обращения: 12.08.2021) DOI: <https://doi.org/10.51419/20212213>
12. Pollmann T., Tsukamoto S., Frechen M., Giani L. Rate of soil formation in Arenosols of dunes on Spiekeroog Island (Germany) // *Geoderma Regional*. 2020. V. 20. e00246. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.e00246
13. Неведров Н.П., Проценко Е.П., Дроздова Я.Э., Фомина М.Ю. Трансформация некоторых свойств подзолов песчаных при заселении *Robinia pseudoacacia* L. в сосновые леса города Курска // Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции «Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения», Краснодар, 29-31 марта, 2021. С. 325-327.
14. Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Ваганов Е.А., Верховец С.В., Рубцов А.В.. Динамика потоков CO₂ с поверхности почвы в сосновых древостоях Средней Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2016. Т. 9. N 3. С. 338-357.

15. Powers J.S., Schlesinger W.H. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica // *Geoderma*. 2002. V. 109. P. 165-190.
16. Воинова Н.Е., Кабанова Р.В., Кудинова М.Р. География: природа, население, хозяйство. Курск : Изд-во Курс. гос. пед. ун-та, 2001. 320 с.
17. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. М.: Стандартиформ, 2008. 5 с.
18. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартиформ, 2004. 4 с.
19. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993. 6 с.
20. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 4 с.
21. Методические указания по определению щелочногидролизуемого азота в почве по методу Корнфилда. М.: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства МСХ СССР (ЦИНАО), 1985. 8 с.
22. ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993. 6 с.
23. РД 52.18.289-90 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. М.: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1990. 36 с.
24. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.008> (accessed 07.08.2021)
8. Sauer D., Schüllli-Maurer I., Sperstad R., Sørensen R., Stahr K. Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, vol. 171, pp. 483-497. Available at: <https://doi.org/10.1002/jpln.200700023> (accessed 07.05.2021)
9. Dymov A.A., Lapteva E.M. Changes in podzolic soils on binomial sediments during felling. *Lesovedenie* [Forest science]. 2006, no. 3, pp. 42-49. (In Russian)
10. Ilintsev A.S., Bogdanov A.P., Bykov Yu.S. Dynamics of physical properties of podzolic soil in clearings during natural overgrowth. *Forest. Zhurn*, 2019, no. 5. pp. 70-82. (In Russian) DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70
11. Nevedrov N.P., Fomina M.Yu., Protzenko E.P., Protasova M.V., Balabina N.A., Sapronova S.G., Smitskaya G.I. Soil successions of podzols and sod-podzols of sandy forest-steppe during the change of forest-forming species. *AgroEkoInfo: Elektronnyi nauchno-proizvodstvennyi zhurnal*, 2021, no. 2. (In Russian) Available at: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_213.pdf (accessed 12.08.2021) DOI: 10.51419/20212213
12. Pollmann T., Tsukamoto S., Frechen M., Giani L. Rate of soil formation in Arenosols of dunes on Spiekeroog Island (Germany). *Geoderma Regional*, 2020, vol. 20, pp. e00246. DOI: 10.1016/j.geodrs.2019.e00246
13. Nevedrov N.P., Protzenko E.P., Drozdova Ya.E., Fomina M.Yu. Transformatsiya nekotorykh svoystv podzolov peschanykh pri zaselenii Robinia pseudoacacia L. v sosnovye lesa goroda Kurska [Transformation of some properties of sandy podzols during the colonization of Robinia pseudoacacia L. in the pine forests of the city of Kursk]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchnoi ekologicheskoi konferentsii «Problemy transformatsii estestvennykh landshaftov v rezul'tate antropogennoi deyatel'nosti i puti ikh resheniya»*, Krasnodar, 29-31 marta, 2021 [Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific Ecological Conference "Problems of transformation of natural landscapes as a result of anthropogenic activities and ways to solve them", Krasnodar, March 29-31, 2021]. Krasnodar, 2021, pp. 325-327. (In Russian)
14. Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Vaganov E.A., Verkhovets S.V., Rubtsov A.V. Dynamics of CO₂ fluxes from the soil surface in pine stands of Central Siberia. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya*. [Journal of the Siberian Federal University. Biology]. 2016, vol. 9, no. 3, pp. 338-357. (In Russian)
15. Powers J.S., Schlesinger W.H. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica. *Geoderma*, 2002, vol. 109, pp. 165-190.
16. Voinova N.Ye., Kabanova R.V., Kudinova M.R. *Geografiya: priroda, naselenie, khozyaistvo* [Geography: nature, population, economy]. Kursk, KSPU Publ., 2001, 320 p. (In Russian)
17. GOST 28168-89. *Pochvy. Otbor prob* [GOST 28168-89: Soils. Sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 5 p. (In Russian)
18. GOST 17.4.3.01-83. *Okhrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [GOST 17.4.3.01-83. Nature protection. Soils. General requirements for sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2004, 4 p. (In Russian)
19. GOST 26213-91. *Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva* [GOST 26213-91. Soils. Methods for determination of organic matter]. Moscow,

REFERENCES

1. Encyclopedia Britannica. The Editors of Encyclopaedia. "Podzol". Available at: <https://www.britannica.com/science/Podzol> (accessed 11.08.2021)
2. Gael A.G., Smirnova L.F. *Peski i peschanye pochvy* [Sands and sandy soils]. Moscow, GEOS Publ., 1999, 252 p. (In Russian)
3. Gael A.G., Malan'in A.N. On the peculiarities of soil formation on sands and on soddy non-podzolized soils. *Pochvovedenie* [Soviet Soil Science]. 1977, no. 4, pp. 23-34. (In Russian)
4. Sobolev S.S. Sands of the European part of the USSR. *Priroda* [Nature]. 1939, no. 9, pp. 27-34. (In Russian)
5. Shopina O.V., Kadetov N.G., Semenov I.N. Fitoraznoobraziya v Poleskikh landshaftakh Kerzhenskogo zapovednika [Phyto-diversity in the Polesie landscapes of the Kerzhensky reserve]. *Materialy VIII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Lesnye pochvy i funktsionirovanie lesnykh ekosistem»*, Moskva, 24-27 sentyabrya 2019. [Materialy VIII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Lesnye pochvy i funktsionirovanie lesnykh ekosistem", Moscow, 24-27 sentyabrya 2019]. Moscow, 2019, pp. 143-146. (In Russian)
6. Yashin I.M., Kuznetsov P.V., Petukhova A.A. Ecogeochemical assessment of soils and forest park facies of Petrozavodsk. *Izvestiya TSKhA* [Proceedings of the Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev]. 2011, no. 4, pp. 30-43. (In Russian)
7. Mokma D., Yli-Halla M., Lindqvist K. Podzol formation in sandy soils of Finland. *Geoderma*, 2004, vol. 120, pp. 259-272. Available at:

Committee for Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1993, 6 p. (In Russian)

20. *GOST 26483-85 Pochvy. Prigotovlenie solevoy vytyazhki i opredelenie ee pH po metodu TsINAO* [GOST 26483-85. Soils. Preparations of salt extract and determination of its pH by CINAQ method]. Moscow, USSR State Committee for Standards Publ., 1985, 4 p. (In Russian)

21. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu shchelochnogidrolizuемого азота в почве по методу Kornfilda* [Guidelines for the determination of alkaline hydrolysable nitrogen in soil according to the Kornfield method]. Moscow, Central Institute of Agrochemical Services for Agriculture of the Ministry of Agriculture of the USSR (CINAQ) Publ., 1985, 8 p. (In Russian)

22. *GOST 26204-91 Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedinenii fosfora i kaliya po metodu Chirikova v modifikatsii*

TsINAO [GOST (State Standard) 26204-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chiricov method modified by CINAQ]. Moscow, Committee for Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1993, 6 p. (In Russian)

23. *RD 52.18.289-90 Metodicheskie ukazaniya. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi doli podvizhnykh form metallov (medi, svintsa, tsinka, nikelya, kadmiya, kobal'ta, khroma, margantsa) v probakh pochvy atomno-absorbtsionnym analizom* [RD 52.18.289-90 Guidelines. Method for measuring the mass fraction of mobile forms of metals (copper, lead, zinc, nickel, cadmium, cobalt, chromium, manganese) in soil samples by atomic absorption analysis]. Moscow, USSR State Committee for Hydrometeorology Publ., 1990, 36 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Николай П. Неведров, Мария Ю. Фомина, Галина И. Попова провели почвенную съемку и осуществили диагностику почв, отбор проб и их лабораторный анализ. Елена П. Проценко и Ирина П. Балабина участвовали в процессе подбора методов и объектов исследования, а также в анализе результатов. Николай П. Неведров составил план исследования, проанализировал полученные данные и 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

Nikolay P. Nevedrov, Maria Yu. Fomina and Galina I. Popova conducted soil survey and carried out soil diagnostics, sampling and laboratory analysis. Elena P. Protsenko and Irina P. Balabina participated in the selection of methods and research objects, as well as in the analysis of the results. Nikolai P. Nevedrov drew up the research plan, analysed the data obtained and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Николай П. Неведров / Nikolay P. Nevedrov <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>
Елена П. Проценко / Elena P. Protsenko <https://orcid.org/0000-0002-9207-1548>
Ирина П. Балабина / Irina P. Balabina <https://orcid.org/0000-0002-4771-2983>
Мария Ю. Фомина / Maria Yu. Fomina <https://orcid.org/0000-0002-4810-2204>
Галина И. Попова / Galina I. Popova <https://orcid.org/0000-0002-7075-7928>

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.582.9
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-91-98

Особенности формирования и трансформации перелогов, приемы их оптимизации

Ольга Н. Курдюкова

Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

Контактное лицо

Ольга Н. Курдюкова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, кафедра естествознания и географии, Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина; 196605, Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, д. 10.
Тел. +79805572173
Email herbology8@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7500-8275>

Формат цитирования

Курдюкова О.Н. Особенности формирования и трансформации перелогов, приемы их оптимизации // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, № 1. С. 91-98. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-91-98

Получена 11 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2020 г.

Принята 24 мая 2021 г.

Резюме

Цель. Установить причины редукции продуктивности, изменений видового и количественного состава фитоценозов разновозрастных перелогов и разработать приемы оптимизации их использования.

Материал и методы. Исследования проведены в стационарном полевом опыте. Перелог образовался с 2004 г. на месте полевого севооборота. Почва перелога – средне- и сильносмытый чернозем.

Результаты. Обеспеченность почвы элементами питания растений на всех вариантах опыта мало различалась в течение всего периода исследований. В основе изменений продуктивности перелога были заложены не химические, а физические процессы, происходящие в почве. В течение первых трех лет формирования перелога почва уплотнилась. Объемная масса пахотного слоя достигла 1,48 г/см³, твердость – 24,4 кг/см², водопроницаемость – 59 мм/час. Способность почвы к восстановлению исходных параметров начиналось на 7-10 год и к тринадцатому году формирования перелога твердость почвы была такой же, как и на степном участке, объемная масса почвы приобретала равновесное состояние, водопроницаемость почвы соответствовала оптимальной.

Заключение. В первые 3-4 года после выведения участка под перелог оптимальным является двух-трехкратное скашивание растений до их обсеменения с использованием скошенной биомассы на зеленое удобрение или для изготовления компостов; в последующие 4-7 лет – умеренный выпас или сенокошение. Перелог старше 8-10 лет используют для выпаса скота и сенокошения.

Ключевые слова

Перелог, изменения, свойства почвы, виды растений, использование.

Features of formation and transformation of fallows and methods for their optimisation

Olga N. Kurdyukova

A.S. Pushkin Leningrad State University, Pushkin, St. Petersburg, Russia

Principal contact

Olga N. Kurdyukova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Natural Sciences and Geography, A.S. Pushkin Leningrad State University; 10 Petersburg Sh., Saint Petersburg, Pushkin, Russia 196605.

Tel. +79805572173

Email herbology8@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7500-8275>

How to cite this article

Kurdyukova O.N. Features of formation and transformation of fallows and methods for their optimisation. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 91-98. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-91-98

Received 11 June 2020

Revised 14 December 2020

Accepted 24 May 2021

Abstract

Aim. The objective of this research was to establish the reasons for productivity reduction and changes in the species and quantitative composition of phytocenoses of multiple-aged fallows and to develop methods for their use optimisation.

Material and Methods. The research was conducted as a stationary field experiment. The fallow was formed since 2004 on the site of a field crop rotation. Fallow soil was moderately and heavily washed black earth.

Results. It was established that the availability of soil with plant nutrients in all experimental variants did not differ much during the entire period of research. The bases for changes in the fallow productivity were not chemical but rather physical soil processes.

During the first three years of the fallow formation, the soil became more firm. The unit weight of the arable layer reached 1.48 g/cm³, hardness reached 24.4 kg/cm² and water permeability reached 59 mm/hour. The soil's ability to recover its initial parameters began after 7-10 years and after 30 years of fallow formation, the soil firmness was the same as in the steppe area, the unit soil weight acquired an equilibrium state, and the water permeability of the soil became optimal.

Conclusion. In the first 3-4 years after the assignment of an area for fallow, it is optimal to mow plants twice or three times before their seeding, using mowed biomass for green manure or composting. In the next 4-7 years, moderate grazing or mowing is recommended. Fallows over 8-10 years old are used for grazing and haying.

Key Words

Fallows, changes, soil properties, plant species, use.

ВВЕДЕНИЕ

В результате государственного переустройства и экономических преобразований в Степной зоне юга России и прилегающих государств сформировались значительные фонды необрабатываемых земель, стихийно выведенных из обработки вследствие невыгодности ведения на них сельскохозяйственного производства или по другим причинам. Площади их ежегодно возрастают на 1,0 млн га и в целом по России превышают 56 млн га, в том числе в Степной зоне юга России – 2,7 млн га [1-4].

На сопредельных к югу России территориях, главным образом Украины, таких земель более 0,2 млн га [5].

Только в России ежегодные потери растениеводческой продукции с этих земель достигают 136 млн тонн на сумму 900 млрд руб. [4].

Согласно научным рекомендациям процесс выведения земель с обработки должен сопровождаться посевом на них кормовых трав, высадкой деревьев или отводом под другие типы использования. Однако на практике в большинстве случаев такие земли практически не используются ни для каких хозяйственных нужд. На них спонтанно произрастают сеgetальные и рудеральные сорные растения. Поэтому они являются мощным источником распространения многих карантинных, аллергенных, ядовитых и вредных видов на поля и необрабатываемые земли [4; 6; 7].

Нередко на склонах и пониженных местах перелогов произрастают деревья и кустарники, главным образом *Malus sylvestris* subsp. *praecox* (Pall.) Soó, *Pyrus communis* L., *Ulmus glabra* Huds., различные виды рода *Rosa* L., *Prunus spinosa* subsp. *dasyphylla* (Schur) Domin, *Caragana frutex* (L.) K. Koch и др.

Экологические и экономические последствия такого явления в большинстве случаев негативные и в будущем создадут существенные проблемы освоения или рекультивации этих земель [7-9].

Поэтому оптимизация использования, а в дальнейшем подъем, и окультуривание перелогов представляет собой важный резерв растениеводства [10; 11].

Цель исследований: установить причины редукции продуктивности, изменений видового и количественного состава фитоценозов разновозрастных перелогов, и разработать приемы оптимизации их использования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в течение 2004-2019 гг. на разновозрастном перелогe агрофирмы «Житница», расположенной на стыке Крынско-Нагольчанского сельскохозяйственного района Луганской области и Приазовского слабозасушливого района Ростовской области. Район проведения исследований характеризовался недостаточным среднегодовым количеством осадков (456 мм) и значительным количеством тепла (3643°C). Почвы перелога – средне- и сильносмытые черноземы на лессовидных суглинках.

Объектом исследований был перелог, который образовался с 2004 г на месте полевого

севооборота. Последней культурой на этом поле был подсолнечник, давший урожай семян 0,9 т/га.

В основу концепции исследования перелога было положено несколько предположений, базирующихся на известных фактах:

1) продуктивность перелога в начале его существования всегда ниже, чем агрофитоценоза;

2) участок почвы под перелогом может потенциально обеспечивать одинаковую продуктивность культурных и сеgetально-рудеральных растений;

3) потенциальные запасы семян сорных растений в почве под перелогом обеспечивают плотный стеблестой сеgetальных и рудеральных видов;

4) наличие рядом с перелогом участка с природной флорой позволяет ожидать, что соотношение между субдоминантами будет подобным с соотношением основных видов на перелогe, где доминирующим ранее было культурное растение;

5) причиной изменений количественно-видовой структуры травостоя и редукции продуктивности перелога могут быть водно-физические и химические свойства почвы.

Засоренность перелога вегетирующими сорными растениями устанавливали количественно-весовым методом путем наложения рамок размером 0,25 или 1 м² в 6-12 повторностях. Учет засоренности почвы семенами сорных растений осуществляли путем отмыкания их из почвенных образцов на ситах с диаметром отверстий 0,25 мм. Образцы отбирали ранней весной в слое почвы 0-30 см через каждые 10 см в 6 повторностях при помощи почвенного бура конструкции ВНИИ кукурузы [12].

Семенную продуктивность растений определяли на фиксированных участках, площадью от 1,0 до 9,0 м² с числом учетных экземпляров – 12-104 шт. [13].

Видовые названия растений приведены в соответствие с базой данных «Catalogue of Life» [14].

Содержание в почве легкогидролизуемого азота определяли по методике Тюрина-Кононовой, подвижного фосфора и обменного калия – по Чирикову [15; 16].

Объемную массу почвы исследовали послойно через каждые 10 см при помощи металлических гильз из полевой лаборатории И.М. Литвинова методом режущего цилиндра в 6 повторностях. Твердость почвы – при помощи твердомера Н.А. Качинского. Водопроницаемость почвы – в течение 5 часов методом малых заливаемых рам: внешних размером 50х50 см, внутренних – 25х25 см при уровне воды 5 см с двумя контролями на расстоянии между рамами 50 см. Влажность почвы – методом горячей сушки в термостате при 105°C до постоянной массы [17].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень обеспеченности почвы основными элементами питания растений на всех вариантах опыта мало различался или не различался. Так, в течение всего периода исследований несколько

более высоким он был лишь в поле севооборота. Среднее содержание легкогидролизуемого азота независимо от культуры, занимающей поле согласно схеме севооборота, находилось в пределах 39-46 мг/кг почвы, что соответствовало низкой или средней обеспеченности растений этим элементом, а фосфора (103-146 мг/кг) и калия (116-122 мг/кг) –

повышенной обеспеченности. Тогда как на перелог и степном участке содержание основных питательных веществ в пахотном слое почвы было несколько меньшим, чем в поле севооборота, но различия были незначительными и варьировали соответственно от низкого по азоту до повышенного по фосфору и калию (табл. 1).

Таблица 1. Динамика изменений химических и физических свойств почвы в полях перелога, степного участка и пашни, 2004-2019 гг.

Table 1. Dynamic pattern of chemical and physical soil properties in fields of fallow, steppe area and arable land, 2004-2019

Перелог Fallow	Водопроницаемость за 5 часов, мм Water permeability in 5 hours, mm	Слой почвы, см Soil layer, cm	Содержание в почве, мг/кг Soil content, mg/kg			Твердость, кг/см ² Firmness, kg/cm ²	Объемная масса, г/см ³ Unit weight, g/cm ³	Влажность, мм Humidity, mm
			NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Исходный Initial	486	0-10	40	140	120	17,1	1,21	19,2
		10-20	35	100	107	19,7	1,27	21,1
3 года 3 years	295	0-10	38	139	112	22,8	1,43	15,1
		10-20	36	101	89	24,4	1,48	18,3
7 лет 7 years	307	0-10	41	138	107	20,2	1,35	19,3
		10-20	36	101	86	24,0	1,37	20,9
10 лет 10 years	393	0-10	40	141	105	19,3	1,28	20,0
		10-20	36	99	88	21,6	1,30	21,4
13 лет 13 years	437	0-10	42	139	110	18,4	1,24	20,2
		10-20	37	100	89	20,3	1,26	21,5
16 лет 16 years	440	0-10	42	139	109	18,5	1,24	20,1
		10-20	36	102	88	20,3	1,26	21,6
Степной участок Steppe area	451	0-10	43	140	110	18,3	1,22	21,8
		10-20	37	102	88	20,0	1,25	22,7
Поле севооборота Crop rotation field	505	0-10	46	146	122	14,0	1,18	22,9
		10-20	39	103	116	16,3	1,23	24,6

То есть в основе изменений продуктивности перелога были заложены не химические, а физические процессы, происходящие в почве. Так, уже в течение первых трех лет формирования перелога почва уплотнилась на 0,21-0,22 г/см³ и объемная масса 0-20 см слоя достигла 1,43-1,48 г/см³, при оптимальных показателях 1,15-1,25 г/см³. Еще более заметные изменения были отмечены в показателях твердости почвы. В сравнении с исходными данными твердость 0-20 см слоя почвы увеличилась на 4,7-5,7 кг/см² и достигла 22,8-24,4 кг/см², что очевидно вызывалось разбуханием почвенных агрегатов после дождей и сильным иссушением их в засушливые периоды. При этом на природном степном участке в результате воздействия на почву корневых систем растений она не претерпевала каких-либо значительных изменений и не превышала 20,0-18,3 г/см³, а на ежегодно обрабатываемом поле севооборота – 14,0-16,3 кг/см².

Повышенная твердость и плотность почвы на перелог стали причиной ухудшения гидрофизических свойств почвы. Водопроницаемость почвы на трехлетнем перелог уменьшилась в сравнении с исходными показателями в 1,7 раза и характеризовалась как удовлетворительная, тогда как на степном участке и в поле севооборота она была

хорошей. При пятичасовой экспозиции почва впитывала и пропускала сквозь толщу горизонтов в среднем 59, 90 и 101 мм/час воды соответственно. При этом запасы влаги в 0-20 см слое почвы на перелог были удовлетворительными, но не превышали 33,4 мм, что на 11,3% меньше, чем на этом же поле в начале формирования перелога и на 22,9-31,2% меньше, чем на степном участке и поле севооборота.

Сравнение физических показателей почвы перелога в начальной его стадии и в последующие годы указывало на процессы постепенного разуплотнения ее. Так, способность почвы к восстановлению исходных параметров ее начиналось лишь на 7-10 год. Наиболее заметным это было по показателям твердости почвы, которая ежегодно уменьшалась в среднем на 0,47-0,58 кг/см², а к тринадцатому году формирования перелога она снизилась на 3,6-4,1 кг/см² или на 17,3-21,0% и фактически была такой же, как и на степном участке, где за счет растительных остатков на поверхности почвы и интенсивного развития корневых систем она не превышала 18,3-20,0 г/см². Наименьшая твердость почвы в течение всего периода исследований (14,0-16,3 г/см²) была в поле севооборота, что

обуславливалось многократными механическими рыхлениями.

Аналогичным образом изменялись и показатели объемной массы почвы. На перелогах 7-10 года она ежегодно уменьшалась в среднем на 0,11-0,19 г/см³, а на тринадцатый год формирования перелога приобретала равновесное состояние и составляла 1,24-1,26 г/см³.

Об улучшении гидрофизических условий свидетельствовали показатели водопроницаемости почвы. На перелог 7-10 года формирования суммарное количество воды, впитываемое и пропускаемое почвой, увеличилось на 98 мм и достигло за 5 часов экспозиции 393 мм. Тогда как на перелогах тринадцатого и шестнадцатого года формирования водопроницаемость почвы была практически одинаковой и составляла 87,4 и 88,0 мм/час, а на степном участке – 90,2 мм/час, что соответствовало оптимальному состоянию, обеспечивающему хорошее впитывание и удержание дождевых и талых вод и близкую к степным участкам влажность верхнего 0-20 см слоя почвы, которая была соответственно 40,2-41,4 мм и 44,5 мм.

Такие изменения в показателях гидрофизических свойств почвы в процессе формирования перелога, очевидно, были связаны с интенсивным развитием растительного покрова перелога. На выведенном из обработки поле при отсутствии приемов механического рыхления и подсева трав, формировались растительные сообщества, которые существенно отличались от травостоев обычных степных угодий и агрофитоценозов высокой удельной массой рудеральных и сеgetальных сорных растений. Видовой состав сорных растений перелогов определялся, прежде всего, потенциальной засоренностью почвы, семенной продуктивностью и плотностью растений, составляющих фитоценоз.

Так, если начальная потенциальной засоренности 0-30 см слоя почвы составляла 98 тыс. шт./м² семян сорных растений, то уже через три года она увеличилась в 4,5 раза и достигла 442 тыс. шт./м² жизнеспособных семян, в том числе в 0-10 см слое почвы 303 тыс. шт./м².

На трехлетнем перелог при средней плотности растений 56 шт./м² семенная продуктивность одного растения достигала 64,7 шт. семян, из которых 92% осыпалось на почву и за пределы поля не выносились. В травянистом покрове доминировали *Ambrosia artemisiifolia* L., *Lactuca serriola* L., *Chenopodium album* L., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Erigeron canadensis* L., *Consolida regalis* S.F. Gray, *Xanthium albinum* (Widd.) Scholz & Sukopp, *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Lactuca tatarica* (L.) C.A. Meyer и др. Всего 93 вида, из которых 84 были рудеральными или рудерально-сеgetальными, 7 – сеgetальными и 2 вида естественных степных фитоценозов. Проективное покрытие их достигало 78%, а воздушно-сухая масса надземной части растений – 228 г/м² или 2,28 т/га.

Наиболее целесообразным на этих перелогах было двух-трехразовое скашивание

растений до их обсеменения с использованием скошенной биомассы на зеленое удобрение или приготовления компоста, так как кормовая ценность такой биомассы была очень низкой вследствие наличия в ней ядовитых, вредных и малоценных в кормовом отношении видов (56-59%). При регулярных двухразовых скашиваниях сорных растений до их обсеменения потенциальная засоренность почвы ежегодно снижалась в среднем на 14,1% и через четыре года составляла 255 тыс. шт./м². Видовой состав фитоценоза уменьшился на 22 вида. Из травостоя выпадали *Fumaria schleicheri* Soyer-Willemet, *Buglossoides arvensis* (L.) I.M. Johnst., *Sinapis arvensis* L., *Lamium amplexicaule* var. *orientale* (Pacz.) Mennema, *Lappula patula* (Lehm.) Gürke, и др., но появлялись *Elymus repens* (L.) Gould, *Tanacetum vulgare* L., *Echium vulgare* L., *Polygonum aviculare* L. и некоторые другие. В составе травостоя уменьшалась доля *Berteroa incana* (L.) DC., *Ambrosia artemisiifolia*, *Securigera varia* (L.) Lassen, но увеличивалась – *Amaranthus albus* L., *Sisymbrium loeselii* L., *Vicia tenuifolia* Roth, *Melilotus officinalis* (L.) Pall. и др.

В последующие годы трансформация растительного покрова перелога происходила в направлении уменьшения видового состава и воздушно-сухой надземной биомассы растений, но увеличения проективного покрытия и плотности травостоя. Так, на перелогах 7-10 года формирования отмечалось уменьшение воздушно-сухой биомассы на 10,1% за счет снижения видового разнообразия однолетних грубостебельчатых высокорослых растений и увеличения невысоких, хорошо облиственных многолетних видов. Вследствие чего плотность травостоя и проективное покрытие увеличивались, а семенная продуктивность уменьшалась (табл. 2).

Оптимальным способом их эксплуатации был умеренный выпас или сенокосение. Растительный покров был на 62-68% представлен хорошо поедаемыми видами как при умеренно пастбищном, так и сенокосном использовании. При подкашиваниях несъеденных остатков растений после выпаса, удельная масса кормовых растений возрастала, без подкашиваний – уменьшалась.

Перелог старше 7-10 лет характеризовались преимущественно многолетним типом растительности с невысокой (от 190 до 203 г/м²) биомассой с примерно равным по массе соотношением злаков и разнотравья. Видовой состав их был представлен преимущественно типичными степными видами: *Achillea collina* J. Becker ex Rchb., *Alyssum desertorum* Stapf, *Euphorbia stepposa* Zoz ex Prokh., *Artemisia austriaca* Jacq., *Astragalus austriacus* Jacq., *Lathyrus tuberosus* L., *Lotus corniculatus* L., *Medicago falcata* L., *Vicia tenuifolia* Roth, *Scabiosa ochroleuca* L., *Tragopogon dubius* subsp. *major* (Jacq.) Vollmann, *Echium vulgare* L., *Salvia dumetorum* Andr. ex Besser, *S. nutans* L., *Poa bulbosa* L., *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Bromus riparius* Rehmman, *Stipa capillata* L., *S. lessingiana* Trin. & Rupr., *S. tirsia* Steven и др. Главное направление их использования – пастбищное, в отдельные годы, благоприятные по увлажнению, – сенокосное.

Таблица 2. Трансформация видового и количественного состава перелога травянистого типа зарастания, 2004-2019 гг.

Table 2. Transformation of species and quantitative composition of grassy type fallow, 2004-2019

Показатели Indicators	Исход- ный Initial	Перелог Fallow					Степной участок Steppe area	Поле севообо- рота Crop rotation field
		3 года 3 years	7 лет 7 years	10 лет 10 years	13 лет 13 years	16 лет 16 years		
Плотность растений, шт./м² Plant density, pcs.	43	56	88	95	92	97	98	36
Число видов растений, шт. Number of plant species, pcs.	25	93	71	28	27	28	53	31
Проективное покрытие, % Projective coverage, %	64	78	91	96	98	100	100	89
Надземная масса, г/м² Overground weight, g/m ²	85	228	205	203	201	190	185	96
Семенная продуктивность 1 растения, тыс. шт. Seed productivity of one plant, thousand pieces	64,7	65,8	54,8	23,5	11,2	6,4	5,8	48,9
Семян сорных растений, тыс. шт./ м² Weed seeds, thousand pieces/m ²	334	475	203	92,1	17,2	9,7	8,5	17,4
Потенциальная засоренность слоя: тыс. шт./м² Potential weed infestation of the layer: thousand pieces/m ²	0-10 см 0-10 cm	46	303	151	52	43	42	39
	10-20 см 10-20 cm	34	102	78	51	36	19	11
	20-30 см 20-30 cm	18	37	26	17	12	8	5
	0-30 см 0-30 cm	98	442	255	120	91	69	55

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В степных зонах в основе изменения продуктивности перелога заложены физические процессы, происходящие в почве. В первые 3-4 года после выведения участка под перелог на нем отмечается повышение твердости и плотности почвы, ухудшение ее гидрофизических свойств. В травянистом покрове доминируют рудеральные и рудерально-сегетальные виды растений. Поэтому оптимальным в это время является двух-трехкратное скашивание травостоя до обсеменения растений с использованием скошенной биомассы на зеленое удобрение или для изготовления компостов. В последующие 4-7 лет отмечаются процессы постепенного разуплотнения и приобретения почвой равновесного физического состояния, что, очевидно, связано со снижением видового разнообразия однолетних и увеличением многолетних видов растений. Оптимальным приемом их использования является умеренный выпас или сенокосение. Перелог старше 8-10 лет характеризуются преимущественно многолетним типом растительности с примерно равным по массе соотношением степных злаков и разнотравья. Такие перелог пригодны для выпаса скота и сенокосения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чибилев А.А. Структура земельного фонда и образование неиспользуемых сельскохозяйственных земель в регионах Степной зоны Европейской части России // Успехи современного естествознания. 2017. N 10. С. 127-133.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации в 2015 г. Москва: ФГБНУ Росинформагротех, 2017. 196 с.
3. Минкина А.В., Лопырев М.И., Недикова Е.В. Влияние соотношения средостабилизирующих и дестабилизирующих земельных угодий на порогуустойчивость агроландшафтов и плодородие почв // Вестник Воронежского государственного университета. 2016. N 2 (49). С. 60-65.
4. Конішук В.В., Домбровська С.С. Трансформація рослинного покриву перелогів Лівобережного степу України // Агроєкологічний журнал. 2014. N 2. С. 85-91.
5. Ларина С.Ю. Сегетальная растительность заброшенных полей // Вестник защиты растений. 2008. N 4. С. 66-68.
6. Абаимов В.Ф., Ледовский Н.В., Ходячих И.Н. Анализ стратегий растительности залежей в сухостепной зоне Южного Урала // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. N 10 (120). С. 54-59.
7. Конопля Н.И., Мошненко-Высоцкий А.А., Ковалева О.С. Флористический состав залежей Донбасса в процессе

сукцессий // Материалы международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса», Ставрополь, 18-19 сентября, 2015. С. 701-704.

8. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. Обоснование приемов обработки почвы при освоении залежных земель // Вестник Воронежского государственного университета. 2020. N 1 (64). С. 28-35.

9. Boykov V.M., Startsev S.V., Protasov A.A., Pavlov A.V., Nesterov E.S. Technology of the main tillage of the abandoned fields // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Conference on Innovations and Rural Development 18-19 April 2019. Russia, Kurgan, 2019. V. 341. N 012132. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012132

10. Volkov C.H., Cherkashina E.V. Transfer info use of unused agricultural lands: significance, challenges, solutions // International Agricultural Journal. 2018. V. 61 (4). N 4. P. 28-38.

11. Smaliychuk A., Muller D., Prishchepov A.V., Levers C., Kruhlov I., Kuemmerle T. Recultivation of abandoned agricultural lands in Ukraine: patterns and drivers // Global Environmental Change. 2016. V. 38. P. 70-81. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.02.009

12. Фисюнов А.В. Методические рекомендации по учету и картированию засоренности посевов. Днепропетровск: ВНИИ, 1974. 71 с.

13. Курдюкова О.Н., Тышук Е.П. Методика определения семенной продуктивности сорных растений // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. N 1. С. 130-138.

14. Catalogue of Life: 2020-02-24: indexing the world's known species. URL:

<https://www.catalogueoflife.org/col/details/> (дата обращения: 16.04.2020)

15. Агрохимические методы исследования почв. Москва: Наука, 1975. 656 с.

16. Гетманец А.Я., Телятников Н.Я., Пашова В.Т., Чернявская Н.А., Ярошевич И.В. Методические указания по проведению агрохимических анализов почвы и растений. Днепропетровск: ВНИИ кукурузы, 1978. 60 с.

17. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.

REFERENCES

1. Chibilev A.A. Structure of the land fund and formation of unused agricultural lands in the regions of the Steppe zone of the European part of Russia. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Progress of Modern Science]. 2017, no. 10, pp. 127-133. (In Russian)

2. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya v Rossiiskoi Federatsii v 2015 g.* [Report on the status and use of agricultural lands in the Russian Federation in 2015]. Moscow, Rosinformagroteh Publ., 2017, 196 p. (In Russian)

3. Minkina A.V., Lopyrev M.I., Nedikova E.V. The effect of the ratio of environmentally stabilizing and destabilizing lands on the threshold stability of cultivated lands and soil fertility. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State University]. 2016, no. 2 (49), pp. 60-65. (In Russian)

4. Konishchuk V.V., Dombrov'ska S.S. Transformation of the vegetation cover of fallows of the Left-Bank Steppe of Ukraine. *Agroekologichnyi zhurnal* [Agroecological Journal]. 2014, no. 2, pp. 85-91. (In Ukrainian)

5. Larina S.Yu. Segetal vegetation of abandoned fields. *Vestnik zashchity rastenii* [Plant Protection Bulletin]. 2008, no. 4, pp. 66-68. (In Russian)

6. Abaimov V.F., Ledovskii N.V., Khodyachikh I.N. Analysis of strategies for vegetation of deposits in the Dry Steppe zone of the Southern Urals. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University]. 2014, no. 10 (120), pp. 54-59. (In Russian)

7. Konoplya N.I., Moshnenko-Vysotskii A.A., Kovaleva O.S. Floristicheskii sostav zalezhei Donbassa v protsesse suksessii [Floristic composition of deposits of Donbass in succession process]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Innovatsionnye razrabotki molodykh uchennykh – razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa», Stavropol', 18-19 sentyabrya, 2015* [Proceedings of International Conference "Innovative developments of young scientists in the development of agricultural sector Innovative developments of young scientists in the development of agricultural sector", Stavropol, 18-19 September, 2015]. Stavropol, 2015, pp. 701-704. (In Russian)

8. Aldoshin N.V., Vasil'ev A.S., Golubev V.V. Justification of tillage methods for developing fallow lands. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State University]. 2020, no. 1 (64), pp. 28-35. (In Russian)

9. Boykov V.M., Startsev S.V., Protasov A.A., Pavlov A.V., Nesterov E.S. Technology of the main tillage of the abandoned fields. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Conference on Innovations and Rural Development, 18-19 April 2019. Russia, Kurgan, 2019, vol. 341, no. 012132. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012132

10. Volkov C.H., Cherkashina E.V. Transfer info use of unused agricultural lands: significance, challenges, solutions. *International Agricultural Journal*, 2018, vol. 61 (4), no. 4, pp. 28-38.

11. Smaliychuk A., Muller D., Prishchepov A.V., Levers C., Kruhlov I., Kuemmerle T. Recultivation of abandoned agricultural lands in Ukraine: patterns and drivers. *Global Environmental Change*, 2016, vol. 38, pp. 70-81. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.02.009

12. Fisyunov A.V. *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu i kartirovaniyu zasorennosti posevov* [Guidelines for recording and mapping of weed infestation]. Dnepropetrovsk, VNIK Publ., 1974, 71 p. (In Russian)

13. Kurdyukova O.N., Tyshchuk E.P. Methodology for determining seed productivity of weeds. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources]. 2019, vol. 55, no. 1, pp. 130-138. (In Russian)

14. Catalogue of Life: 2020-02-24: indexing the world's known species. Available at: <https://www.catalogueoflife.org/col/details/> (accessed 16.04.2020)

15. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods of soil research]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 656 p. (In Russian)

16. Getmanets A.Ya., Telyatnikov N.Ya., Pashova V.T., Chernyavskaya N.A., Yaroshevich I.V. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu agrokhimicheskikh analizov pochvy i rastenii* [Guidelines for conducting agrochemical analyzes of soil and plants]. Dnepropetrovsk, VNIK Publ., 1978, 60 p. (In Russian)

17. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochvy* [Research methods for soil physical properties]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986, 416 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга Н. Курдюкова собрала и проанализировала данные, написала рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga N. Kurdyukova collected and analyzed the data, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

Ольга Н. Курдюкова / Olga N. Kurdyukova <https://orcid.org/0000-0001-7500-8275>

Оригинальная статья / Original article

УДК 502.15(571.62)

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-99-108

Роль особо охраняемых природных территорий в формировании комфортной городской среды

Галина Ю. Морозова, Ирина Д. Дебелая

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Контактное лицо

Галина Ю. Морозова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН; 680000 Россия, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56.
Тел. +7(4212)704293
Email morozova-ivep@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1183-3430>

Формат цитирования

Морозова Г.Ю., Дебелая И.Д. Роль особо охраняемых природных территорий в формировании комфортной городской среды // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 99-108. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-99-108

Получена 3 декабря 2020 г.

Прошла рецензирование 10 июля 2021 г.

Принята 5 сентября 2021 г.

Резюме

Цель: определение роли особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в формировании комфортной городской среды.

Методы. Проведены маршрутно-флористические описания, инвентаризация насаждений, анализ нормативно-правовых материалов, расчёт экосистемных услуг.

Результаты. ООПТ как уникальные природные объекты служат противовесом агрессивной урбосреде, а также инструментом стабилизации экологического состояния территории и сохранения здоровья населения. Впервые с позиции системного подхода проанализирована роль ООПТ в разных областях городской жизни, определяющих комфортность городской среды. Раскрыта роль ООПТ в формировании комфортной городской среды Хабаровска. Сеть ООПТ Хабаровска включает 29 объектов – 585,45 га (1,51% от общей площади города). Градостроительное освоение территории определило специфику типологии ООПТ с выделением 6 категорий: природно-рекреационные комплексы, питомник, парковые зоны, памятники природы, природный парк, скверы. Расчёт экосистемных услуг, выполненный на примере ООПТ местного значения «Ореховая сопка» по способности этой территории перехватывать воду в виде осадков, повысил экономическую и экологическую ценность охраняемых земель.

Выводы. ООПТ – объекты многофункционального назначения, роль которых при формировании комфортной городской среды высока и проявляется в переплетающихся между собой архитектурно-градостроительной, экономической, социальной и экологической сферах городской жизни. Незначительная доля ООПТ в общей площади г. Хабаровска свидетельствует о необходимости расширения сети ООПТ. Предложено при разработке индекса качества городской среды использовать показатель «доля ООПТ в общей площади города».

Ключевые слова

Комфортность городской среды, индекс качества городской среды, городские особо охраняемые природные территории, Хабаровск, экосистемные услуги.

The role of protected areas in the formation of a comfortable urban environment formation

Galina Yu. Morozova and Irina D. Debelaya

Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Principal contact

Galina Yu. Morozova, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 56 Dikopoltseva St, Khabarovsk, Russia 680000.

Tel. +7(4212)704293

Email morozova-ivep@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1183-3430>

How to cite this article

Morozova G.Yu., Debelaya I.D. The role of protected areas in the formation of a comfortable urban environment formation. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 99-108. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-99-108

Received 3 December 2020

Revised 10 July 2021

Accepted 5 September 2021

Aim: to determine the importance of protected areas (PA) in the formation of a comfortable urban environment formation.

Methods. The following activities have taken place: collection of the route-floristic descriptions, inventory of plantations, analysis of regulatory and stock materials, determination of the relative living condition of stands and calculation of ecosystem services.

Results. PAs as unique natural objects have become a counterbalance to aggressive urban environments and serve as a tool for stabilising the ecological state of a territory as well as for keeping its population healthy. For the first time, in accordance with a systematic approach, the role of protected areas in different parts of urban life that define the comfort of an urban environment was analysed. The network of PAs of Khabarovsk includes 29 objects with a total area of 585.45 ha, which amounts to 1.51% of the total city area. The PA's specifics were determined according to the urban planning and economic development of the territory and were divided into 6 categories: natural recreational complexes, nurseries, park zones, natural monuments, nature parks and public gardens. According to the systematic approach, we have analysed the role of protected areas in the formation of a comfortable urban environment for Khabarovsk. The example of the "Orekhovaya Sopka", a protected area of local importance with an ability to intercept water in the form of precipitation, made it possible to increase the economic and ecological value of the protected urban lands in ecosystem service calculations.

Conclusions. Urban PAs are protected natural objects with multipurpose use. The main function of PAs is to form a comfortable urban environment which is closely intertwined with architectural and urban planning and the economic, social and environmental spheres of urban life. The insignificant share of PAs in the total area of Khabarovsk indicates the necessity to expand their areas. It is proposed to use the indicator "PA's share in the total area of a city" in urban environment quality index development.

Key Words

Comfort of the urban environment, quality index of the urban environment, urban protected areas, Khabarovsk, ecosystem services.

ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы и масштабы урбанизации в конце XX – начале XXI вв. обусловили необходимость создания комфортных условий для жизни населения в городах. По материалам доклада Глобального института «Мир городов: картография экономической мощи городов» к 2025 г. четвертая часть всего населения мира будет проживать в 600 крупнейших городах [1]. Природная среда городов подвергается интенсивному негативному антропогенному воздействию, источниками которого являются объекты энергетики и промышленности, масштабное строительство, инфраструктурная и транспортная насыщенность, перенаселенность. В большинстве городов РФ возникают трудности с организацией комфортного городского пространства. Причинами этих затруднений служат дефицит региональных и муниципальных бюджетов, природные, исторические и социально-культурные особенности городов, слабое проявление инициативы населения в диалоге с властью. Для выхода из сложившейся ситуации в РФ с 2017 г. реализуется приоритетный проект «Формирование комфортной городской среды», направленный на обеспечение комплексного развития современной городской инфраструктуры с учетом мнения горожан, совершенствование нормативно-правовой базы, подготовку квалифицированных кадров и распространение успешного опыта городов [2]. Для оценки комфортности городской среды используют прямые (показатели здоровья и заболеваемости населения, продолжительность жизни и др.) и косвенные признаки (соотношение площадей естественных и трансформированных ландшафтов, сохранение биологического разнообразия, качество природных сред, общая площадь озеленённых территорий, уровень потребления ресурсов и их вторичное использование, экологичность городской инфраструктуры и др.) [3]. Комфортность городской среды рассматривается с социально-экономических [4] и управленческих [5] позиций, а также с учетом экологических аспектов урбанизированных территорий. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) встроены в зелёную инфраструктуру [6; 7] и экологический каркас городов [8], являются центрами сохранения биоразнообразия [9-12] и предоставления населению экосистемных услуг [13; 14], они определяют облик городского ландшафта. Деятельность ООПТ федерального, регионального и местного значения встроена не только в систему глобальной охраны природы [15], но и служит инструментом стабилизации экологической ситуации территории.

Актуальность изучения городских ООПТ объясняется возрастаньем их роли в формировании комфортной среды в условиях стремительной урбанизации. Функционирование ООПТ в условиях высоких природных и антропогенных рисков, тесном контакте с гражданской и промышленной застройкой, инженерно-транспортной инфраструктурой и интенсивной рекреационной нагрузкой крайне осложнено. Эти уникальные городские земли экологического назначения оказывают прямое или

опосредованное воздействие на градостроительную, архитектурно-планировочную, социальную, экономическую и экологическую сферы городской жизни. На охраняемых участках представлены фрагменты сохранившихся и в разной степени трансформированных природных ландшафтов.

Особенности организации и функционирования сети ООПТ в городах представляют интерес как для российских [4; 5; 8; 16], так и зарубежных исследователей [12; 17]. В настоящий момент практически не изучено их влияние на формирование комфортной городской среды как в староосвоенных городах Российской Федерации, так и в регионах нового освоения, к которым относится Дальневосточный федеральный округ (ДФО).

Цель данного исследования заключается в определении роли ООПТ в формировании комфортной городской среды.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основе работы лежат многолетние исследования ООПТ г. Хабаровска с использованием метода маршрутно-флористического описания и материалы инвентаризации городских насаждений (2002-2019 гг.). Изучена видовая структура растительных сообществ ООПТ, определено относительное жизненное состояние древостоев [18]. Пример оценки экосистемных услуг включал расчёт способности ООПТ местного значения – природно-рекреационный комплекс «Месторождение кремневых сланцев «Кировское» (Сопка Ореховая)» перехватывать воду в виде осадков, тем самым очищая ее, препятствуя почвенной эрозии и разгружая городскую ливневую канализацию по формуле [19]:

$$R_e = (\Delta C_r \times r) / S_l,$$

R_e – оценка стоимости водоохранной функции насаждений (руб.);

ΔC_r – объем «задержанной» насаждениями воды (м^3);

r – стоимость 1 м^3 воды для данной экономической зоны (руб./ м^3);

S_l – лесистость водосборной площади (%).

Проанализированы нормативно-правовые документы, планы инвестиционного развития ООПТ, кадастровые паспорта, топографические и тематические карты, статистические и фондовые материалы Управления по охране окружающей среды и природных ресурсов администрации городского округа «Город Хабаровск», Института водных и экологических ДВО РАН, Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейшим критерием качества городской среды является ее комфортность, то есть создание оптимальных условий для жизни, труда и отдыха населения [3]. Н.Ф. Реймерс [20] определяет комфортность как субъективное чувство и объективное состояние полного здоровья при определенных условиях окружающей среды, подчёркивая значимость природных и социально-экономических показателей. К главным задачам на пути создания комфортной среды относятся

улучшение качества окружающей среды за счет экологически ориентированных методов управления, экологизация экономической деятельности, стабилизации и улучшения экологического состояния территории. В обеспечении экологической комфортности в городах помимо внедрения современных «чистых» промышленных технологий и интеллектуальных транспортных систем, большую роль играют экологическое планирование с сохранением крупных озеленённых массивов и конструирование городских ландшафтов и экосистем, приближенных по своей структуре к природным. Такой подход соответствует концепции конвергентного (эколого-градостроительного) территориального планирования города [21]. Инвестиции в природный капитал и экосистемные подходы, например, сохранение и развитие крупных городских озеленённых пространств, в том числе ООПТ, могут в перспективе быть экономически более выгодными по сравнению с техническими решениями [14].

В приоритетном проекте «Формирование комфортной городской среды» выделено направление «Состояние среды озеленённых и прибрежных пространств». Для оценки его параметров, согласно методике [22], предлагаются следующие критерии: доля озеленённых территорий общего пользования (парки, сады и др.) в общей площади насаждений; уровень озеленения; состояние зелёных насаждений; привлекательность озеленённых территорий; разнообразие услуг на озеленённых территориях; доля населения, имеющего доступ к озеленённым территориям общего пользования в общей численности населения. На наш взгляд, в предложенной методике не учтен такой важный показатель как «доля ООПТ в общей площади города», который свидетельствует о его устойчивом развитии.

По классификации Международного союза охраны природы, ООПТ городов относятся к VI категории – охраняемая территория с устойчивым использованием природных ресурсов [15]. Прямое сравнение категорий ООПТ в разных городах нашей страны не целесообразно из-за различий природных условий, длительности освоения территории, уровня социально-экономического развития, культурно-исторических традиций и др. Анализируя показатель общей площади ООПТ в городах лесной зоны, можно отметить, что, например, в Екатеринбурге развитая сеть ООПТ занимает 17,0% от площади города [23], в Перми, где охраняются долинные ландшафты и уникальные городские леса – эталоны широколиственно-елово-пихтовых лесов Пермской области, в 2017 г. сеть ООПТ составила 13,6% [24]. В Магадане увеличение площади ООПТ до 9,8% произошло за счёт включения береговой линии в состав охраняемых территорий [25].

Значение ООПТ в оптимизации городской среды высоко [6; 8; 17], поскольку они противостоят агрессивной урбанизированной среде. ООПТ функционируют в условиях «стрессов урбанизации», снижая природные и антропогенные риски. Неблагополучное экологическое окружение и

интенсивное использование охраняемых участков привели к быстрой деградации природных экосистем. В первую очередь необратимым изменениям подвергся растительный покров, как по видовому составу, так и по жизненному состоянию и выполняемым в экосистеме функциям.

Оценка комфортности городской среды рассматривается в архитектурно-градостроительной, экономической, социальной и экологической сферах. Каждая из них включает множество аспектов, которые тесно взаимодействуют между собой, образуя как прямые, так и обратные связи (рис. 1). Ориентация на сохранение уникальных островков природы показывает, что экологическая компонента пронизывает всю ткань жизни современного города. С позиции системного подхода нами проанализирована роль ООПТ в формировании комфортной городской среды на примере административного центра Хабаровского края.

Специфика современного развития территории ДФО заключается в экстремальных природных условиях, приоритете развития крупных городов на фоне снижения роли остальных населенных пунктов (нарастающие агломерационные процессы), отсутствии буферных зон между производственными объектами и жилыми кварталами в городах, неблагоприятных соотношениях селитебных и промышленных зон в расчёте на одного человека, резком увеличении городского автотранспорта. Все это в комплексе обуславливает низкое качество городской среды [26] при наличии значительного свободного пространства, что позволяет отнести дальневосточный регион к числу неблагополучных, например, по продолжительности жизни населения, темпам миграционного оттока и экологической ситуации [27].

Военный пост «Хабаровка», основанный на границе с Китаем в 1858 г. солдатами 13-го линейного сибирского батальона под командованием капитана Я. Дьяченко, благодаря расположению на пересечении транспортных путей и бурному экономическому развитию, в 1880 г. получил статус города. Современный Хабаровск – военно-стратегический, социально-экономический, транспортно-логистический, культурный, образовательный, спортивный и туристический центр общегосударственного значения. По данным Росстата, общая площадь городских земель – 388,7 км², численность населения Хабаровска на 01.01.2020 г. – 616372 чел. Основными отраслями материального производства являются промышленность (электроэнергетика, переработка нефти, судостроение, строительная и пищевая отрасли), транспорт и связь.

Архитектурно-планировочная структура Хабаровска во многом определена его географическим положением: расположением в центральной части заболоченной Среднеамурской низменности на высоком правом берегу и островах пограничной р. Амур; в зоне хвойно-широколиственных лесов. Формирование городского пространства развивалось от почти повсеместного уничтожения коренного растительного покрова до

осознания необходимости сохранения фрагментов природных ландшафтов и реконструкции техногенных земель под парки, сады и скверы. Согласно государственному реестру ООПТ по состоянию на 2021 г., в Хабаровске насчитывается 29 ООПТ общей площадью 585,45 га (рис. 2), из них 5 ООПТ краевого

значения занимают площадь в 212,43 га; 24 ООПТ местного значения – 373,02 га. В сеть ООПТ Хабаровска вошли все значительные по площади зелёные массивы, составляющие лишь 1,51% от общей площади города [28].

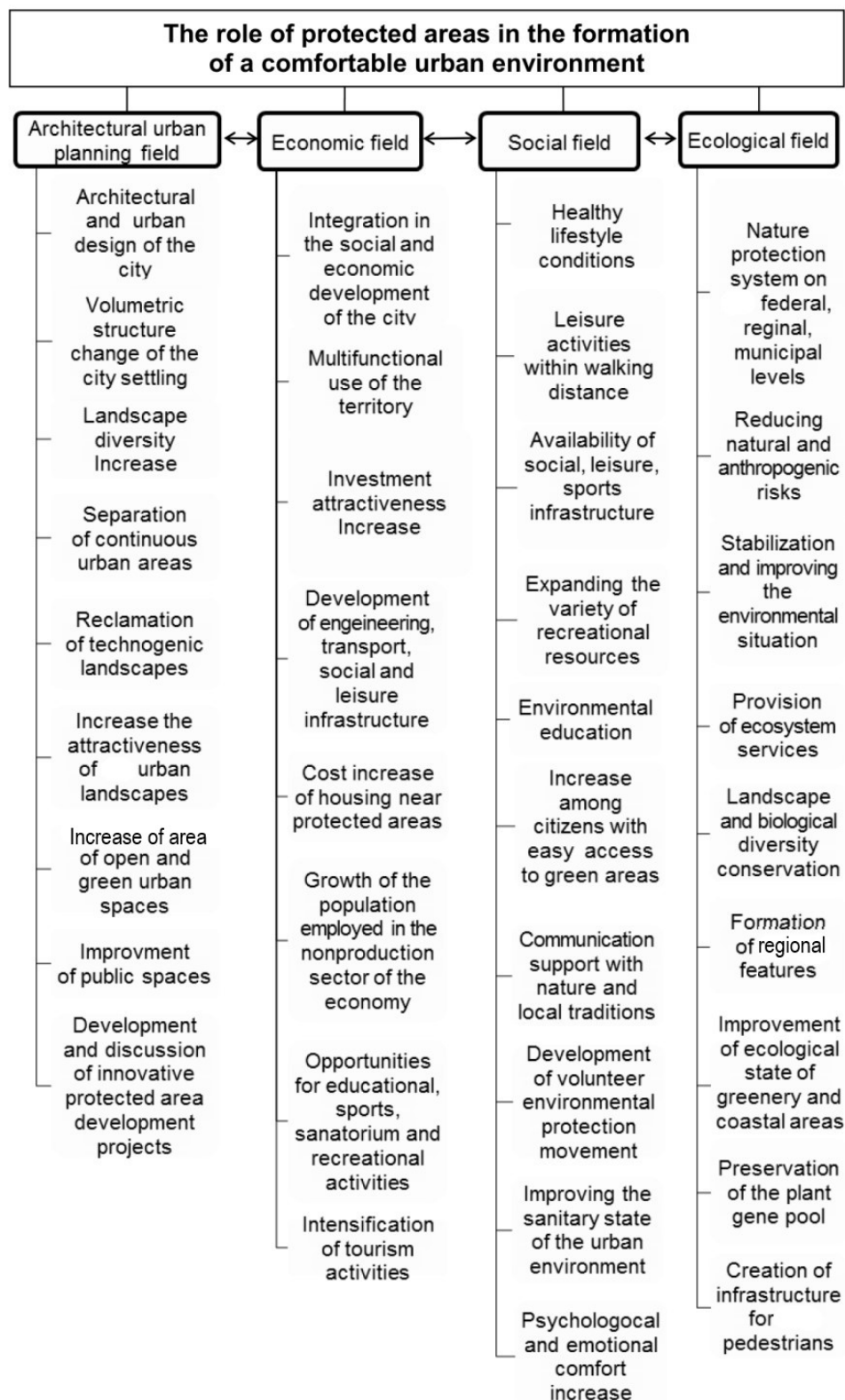


Рисунок. 1. Роль особо охраняемых природных территорий в формировании комфортной городской среды
Figure 1. Role of protected areas in the formation of a comfortable urban environment

Ориентация на формирование комфортной городской среды диктует необходимость увеличения площади ООПТ, что актуально для многих городов лесной зоны [8]. Анализ кадастровых паспортов показал, что только 11 ООПТ Хабаровска (295,0 га) организованы на участках природных ландшафтов разной степени трансформации с сохранившимися фрагментами естественной растительности, остальные – искусственными зелёными древесно-кустарниковыми насаждениями. Площадь охраняемых объектов варьирует от 0,4 (скверы) до 117,0 га (Питомник

декоративных культур). В сети ООПТ Хабаровска связующими элементами выступают долины р. Амур и малых рек города, открытые пространства, внутриквартальное и линейное озеленение инженерно-транспортной инфраструктуры. В Хабаровске из 24 ООПТ местного значения площадь 21 объекта не превышает 25 га. Несмотря на простираение города вдоль р. Амур почти на 45 км, отсутствуют крупные (более 25 га) прибрежные рекреационные зоны (рис. 2).

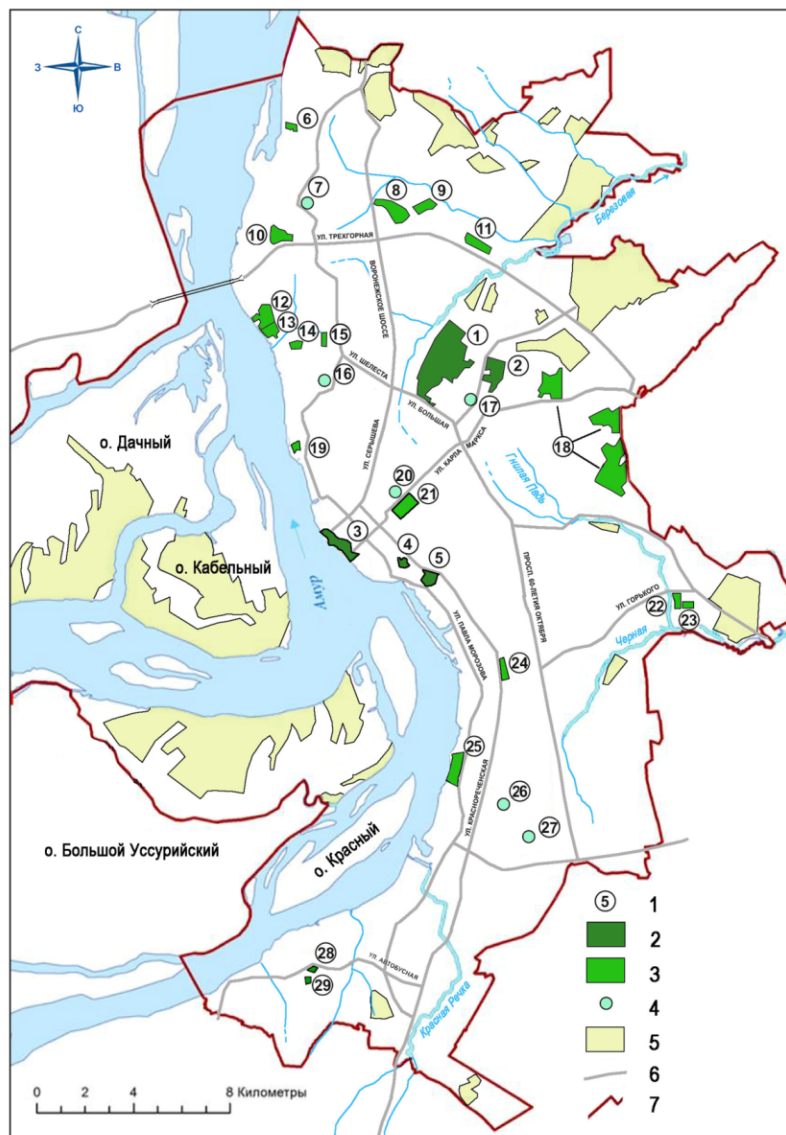


Рисунок. 2. Схема ООПТ города Хабаровска

1 – номер ООПТ; 2 – ООПТ краевого значения; 3 – ООПТ местного значения с площадью > 2 га; 4 – ООПТ местного значения с площадью < 2,0 га; 5 – земли сельскохозяйственного назначения; 6 – автодороги; 7 – граница г. Хабаровска

Figure. 2. Scheme of protected areas of Khabarovsk city

1 – number of protected areas (PAs); 2 – PAs of regional value; 3 – PAs of local value with an area > 2 ha; 4 – PAs of local value with an area < 2.0 ha; 5 – agricultural land; 6 – roads; 7 – border of Khabarovsk city

Специфика типологии категорий ООПТ г. Хабаровска обусловлена характером хозяйственного освоения территории. Выделено 6 индивидуальных категорий: природно-рекреационные комплексы, питомник,

парковые зоны, памятники природы, природный парк, скверы. ООПТ «Питомник декоративных культур» (117,0 га) включен в природно-аграрный комплекс Хабаровска. В дендрарии и питомниках

им. П.Г. Шуранова и А.М. Лукашова сохраняется генофонд дальневосточных видов растений и сортов фруктовых деревьев.

При участии всех категорий ООПТ формируется объемно-пространственная структура города, которая снижает антропогенное воздействие и усиливает природный потенциал территории, повышает ландшафтное разнообразие, что в целом положительно сказывается на его комфортности. Неравномерный характер распределения ООПТ по районам Хабаровска, обусловленный исторически сложившимися условиями градостроительства, предотвращает слияние застроенных территорий в единый урбанизированный ареал.

Выполнение природоохранной и санитарно-гигиенической функций остаются приоритетными для городских ООПТ, несмотря на их многофункциональное использование. Это одно из условий создания безопасной и комфортной городской среды; сохранения биоразнообразия; регулирования микро- и мезоклимата; очищения атмосферного воздуха и производства кислорода; снижения шума, охраны почвенного покрова, создания привлекательной визуальной среды и др. Повышение устойчивости урбозкосистем посредством сохранения биоразнообразия в сети ООПТ [9; 29] направлено на сохранение здоровья населения [5]. В пределах ООПТ находятся не только уникальные, но и эталоны типичных региональных природных комплексов. Под объекты отводят городские земли, не только не утратившие экологическую ценность, но и нарушенные или техногенные участки, на которых, повсеместно наблюдается экспансия рудеральных растений в современный городской ландшафт [30; 31], перспективные для их экологической реставрации. Широкий спектр категорий ООПТ способствует увеличению функционального разнообразия городской среды, приближая жизнь горожан к природе, повышает доступность социально-досуговой и спортивной инфраструктуры, поддерживает и сохраняет местные традиции. В сеть охраняемых объектов включены фрагменты сохранившейся лесной естественной растительности, участки с искусственными посадками, которые придают дальневосточный колорит рекреационным пространствам. Однако в городе отсутствуют луговые, болотные, водные особо охраняемые природные территории.

Уникальные ландшафты сохранились в пойме р. Амур на ООПТ «Парковая зона военного санатория Амурский», организованной в 1937 г. Коренная растительность здесь представлена смешанными дубняками с типичным набором дальневосточных лесных кустарников и трав, ясенёвыми и ясенёво-ильмовыми сообществами. Естественные фитоценозы в сочетании с посадками хвойных растений и участками заброшенных фруктовых садов формируют благоприятную экологическую обстановку не только для реабилитации пациентов санатория, но и оздоровления среды прилегающих микрорайонов. Сочетание естественных фитоценозов и искусственных растительных группировок с относительно высоким уровнем биоразнообразия отмечено в парковой зоне

детского санатория «Богдановка». Выделение земель под детский противотуберкулёзный диспансер в 1927 г. способствовало не только лечению маленьких горожан и улучшению санитарно-гигиенического состояния городской среды, но и сохранению на площади 7,2 га смешанных дубняков и ильмово-ясенёвых сообществ с многоярусной структурой и разнообразным набором подпологовых синузий, являющихся эталонами широколиственных и смешанных лесов Приамурья.

В составе дендрофлоры всех ООПТ Хабаровска отмечено 59 видов деревьев и 58 видов кустарников и лиан, что приближается к показателю природного биоразнообразия, так как аборигенная лесная растительность окрестностей города насчитывает 130 видов. Согласно нашим исследованиям, например, видовая структура насаждений «Парка Динамо» представлена 44 видами древесных растений и 25 видами кустарников. Здесь преобладают лиственные породы (89,6% всех деревьев), доля хвойных составляет 10,4%. Доминируют несколько видов – ильм мелколистный (*Ulmus pumila* L.) – 19% всех деревьев в парке, ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) – 15,8%, тополь Симона – (*Populus simonii* Carriere) – 10,2%, клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) – 7,1%. В древесных насаждениях ООПТ «Парк Динамо» выявлено 66,9% здоровых растений, 19,7% – ослабленных и 11,5% – угнетенных. Сухостойные деревья в парке составили 1,9% [6]. По шкале оценки относительного жизненного состояния насаждений [18], древостой в парке характеризовался как здоровый (коэффициент относительного жизненного состояния равен 85,5%). Отмечено, что при длительной высокой рекреационной нагрузке изменяется объемно-пространственная структура насаждений, открытые пространства зарастают порослью рудеральных и инвазионных видов, что представляет собой первичную сингенетическую сукцессию [31]. Высокий природный потенциал ООПТ города является базой для экологического образования населения.

Деятельность ООПТ недостаточно интегрирована в социально-экономическое развитие Хабаровска. Рекультивация техногенных ландшафтов восполнит дефицит земель экологического назначения, расширит спектр рекреационных ресурсов. Расположенная в районе интенсивного жилищного строительства ООПТ местного значения – природно-рекреационный комплекс «Месторождение кремневых сланцев «Кировское» (Сопка Ореховая)» имеет значительную площадь (47,2 га), холмистый рельеф с фрагментами сохранившихся дубняков, что перспективно для создания рекреационной зоны многофункционального назначения. Создание парковой пешеходной инфраструктуры, развитие экстремальных видов спорта, туризма, экологического образования и просвещения привлечет инвесторов и повысит комфортность проживания горожан. Кроме того, восстановление лесных фитоценозов на Ореховой сопке приведет к повышению ценности охраняемой территории за счет прямого использования (рекреационная, эстетическая, научно-образо-

вательная ценность) и к увеличению стоимости экосистемных услуг (регулирование климата, газового состава воздуха, стока воды, защита от эрозии и др.). Расчёт показывает [19], что монетизация только одной экосистемной услуги – водоохранной функции леса на ООПТ «Ореховая Сопка» на озеленённой площади 141500 м², при среднегодовом количестве осадков 673 мм, с учетом лесистости водосборной площади в 30% и стоимости 1 м³ воды по Налоговому кодексу РФ, входящей в состав бассейна р. Амур – 0,26 руб. составляет 49808,0 руб.

ВЫВОДЫ

Городские ООПТ – уникальные земли многофункционального назначения, роль которых при формировании комфортной городской среды высока и проявляется в разных сферах городской жизни – архитектурно-градостроительной, экономической, социальной и экологической.

Доля ООПТ Хабаровска составляет всего лишь 1,51% от общей площади города, что свидетельствует о необходимости как увеличения площади этих городских земель многофункционального назначения, так и повышения ландшафтного разнообразия путем создания луговых, болотных, водных охраняемых объектов.

Для оценки эффективности реализации приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды» при разработке индекса качества городской среды необходимо включить показатель «доля ООПТ в общей площади города». Область применения результатов: муниципальное управление, экологическое планирование, формирование комфортной городской среды, развитие сети ООПТ городов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Urbanization and Development: Emerging Futures. World Cities Report 2016 Nairobi: United Nations Human Settlements Program (UN-Habitat), 2016. URL: <https://wcr.unhabitat.org/main-report/> (дата обращения: 17.07.2020)
2. Паспорт приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды» (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам, протокол от 18 апр. 2017 г. N 5). URL: <http://static.government.ru/media/files/JEnYAAfDkMAyYIAjAxDzKxXGPuaEJSu.pdf>. (дата обращения: 17.07.2020)
3. Тетиор А.Н. Городская экология. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 336 с.
4. Стадолин М.Е., Ямчук Е.В. Особо охраняемые природные территории местного значения: проблемы управления и развития // Вестник университета. 2017. N 3. С. 195-199.
5. Дёжкин В.В., Горелов Б. Охраняемые природные территории в городах России // Информационно-аналитический бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов России». 2007. N 3 (93). С. 49-53.
6. Морозова Г.Ю., Дебелая И.Д. Зеленая инфраструктура как фактор обеспечения устойчивого развития Хабаровска // Экономика региона. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 562-574. DOI: 10.17059/2018-2-18
7. Green infrastructure. An integrated approach to land use.

Position Statement. Landscape Institute. 2013. URL: <http://www.landscapeinstitute.org/GreenInfrastructure.php> (дата обращения: 04.02.2018)

8. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник СПб университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 127-146. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2018.201
9. Barrico L., Azul A.M., Morais M.C., Coutinho A.P., Freitas H., Castro P. Biodiversity in urban ecosystems: Plants and macromycetes as indicators for conservation planning in the city of Coimbra (Portugal) // Landscape and Urban Planning. 2012. V. 106. Iss. 1. P. 88-102. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.02.011
10. Connop S., Vandergert P., Eisenberg B., Collier M.J., Nash C., Clough J., Newport D.J. Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure // Environmental Science & Policy. 2016. V. 62. P. 99-111. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.01.013
11. Gunnarsson B., Knez I., Hedblom M., Ode Sang A. Effects of biodiversity and environment-related attitude on perception of urban green space // Urban Ecosystems. 2017. V. 20. P. 37-49. DOI: 10.1007/s11252-016-0581-x
12. McKinney M.L. Urbanization, Biodiversity and Conservation // BioScience. 2002. V. 52. Iss. 10. P. 883-890. DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0883:UBAC]2.0.CO;2
13. Capotorti G., Orti M., Copiz R., Fusaro L., Mollo B., Salvatori E., Zavatiero L. Biodiversity and ecosystem services in urban green infrastructure planning: A case study from the metropolitan area of Rome (Italy) // Urban Forestry and Urban Greening. 2019. V. 37. P. 87-96. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.12.014
14. Robrecht H., Lorena L., Mader A., Calcaterra E., Nel J., Hammerl M., Moola F., Ludlow D., Wackernagel M., Teller A. Ecosystem Services in Cities and Public Management // TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Local and Regional Policy Makers. 2010. P. 65-80.
15. Bishop K., Dudley N., Phillips A., Stolton S. Speaking a Common Language. The uses and performance of the IUCN System of Management Categories for Protected Areas. Cardiff University, IUCN – The World Conservation Union and UVEP – Word Conservation Monitoring Centre, 2004. 191 p.
16. Кочуров Б.И., Хазиахметова Ю.А., Ивашкина И.В., Сукманова Е.А. Ландшафтный подход в градостроительном проектировании // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 3. С. 71-82. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-3-71-82
17. Trzyna T. Urban Protected Areas: Profiles and best practice guidelines. Best Practice Protected Area Guidelines Series. N 22. Gland, Switzerland: IUCN, 2014. 110 p.
18. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. N 4. С. 51-57.
19. Лихоманов О.В., Бубнов Д.В. Денежная оценка средозащитных функций леса (на примере лесов и лесных насаждений Волгоградской области) // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2012. N 2 (21). С. 214-220.
20. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
21. Кочуров Б.И., Ивашкина И.В., Лобковский В.А., Фомина Н.В., Ермакова Ю.И. Мегполис Москва как центр конвергенции // Экология урбанизированных территорий. 2018. N 3. С. 107-113.

22. Методика определения индекса качества городской среды муниципальных образований Российской Федерации (утверждена приказом Минстроя России от 31 окт. 2017 г. N 1494/пр). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_282529/ (дата обращения: 16.07.2020)
23. Зайцев О.Б., Поляков В.Е. Особо охраняемые природные территории города Екатеринбурга. Екатеринбург: ООО «Издательский дом «Ажур», 2015. 46 с.
24. Постановление администрации г. Перми от 19.10.2016 г. N 893. URL: <http://docs.cntd.ru/document/444802655> (дата обращения: 10.11.2018)
25. Государственный региональный кадастр ООПТ Магаданской области. URL: <https://ohotnadzor.49.gov.ru/common> (дата обращения: 14.04.2019)
26. Чанчаева Е.А., Гвоздарева О.В., Гвоздарев А.Ю. Состояние атмосферного воздуха и здоровье детей в условиях возрастающей транспортной и теплоэнергетической нагрузки // Экология человека. 2019. N 11. С. 12-19. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-11-12-19
27. Сидоркина З.И. Миграция в крупных городах Дальнего Востока // Региональные проблемы. 2015. Т. 18. N 3. С. 15-22.
28. Морозова Г.Ю., Дебеляя И.Д. Тематическая структура базы ГИС «Особо охраняемые природные территории города Хабаровска» // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. N 7. С. 56-64. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-00-00
29. Schmidt K., Poppendieck H.-H., Jensen K. Effects of urban structure on plant species richness in a large European city // Urban Ecosystems. 2014. V. 17. P. 427-444. DOI: 10.1007/s11252-013-0319-y
30. Pop (Boancă) P.I., Dumitras A., Singureanu V., Clapa D., Mazăre G. Ecological and Aesthetic Role of Spontaneous Flora in Urban Sustainable Landscapes Development // J. Plant Development. 2011. V. 18. P. 169-177.
31. Prach K., Pyšek P., Bastl M. Spontaneous vegetation succession in human-disturbed habitats: A pattern across seres // Applied Vegetation Science. 2001. V. 4. Iss. 1. P. 83-88. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2001.tb00237.x
5. Dezhkin V.V., Gorelov B. Protected territories in Russian cities. Informationsno-analiticheskii byulleten' «Ispolzovanie i okhrana prirodnkh resursov Rossii» [Informational and analytical bulletin «Use and protection of natural resources of Russia»]. 2007, no. 3 (93), pp. 49-53. (In Russian)
6. Morozova G.Yu., Debelaya I.D. Green infrastructure as a factor for sustainable development of Khabarovsk. *Economy of Region*, 2018, vol. 14, iss. 2, pp. 562-574. (In Russian) DOI: 10.17059/2018-2-18
7. Green infrastructure. An integrated approach to land use. Position Statement. Landscape Institute. 2013. Available at: <http://www.landscapeinstitute.org/GreenInfrastructure.php> (accessed 04.02.2018)
8. Klimanova O.A., Kolbowski E.Yu., Illarionova O.A. The ecological framework of Russian major cities: spatial structure, territorial planning and main problems of development. *Vestnik of Sankt-Petersburg University. Earth Sciences*, 2018, vol. 63, iss. 2, pp. 127-146. (In Russian) DOI: 10.21638/11701/spbu07.2018.201
9. Barrico L., Azul A.M., Morais M.C., Coutinho A.P., Freitas H., Castro P. Biodiversity in urban ecosystems: Plants and macromycetes as indicators for conservation planning in the city of Coimbra (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, 2012, vol. 106, iss. 1, pp. 88-102. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.02.011
10. Connop S., Vandergert P., Eisenberg B., Collier M.J., Nash C., Clough J., Newport D.J. Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure. *Environmental Science & Policy*, 2016, vol. 62, pp. 99-111. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.01.013
11. Gunnarsson B., Knez I., Hedblom M., Ode Sang A. Effects of biodiversity and environment-related attitude on perception of urban green space. *Urban Ecosystems*, 2017, vol. 20, pp. 37-49. DOI: 10.1007/s11252-016-0581-x
12. McKinney M.L. Urbanization, Biodiversity and Conservation. *BioScience*, 2002, vol. 52, iss. 10, pp. 883-890. DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0883:UBAC]2.0.CO;2
13. Capotorti G., Orti M., Copiz R., Fusaro L., Mollo B., Salvatori E., Zavattero L. Biodiversity and ecosystem services in urban green infrastructure planning: A case study from the metropolitan area of Rome (Italy). *Urban Forestry and Urban Greening*, 2019, vol. 37, pp. 87-96. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.12.014
14. Robrecht H., Lorena L., Mader A., Calcaterra E., Nel J., Hammerl M., Moola F., Ludlow D., Wackernagel M., Teller A. Ecosystem Services in Cities and Public Management. TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Local and Regional Policy Makers. 2010, pp. 65-80.
15. Bishop K., Dudley N., Phillips A., Stolton S. Speaking a Common Language. The uses and performance of the IUCN System of Management Categories for Protected Areas. Cardiff University, IUCN – The World Conservation Union and UVEP – Word Conservation Monitoring Centre, 2004, 191 p.
16. Kochurov B.I., Khaziakhmetova Yu.I., Ivashkina I.V., Sukmanova E.A. Landscape approach in city-planning. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 3, pp. 72-82. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-3-71-82
17. Trzyna T. Urban Protected Areas: Profiles and best practice guidelines. Best Practice Protected Area Guidelines Series, no 22. Gland, Switzerland, IUCN, 2014, 110 p.
18. Alekseev V.A. Protected areas in cities of Russia. *Lesovedenie [Lesovedenie]*. 1989, no. 4, pp. 51-57. (In Russian)
19. Likhomanov O.V., Bubnov D.V. Monetary valuation of environment protection functions of forests (the case study of forests and forest plantation of the Volgograd region).

REFERENCES

1. Urbanization and Development: Emerging Futures. World Cities Report 2016 Nairobi: United Nations Human Settlements Program (UN-Habitat), 2016. Available at: <https://wcr.unhabitat.org/main-report/> (accessed 17.07.2020)
2. *Pasport prioritetnogo proekta «Formirovanie komfortnoi gorodskoi sredy» (utv. prezidiumom Soveta pri Prezidente Rossiiskoi Federatsii po strategicheskomu razvitiyu i prioritetnym proektam, protokol ot 18 apr. 2017 g. no 5)* [Passport of the priority project «Creating a comfortable urban environment» (approved by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for strategic development and priority projects, Protocol no 5 of April 18, 2017)]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/JEnYAAfDkMAyYlAJsAxDzKxXGPuaEJSu.pdf>. (accessed 17.07.2020)
3. Tetior A.N. *Gorodskaya ekologiya* [Urban ecology]. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 336 p. (In Russian)
4. Stadolin M.E., Yamchuk E.V. Protected areas of local importance: problems of management and development. *Vestnik universiteta* [University Vestnik]. 2017, no. 3, pp. 195-199. (In Russian)

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya [Science Journal of Volgograd State University. Global Economik System]. 2012, no. 2(21), pp. 214-220. (In Russian)

20. Reimers N.F. *Prirodopol'zovanie: slovar'-spravochnik* [Nature management: glossary]. Moscow, Mysl' Publ., 1990, 637 p. (In Russian)

21. Kochurov B.I., Ivashkina I.V., Lobkovskii V.A., Fomina N.V., Ermakova Yu.I. The megapolis of Moscow as the convergence center. *Ehkologiya urbanizirovannykh territorii* [Ecology of urban areas]. 2018, no. 3, pp. 107-113. (In Russian)

22. *Metodika opredeleniya indeksa kachestva gorodskoi sredy munitsipal'nykh obrazovaniy Rossiiskoi Federatsii, (utv. prikazom Ministroya Rossii ot 31 okt. 2017 g. No 1494/pr)* [Methodology for determining the urban environment quality index of municipalities of the Russian Federation (approved by the order of the Ministry of construction of the Russian Federation dated October 31, 2017, no 1494/PR)]. Available at:

<http://static.government.ru/media/files/JEnYAAfDkMAyylAjsAxZkxXGPuaEJSu.pdf>. (accessed 16.07.2020)

23. Zaitsev O.B., Polyakov V.E. *Osobo ohranyaemye prirodnye territorii goroda Ekaterinburga* [Protected areas of the city of Ekaterinburg]. Ekaterinburg, Azhur Publ., 2015, 46 p. (In Russian)

24. *Postanovlenie administratsii g. Permi ot 19.10.2016 g. no 893* [Resolution of the Perm city administration of 19.10.2016 no 893]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/444802655> (accessed 10.11.2018)

25. *Gosudarstvennyi regional'nyi kadastr OOPT Magadanskoi oblasti* [State regional cadastre of protected areas of the Magadan region]. Available at: <https://ohotnadzor.49.gov.ru/common> (accessed 14.04.2019)

26. Chanchaeva E.A., Gvozdareva O.V., Gvozdarev A.Yu. Air Quality and Children's Health: the Role of Increasing Transport-Related and Thermal Air Pollution. *Human Ecology*, 2019, no. 11, pp. 12-19. (In Russian) DOI: 10.33396/1728-0869-2019-11-12-19.

27. Sidorkina Z.I. Migration in large cities of the Far East. *Regional'nye problemy* [Regional problems]. 2015, vol. 18, no. 3, pp. 15-22. (In Russian)

28. Morozova G.Yu., Debelaya I.D. Thematic structure of the GIS «Protected areas of the Khabarovsk city». *Geodesy and Cartography*, 2020, vol. 81, no. 7, pp. 56-64. (In Russian) DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-00-00

29. Schmidt K., Poppendieck H.-H., Jensen K. Effects of urban structure on plant species richness in a large European city. *Urban Ecosystems*, 2014, vol. 17, pp. 427-444. DOI: 10.1007/s11252-013-0319-y

30. Pop (Boancă) P.I., Dumitras A., Singureanu V., Clapa D., Mazăre G. Ecological and Aesthetic Role of Spontaneous Flora in Urban Sustainable Landscapes Development. *J. Plant Development*. 2011, vol. 18, pp. 169-177.

31. Prach K., Pyšek P., Bastl M. Spontaneous vegetation succession in human-disturbed habitats: A pattern across seres. *Applied Vegetation Science*, 2001, vol. 4, iss. 1, pp. 83-88. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2001.tb00237.x

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTION

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

CONFLICT OF INTEREST

All authors declare no conflict of interest

ORCID

Галина Ю. Морозова / Galina Yu. Morozova <https://orcid.org/0000-0003-1183-3430>

Ирина Д. Дебелая / Irina D. Debelaya <https://orcid.org/0004-0002-0191-2306>

Оригинальная статья / Original article

УДК 911(332.33)

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-109-118

Оценка ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих регионов Урала и Западной Сибири

Александр А. Чибилёв (мл.), Юрий А. Гулянов, Дмитрий С. Мелешкин, Дмитрий В. Григорьевский

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

Контактное лицо

Александр А. Чибилёв (мл.), кандидат экономических наук, заведующий отделом социально-экономической географии Института степи Уральского отделения РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская 11. Тел. +79058191646; +7(3532)774432
Email economgeo-is@mail.ru; orensteppe@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1109-6231>

Формат цитирования

Чибилёв А.А.(мл.), Гулянов Ю.А., Мелешкин Д.С., Григорьевский Д.В. Оценка ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих регионов Урала и Западной Сибири // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 109-118. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-109-118

Получена 17 ноября 2021 г.

Прошла рецензирование 22 декабря 2021 г.

Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель. Оценка и картографический анализ ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих регионов Урала и Западной Сибири на примере 8 степных регионов-субъектов Азиатской России.

Материалы и методы. Оценка ландшафтно-экологической устойчивости методом расчета коэффициента экологической стабильности ландшафта на основе сопряжённого анализа 13 показателей, сгруппированных в 2 блока – стабильных и нестабильных элементов ландшафта. Мониторинг состояния земледельческих угодий с использованием нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) посевов на основе данных ДЗЗ.

Результаты. Определены индивидуальные территориальные особенности и межрегиональные связи по отдельным элементам ландшафта. Построена картосхема, отображающая состояние экологической стабильности, выявлено её возрастание в восточном направлении.

Заключение. Ярko выраженной экологической стабильностью отличается Тюменская область. В Новосибирской области стабильность выражена хорошо. В большинстве других регионов отмечается условно стабильное состояние, а Оренбургская область характеризуется нестабильным состоянием ландшафтов. Самой высокой неустойчивостью среди нестабильных элементов ландшафта характеризуется пашня. Коэффициент экологической стабильности ландшафта (КЭСЛ) сильно связан с её долей в общей площади региона. В 74% случаев он возрастает при снижении площади пашни. Выведение из обработки неустойчивых и деградировавших угодий при интенсификации земледелия на высокоплодородных участках, перевод в кормовые угодья (в том числе ООПТ), способствующие увеличению доли стабильных элементов ландшафтов, можно рассматривать в качестве основного направления повышения их устойчивости и сохранения биологического разнообразия.

Ключевые слова

Ландшафтно-экологическая устойчивость, коэффициент экологической стабильности, земледельческие регионы Урала и Западной Сибири, степные регионы Азиатской части России.

An assessment of landscape-ecological stability in agricultural regions of Ural and West Siberia

Alexander A. Chibilyov (jr.), Yuriy A. Gulyanov, Dmitriy S. Meleshkin and Dmitriy V. Grigorevsky

Institute of Steppe, Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg

Principal contact

Alexander A. Chibilyov (Jr), Candidate of Economy Sciences and Head, Department of Socio-Economic Geography, Institute of Steppe, Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionreskaya St, Orenburg, Russia 460000.

Тел. +79058191646; +7(3532)774432

Email economgeo-is@mail.ru;

orensteppe@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1109-623>

How to cite this article

Chibilyov A.A. (jr.), Gulyanov Yu.A., Meleshkin D.S., Grigorevsky D.V. An assessment of landscape-ecological stability in agricultural regions of Ural and West Siberia. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 109-118. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-109-118

Received 17 November 2021

Revised 22 December 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. An assessment and cartographical analysis of landscape-ecological stability in agricultural regions of Ural and West Siberia, subjects of Asian Russia, using eight steppe areas as an example.

Material and Methods. An assessment of landscape-ecological stability through calculating the coefficient of the ecological stability of a landscape on the base of the conjugate analysis of 13 indicators grouped into two blocks – stable and unstable landscape components. Monitoring of the state of an agricultural area using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of crops on the base of Earth remote sensing.

Results. Specific territorial features and inter-regional relations were determined according to separate landscape components. A schematic map reflecting the state of ecological stability was formulated; it was shown that this rises the more easterly the location.

Conclusion. The Tyumen region is distinguished by clearly expressed ecological stability, which is also well expressed in the Novosibirsk region. Most other regions are characterized by a conditionally stable state. The Orenburg region's landscapes are in an unstable state. Arable lands are characterized by the most instability among unstable components of a landscape. The coefficient of landscape ecological stability (CESL) is tightly connected with the proportion of tillage in a region's total area. It rises with the reduction of a tillage area in 74% of cases studied. Withdrawal from cultivation of unstable and degraded lands during the intensification of agriculture in highly fertile areas and transfer to fodder lands (including protected areas), which contribute to an increase in the proportion of stable landscape elements, can be considered as the main direction for increasing their stability and preserving biological diversity.

Key Words

Landscape-ecological stability, coefficient of ecological stability, agricultural regions of Ural and West Siberia, steppe regions of the Asian part of Russia.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, ресурсный кризис XXI связан с истощением ресурсов биосферы Земли, выражающемся в истреблении лесов, сокращении запасов питьевой воды, деградации пахотных угодий, обострении рисков для сохранения биологического разнообразия и экологической стабильности [1].

Деградационные процессы в России наиболее отчётливо проявляются в степной и лесостепной зонах, ставшие следствием многолетних экстенсивных систем землепользования, носивших в основном почвозатратный и антиландшафтный характер [2]. Экстенсивная сущность практикуемого землепользования заключалась в вовлечении в хозяйственный оборот земельных угодий со слабой устойчивостью к деградационным проявлениям и грубом попрании оптимального соотношения различных видов ландшафта, определяющем его устойчивость, особенно при земледельческом использовании. И в настоящее время земледельческие регионы России продолжают испытывать нарастающее негативное воздействие со стороны хозяйственной деятельности человека. Оно, как и прежде, выражается в загрязнении окружающей среды, изъятии невосполнимых природных ресурсов, деградации почвы, сокращении видового разнообразия и нарушении природных взаимосвязей.

В этой связи экологизация использования земель и оптимизация ландшафтов с целью повышения их устойчивости относятся к числу главных задач современного землепользования, как на региональных уровнях, так и в целом по стране [3].

Следует признать, что методические подходы к разработке систем оценки устойчивости для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов активно разрабатываются как отечественными [4-7], так и зарубежными специалистами [8-11]. Есть достаточно широко апробированные наработки, практическое использование которых позволяет проводить объективную ландшафтно-экологическую оценку [12].

Основная цель настоящих исследований заключалась в пространственной оценке ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих

регионов Урала и Западной Сибири, как модельных регионов степной и лесостепной зон России. Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- выявить показатели, характеризующие уровень ландшафтно-экологической устойчивости, сформировать базу их абсолютных значений;
- провести картографический анализ ландшафтно-экологической устойчивости в разрезе отдельных регионов, выявить территориальные различия характеризующих её показателей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований выступали восемь степных регионов Урала и Западной Сибири, субъектов Азиатской России – Республика Башкортостан, Оренбургская, Челябинская, Курганская, Тюменская, Омская, Новосибирская области и Алтайский край. Оценка их ландшафтно-экологической устойчивости проводилась посредством коэффициента экологической стабильности ландшафта (КЭСЛ), объединяющего качественные и количественные параметры биотических и абиотических элементов природно-территориального комплекса. В основу его определения были положены наработки Клементовой Е.Н., Гейнига В [4], Баранова В.А. [5], Кочурова Б.И. [6], Ключина П.В., Шорманова А.Х. [7], посвящённые методическому обоснованию подходов к разработке экологически сбалансированных ландшафтов и базирующиеся на сопоставлении площадей, занятых стабильными и нестабильными элементами ландшафта.

Расчёт КЭСЛ производили по формуле:

$$КЭСЛ = \frac{\sum F_{ст}}{\sum F_{нст}}, \quad (1)$$

где $F_{ст}$ – площади, занятые стабильными элементами ландшафта, $F_{нст}$ – площади, занятые нестабильными элементами ландшафта.

К стабильным элементам ландшафта относили сенокосы, пастбища, многолетние насаждения, лесные земли, лесные насаждения, не входящие в лесной фонд, земли под водой, залежь и болота, а к нестабильным – пашню, земли застройки, нарушенные земли, земли под дорогами и прочие земли (полигоны отходов, свалки, овраги). Оценку коэффициента экологической стабильности проводили по шкале, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Шкала оценки коэффициента экологической стабильности ландшафта [12]

Table 1. A rating scale of the coefficient of landscape ecological stability [12]

Коэффициент экологической стабильности Coefficient of landscape ecological stability	Характеристика экологической стабильности ландшафта Description of landscape ecological stability
≤0,5	Нестабильность выражена хорошо Instability well expressed
0,5-1,0	Состояние нестабильно Unstable state
1,0-3,0	Состояние условно стабильное Conditionally stable state
3,0-4,5	Стабильность выражена хорошо Stability well expressed
≥4,5	Стабильность ярко выражена Stability very well expressed

При определении площадей отдельных видов ландшафта в качестве исходных данных (табл. 2) использовали размещённые в свободном доступе сведения Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии [13].

Мониторинг состояния земледельческих угодий проводили с использованием нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) посевов. Его определяли на базе общедоступных космических снимков Landsat 8 и Sentinel, имеющих пространственное разрешение 15-30 м/пиксел, размещённых на on-line ресурсах OneSoil.ai и Sentinel-hub.com. Полученные данные наносились на картографическую основу в программном комплексе Next GIS с последующей обработкой в Arc Map.

Корреляционный и регрессионный анализ аналитических данных [14] проводили в *Microsoft Office Excel*.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ исходных показателей для расчёта коэффициента экологической стабильности ландшафтов выявил территориальные различия характеризующих её показателей. Установлено, что среди исследуемых регионов наибольшей площадью стабильных элементов ландшафта, составляющей 90,3-76,1-69,0% от площади региона (16,0-17,8-14,3 млн га) характеризуются Тюменская, Новосибирская области и Республика Башкортостан. Этому способствуют значительные площади лесных земель, включая земли, занятые лесными насаждениями, не входящими в лесной фонд. В совокупности на их долю приходится 50,1-37,5-60,8% площадей, занятых стабильными элементами ландшафта.

В Тюменской, Новосибирской и Омской областях значительные территории находятся под болотами, занимающими 31,8-22,6-21,0% совокупной площади стабильных элементов ландшафта и 28,7-17,2-14,4% общей площади регионов. В Оренбургской, Новосибирской областях, Алтайском крае и Республике Башкортостан сосредоточены наибольшие площади пастбищ. В дополнение к этому Новосибирская область, Алтайский край и Республика Башкортостан располагают самыми большими сенокосными угодьями, площадь которых составляет 16,2-13,1-13,0% от общей площади, занятой стабильными элементами ландшафта.

Площади залежных земель в анализируемых регионах значительно меньше площадей, занятых перечисленными выше элементами ландшафта и колеблются на уровне 0,6 (Новосибирская область) – 10,1% (Курганская область) от суммарной площади стабильных элементов. Статистические данные о площадях залежей в Республике Башкортостан и Оренбургской области в сведениях Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии не приведены, хотя результаты экспедиционных исследований 2020-2021 гг. свидетельствуют об их наличии в указанных регионах

и активной распашке на южных рубежах Оренбургской области.

Наибольшие площади нестабильных элементов ландшафта сосредоточены в Алтайском крае и Оренбургской области, составляющие 44,0-54,3% общей площади региона. В Новосибирской, Омской области и Республике Башкортостан их площади ниже, примерно равны между собой (4,2-4,5 млн га) и составляют 23,8-31,7% от общей площади. Больше всего застроенных земель в Оренбургской области – 160,8 тыс. га или 2,5% от общей площади нестабильных ландшафтов. Высока доля застроенных земель также в Челябинской области (138 тыс. га или 4,0%) и Республике Башкортостан (133,6 тыс. га или 3,2%), а самая низкая доля застроенных земель наблюдается в Курганской (1,9%), Тюменской (5,1%) и Омской областях (2,1%). Наибольшей площадью нарушенных земель характеризуются Челябинская, Оренбургская области и Республика Башкортостан (13,1-32,3 тыс. га). В остальных регионах данный показатель не превышает 5 тыс. га, а наименьшая площадь нарушенных земель отмечена в Курганской области – 1,1 тыс. га или 1,9% от всей площади нестабильных ландшафтов. Существенные площади под дорогами заняты в Республике Башкортостан – 124,7 тыс. га (6,3% от всех нестабильных ландшафтов), а меньше всего их в Курганской области.

Наибольшую долю в структуре нестабильных элементов ландшафта во всех анализируемых регионах занимают обрабатываемые земледельческие угодья (пашня) – от 82,5 (Республика Башкортостан) до 92,8% (Омская область). Их площадь в основном и определяет ландшафтно-экологическую устойчивость анализируемых регионов.

Как показали расчёты коэффициента экологической стабильности (КЭСЛ), ярко выраженной стабильностью ландшафтов обладает только Тюменская область, превышающая по приведённому показателю (9,4) другие регионы в 3,01 (Новосибирская область) – 11,75 раза (Оренбургская область) (рис. 1).

В большей степени ландшафты анализируемых регионов характеризуются условно стабильным состоянием (Алтайский край, Челябинская, Курганская, Омская области, Республика Башкортостан). В Новосибирской области стабильность выражена хорошо, а Оренбургская область характеризуется нестабильным состоянием ландшафтов, с самым низким среди анализируемых регионов коэффициентом экологической стабильности (0,8). В целом наблюдается возрастание экологической стабильности в восточном направлении.

Графическая визуализация пространственной диспропорции ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих регионов Урала и Западной Сибири в виде картосхемы (рис. 1) достаточно убедительно иллюстрирует полученные результаты.

Таблица 2. Исходные показатели для расчета коэффициента экологической стабильности ландшафтов степных регионов Азиатской части России [13]
Table 2. Initial indicators to calculate the coefficient of landscape ecological stability in the steppe regions of the Asian part of Russia [13]

Субъекты РФ Subjects of the Russian Federation	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	F _{ст}	F _{нст}
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	1272,4	2346,2	43,6	5797,8	195,6	149,9	н/д* n/d*	50,8	3662,5	133,6	17,2	260,0	365,1	9856,3	4438,4
Оренбургская область Orenburg Region	696,7	3979,2	22,9	618,9	199,4	110,9	н/д* n/d*	15,2	6114,5	160,8	13,1	184,8	253,8	5643,2	6727,0
Курганская область Kurgan Region	559,0	1024,8	12,4	1759,5	37,2	318,7	459,2	383,9	2402,7	49,1	1,1	86,3	54,9	4554,7	2594,1
Челябинская область Chelyabinsk Region	591,1	1351,5	38,3	2707,3	75,2	275,9	55,0	192,7	3058,4	138,0	32,3	145,5	191,7	5287,0	3565,9
Тюменская область Tyumen Region	896,2	754,5	11,9	7114,8	143,2	508,5	427,7	4608,9	1289,1	80,2	4,8	96,2	76,2	14465,7	1546,5
Алтайский край Altai Territory	1235,9	2789,3	27,8	4030,3	206,3	442,6	295,4	374,7	6655,8	132,3	3,6	195,7	410,0	9402,3	7397,4
Новосибирская область Novosibirsk Region	2197,9	2314,3	33,6	4800,1	279,5	766,3	81,0	3059,6	3772,4	102,5	1,7	166,8	199,9	13532,3	4243,3
Омская область Omsk Region	1096,2	1265,6	26,5	4667,7	89,4	289,8	175,9	2026,9	4156,6	93,9	5,0	150,7	69,8	9638,0	4476,0

Примечание: н/д* – нет данных; X₁ – сенокосы, X₂ – пастбища, X₃ – многолетние насаждения, X₄ – лесные земли, X₅ – лесные насаждения, не входящие в лесной фонд, X₆ – земли под водой, X₇ – залежь, X₈ – болота, X₉ – пашня, X₁₀ – земли застройки, X₁₁ – нарушенные земли, X₁₂ – земли под дорогами, X₁₃ – прочие земли
Note: n/d* – no data available; X₁ – hayfields, X₂ – pastures, X₃ – perennial planting, X₄ – forest lands, X₅ – forest plantations not included in the forest fund, X₆ – lands under water, X₇ – fallow lands, X₈ – marshes, X₉ – arable lands, X₁₀ – building space, X₁₁ – disturbed soils, X₁₂ – territories under roads, X₁₃ – other lands

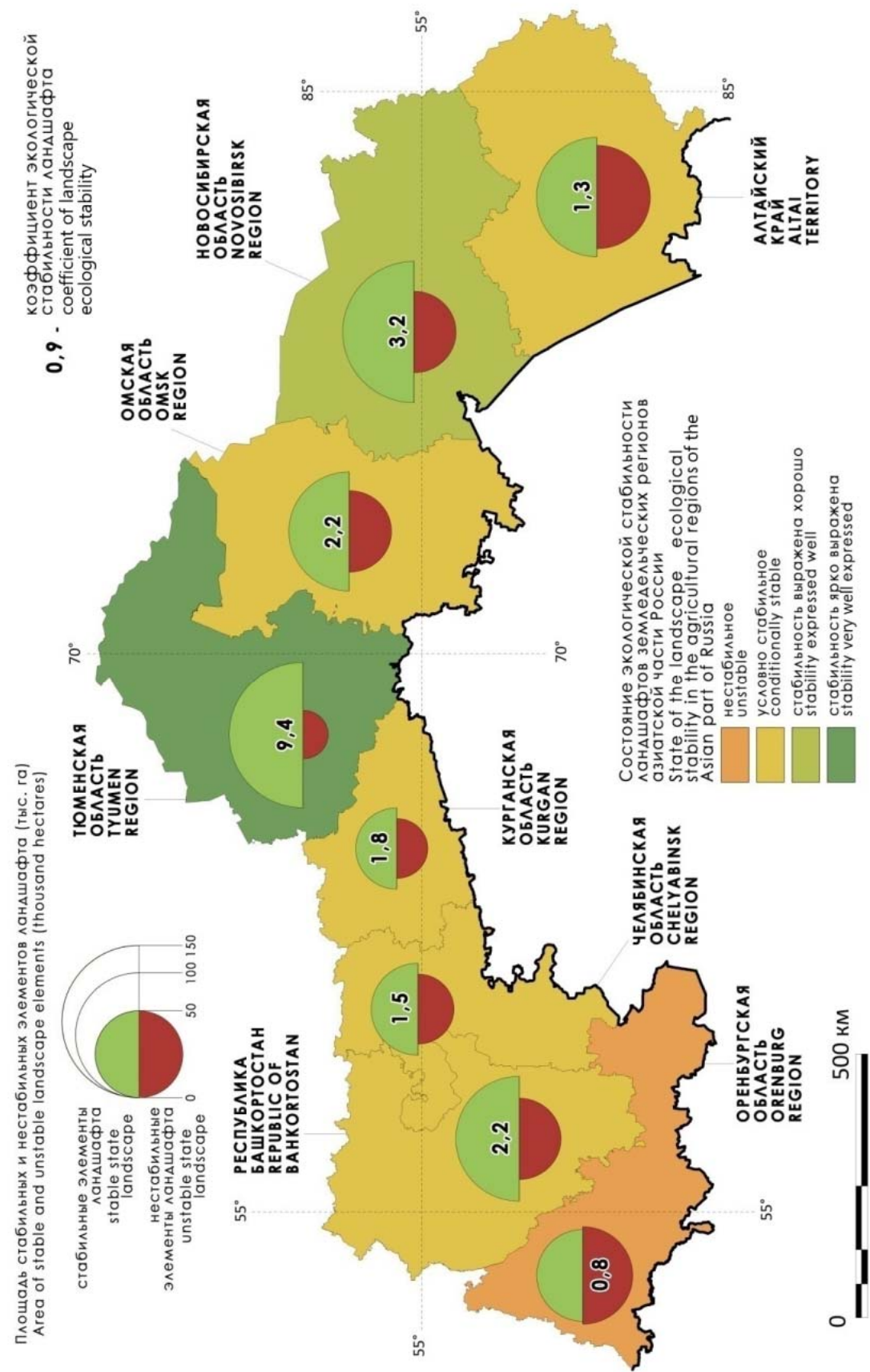


Рисунок 1. Картограмма состояния экологической стабильности ландшафтов земледельческих регионов Урала и Западной Сибири
Figure 1. Schematic map of the state of landscape ecological stability in the agricultural regions of Ural and West Siberia

Как показали результаты экспедиционных исследований, самой высокой неустойчивостью среди нестабильных элементов ландшафта во всех анализируемых территориях являются обрабатываемые сельскохозяйственные угодья (пашня). Их доля в общей площади регионов изменяется от 8,9

(Тюменская область) до 49,5% (Оренбургская область). Высока их доля также в Челябинской, Курганской (34,6%) областях и в Алтайском крае (39,2%). В Новосибирской, Омской области и в Республике Башкортостан они занимают 21,2-29,5% территории (рис. 2).

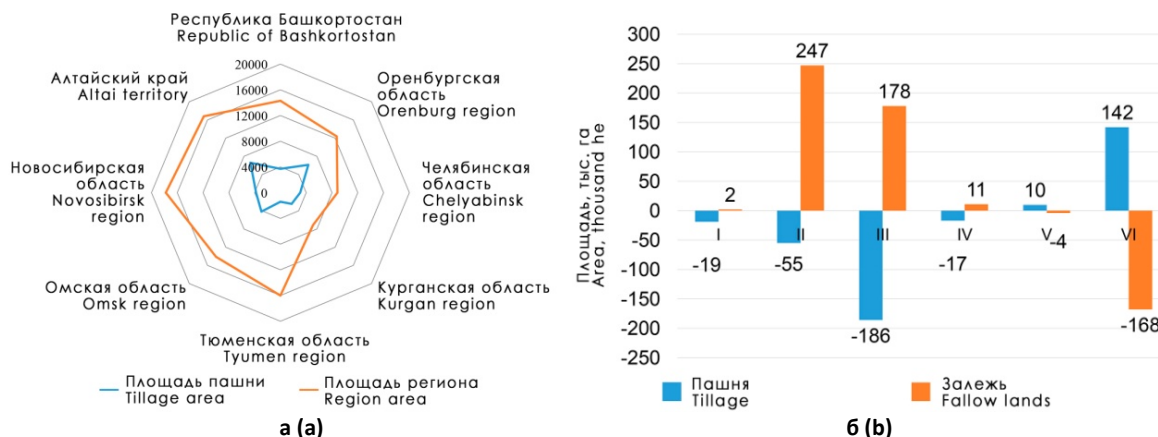


Рисунок 2. Средняя площадь пашни в сельскохозяйственных регионах Урала и Западной Сибири (а) и её изменение (б), где I – Челябинская обл., II – Курганская обл., III – Тюменская обл., IV – Омская обл., V – Новосибирская обл., VI – Алтайский край) за 2002-2019 гг.

Figure 2. The average tillage area in the agricultural regions of Ural and West Siberia (a) and its change (b), where I – the Chelyabinsk region, II – the Kurgan Region, III – the Tyumen region, IV – the Omsk region, V – the Novosibirsk region, VI – the Altai Territory) for 2002-2019

Регионы характеризуются различной временной динамикой площади пашни. Размах её варьирования за 2002-2019 гг. составил 12-527 тыс. га. Самая стабильная площадь пашни с коэффициентом вариации 0,12% отмечена в Новосибирской области, а самая изменчивая (3,30%) – в Республике Башкортостан.

Следует особо подчеркнуть различную направленность (тренд) изменения площади пашни за анализируемый период (рис. 2б). В Омской, Челябинской, Оренбургской, Курганской, Тюменской областях и Республике Башкортостан она оказалась отрицательной – площадь пашни сократилась на 17-218 тыс. га. В Новосибирской области и Алтайском крае, напротив, площадь пашни выросла на 10-142 тыс. га.

Корреляционный анализ аналитических данных выявил обратную сильную связь ($r = -0,86$) доли пашни (%) в общей площади региона с коэффициентом экологической стабильности ландшафта (КЭСЛ). Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,74$) свидетельствует о зависимости КЭСЛ от приведённого показателя и указывает на его возрастание при уменьшении площади пашни в 74,0% случаев.

Наиболее стабильная площадь залежи с коэффициентом вариации 2,67% отмечена в Новосибирской области – размах её вариации составил только 7 тыс. га. Наибольшим временным варьированием площади залежи характеризуется Курганская область с коэффициентом вариации 23,10% и разницей между наименьшими и наибольшими значениями 312 тыс. га.

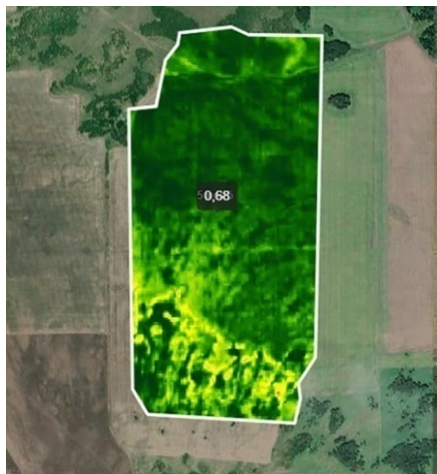
Следует отметить, что в регионах с сократившейся площадью пашни (кроме Республики Башкортостан и Оренбургской области) за 2002-2019 гг. отмечен прирост площади залежи на 11 (Омская область) – 247 тыс. га (Курганская область). В регионах с возросшей площадью пашни площадь залежи сократилась на 4,1 (Новосибирская область) – 168,0 тыс. га (Алтайский край). Между площадью пашни и площадью залежи установлена сильная обратная связь ($r = -0,69$ (Челябинская область) 0,94-1,00 (остальные регионы)), свидетельствующая об их взаимном превращении.

Визуальный и инструментальный мониторинг состояния земельных угодий в анализируемых регионах подтверждает активно продолжающуюся мобилизацию почвенного плодородия, исключающую компенсацию вынесенных урожаями питательных элементов, ввиду невысоких объёмов внесения минеральных и органических удобрений и экспансии на поля почвозатратных коммерческих монокультур (прежде всего подсолнечника). Попираются элементарные законы земледелия, упрощаются севообороты, игнорируется научно-обоснованная структура посевных площадей. Всё это на фоне низкой востребованности специалистов агрономического профиля сопровождается стремительной деградацией почвенного покрова, выражается в высокой пестроте растительности по элементарным участкам поля, снижении качества продукции и валовых сборов (рис. 3).

Вполне очевидно, что подобные подходы при направленности к сохранению валовых сборов

растениеводческой продукции и поддержанию продовольственной безопасности населения, будут и дальше стимулировать экстенсивное землепользование и способствовать сохранению в обработке неустойчивых и деградировавших угодий. Напротив, их ведение из обработки при интенсификации

земледелия на высокоплодородных участках, перевод в кормовые угодья (в том числе ООПТ), будет способствовать увеличению доли стабильных элементов ландшафтов, повышению их устойчивости и сохранению биологического разнообразия для будущих поколений.



а (a)



б (b)

Рисунок 3. Визуализация пространственной неоднородности (а) растительного покрова (по NDVI) и общий вид посева льна масличного (б) на выработанных чернозёмах южных, Омская область, Черлакский район, 2020 г.
Figure 3. Visualization of the spatial heterogeneity of (a) the vegetation cover (according to NDVI) and the total view of the seed flax sowing (b) in the cultivated southern chernozem, the Omsk region and the Cherlaskiy district, 2020

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Земледельческие регионы Урала и Западной Сибири характеризуются территориальными особенностями экологической стабильности ландшафтов. Ярко выраженной стабильностью отличается Тюменская область. В Новосибирской области стабильность выражена хорошо. В большинстве других регионов отмечается условно стабильное состояние, а Оренбургская область характеризуется нестабильным состоянием ландшафтов. Самой высокой неустойчивостью среди нестабильных элементов ландшафта характеризуется пашня. Коэффициент экологической стабильности ландшафта (КЭСЛ) сильно связан с её долей в общей площади региона. В 74% случаев он возрастает при снижении площади пашни.

Природозатратные и почворасточительные экстенсивные подходы в земледелии способствуют сохранению в обработке неустойчивых и деградировавших угодий. Их выведение из обработки при интенсификации земледелия на высокоплодородных участках, перевод в кормовые угодья (в том числе ООПТ), способствующие увеличению доли стабильных элементов ландшафтов, можно рассматривать в качестве основного направления повышения их устойчивости и сохранения биологического разнообразия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 20-17-00069 «Географические основы

пространственного развития сельскохозяйственных постцелинных регионов Урала и Сибири».

ACKNOWLEDGEMENT

The study was conducted with the financial support by the RSF grant 20-17-00069 "Geographical basis of spatial development in agricultural virgin land regions within Ural and Siberia".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. Т. 22. N 3-4(118-119). С. 103-104.
2. Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Экологизация степных агротехнологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды // Теоретическая и прикладная экология. 2019. N 3. С. 5-11. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-005-011
3. Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Репринтное издание. Оренбург, 2016. 182 с.
4. Клементова Е.Н., Гейниге В. Оценка экологической устойчивости сельскохозяйственного ландшафта // Мелиорация и водное хозяйство. 1995. N 5. С. 33-34.
5. Баранов В.А. Экологическая оптимизация агроландшафтов юго-востока Европейской России (структура, динамика, эволюция). Саратов: АСП, 2012. 314 с.
6. Кочуров Б.И. Современное землеустройство и управление землепользованием в России // Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: Зарубежный опыт и проблемы России. М.: КМК. 2005. С. 322-334.
7. Ключин П.В., Шорманов А.Х. Обобщенная оценка антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные угодья

- Кабардино-Балкарской Республики // Современные проблемы землепользования. М.: ГУЗ. 2015. С. 39-44.
8. Sirami C., Gross N., Baillod A.B., Bertrand C., Carrie R., Hass A., Henckel L., Miguet P., Vuillot C., Alignier A., Girard J., Batary P., Clough Y., Violle C., Giral D., Bota G., Badenhauer I., Lefebvre G., Gauffre B., Vialatte A., Calatayud F., Gil-Tena A., Tischendorf L., Mitchell S., Lindsay K., Georges R., Hilaire S., Recasens J., Oriol Sole-Senan X., Robleno I., Bosch J., Barrientos J.A., Ricarte A., Marcos-Garcia M.A., Minano J., Mathevet R., Gibon A., Baudry J., Balent G., Poulin B., Burel F., Tschardt T., Bretagnolle V., Siriwardena G., Quin A., Brotons L., Martin J., Fahrig L. Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions // *PNAS*. 2019. V. 116. N 33. P. 16442-16447. DOI: 10.1073/pnas.1906419116
 9. Diaz S., Zafra-Calvo N., Purvis A., Verburg P.H., Obura D., Leadley P., Chaplin-Kramer R., Meester L., Dulloo E., Martin-Lopez B., Shaw R., Visconti P., Broadgate W., Bruford M., Burgess N., Cavender-Bares J., DeClerck F., Fernandez-Palacios J.M., Garibaldi L., Hill S., Isbell F., Khoury C., Krug C., Liu J., Maron M., McGowan P., Pereira H., Reyes-Garcia V., Rocha J., Rondinini C., Shannon L., Shin Y., Snelgrove P., Spehn E., Strassburg B., Subramanian S., Tewksbury J., Watson J., Zanne A. Set ambitious goals for biodiversity and sustainability // *Science*. 2020. V. 370. P. 411-413. DOI:10.1126/science.abe1530
 10. Pe'er G., Bonn A., Bruehlheide H., Dieker P., Eisenhauer N., Feindt P., Hagedorn G., Hansjürgens B., Herzog I., Lomba A., Marquard E., Moreira F., Nitsch H., Oppermann R., Perino A., Röder N., Schleyer C., Schindler S., Wolf C., Zinngrebe Y., Lakner S. Action needed for the EU common agricultural policy to address sustainability challenges // *People Nat*. 2020. N 2. P. 305-316. DOI: 10.1002/pan3.10080
 11. Soley F.G., Perfecto I. A way forward for biodiversity conservation: high-quality landscapes // *Trends Ecol. Evol*. 2021. V. 36. N 9. P. 770-773. DOI: 10.1016/j.tree.2021.04.012
 12. Вершинин В.В., Шаповалов Д.А., Ключин П.В., Широкова В.А., Хуторова А.О., Гуров А.Ф., Саприн С.В., Широков Р.С., Савинова С.В. Геоэкологический мониторинг аграрных и урбанизированных ландшафтов в условиях техногенного воздействия. Москва: ФГБОУ ВПО «Государственный университет по землеустройству», 2019. 273 с.
 13. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году. М.: Росреестр, 2020. 198 с.
 14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- REFERENCES**
1. Koval'chuk M.V., Naraikin O.S. Nature-like technologies – new opportunities and new threats. *Indeks bezopasnosti [Security Index]*. 2016. vol. 22. no. 3-4(118-119). pp. 103-104. (In Russian)
 2. Gulyanov Yu.A., Chibilev A.A. Ecologization of steppe agricultural technologies in the conditions of natural and anthropogenic changes in the environment. *Theoretical and applied ecology*, 2019, no. 3, pp. 5-11. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-005-011
 3. Chibilev A.A. *Ekologicheskaya optimizatsiya stepnykh landshaftov. Reprintnoe izdanie* [Ecological optimization of steppe landscapes. Reprinted edition]. Orenburg, 2016, 182 p. (In Russian)
 4. Klementova E.N., Geinige V. Assessing the environmental sustainability of the agricultural landscape. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo* [Melioration and Water Management]. 1995, no. 5, pp. 33-34. (In Russian)
 5. Baranov V.A. *Ekologicheskaya optimizatsiya agrolesolandshaftov yugo-vostoka Evropeiskoi Rossii (struktura, dinamika, evolyutsiya)* [Ecological optimization of agro-forest landscapes of the south-east part of the European Russia (the structure, dynamics, evolution)]. Saratov, ASP Publ., 2012, 314 p. (In Russian)
 6. Kochurov B.I. *Sovremennoe zemleustroystvo i upravlenie zemlepol'zovaniem v Rossi* [Stable development of agriculture and rural areas: Foreign experience and problems of Russia]. In: *Ustoichivoe razvitiye sel'skogo khozyaistva i sel'skikh territorii: Zarubezhnyi opyt i problemy Rossii* [Sustainable Development of Agriculture and Rural Territories: Foreign Experience and Problems of Russia]. Moscow, KMK Publ., 2005, pp. 322-334. (In Russian)
 7. Klyushin P.V., Shormanov A.Kh. *Obobshchennaya otsenka antropogennoi nagruzki na sel'skokhozyaistvennye ugod'ya Kabardino-Balkarskoi Respubliki* [The modern problem of land use]. In: *Sovremennye problemy zemlepol'zovaniya* [Modern problems of land use]. Moscow, SULM Publ., 2015, pp. 39-44. (In Russian)
 8. Sirami C., Gross N., Baillod A.B., Bertrand C., Carrie R., Hass A., Henckel L., Miguet P., Vuillot C., Alignier A., Girard J., Batary P., Clough Y., Violle C., Giral D., Bota G., Badenhauer I., Lefebvre G., Gauffre B., Vialatte A., Calatayud F., Gil-Tena A., Tischendorf L., Mitchell S., Lindsay K., Georges R., Hilaire S., Recasens J., Oriol Sole-Senan X., Robleno I., Bosch J., Barrientos J.A., Ricarte A., Marcos-Garcia M.A., Minano J., Mathevet R., Gibon A., Baudry J., Balent G., Poulin B., Burel F., Tschardt T., Bretagnolle V., Siriwardena G., Quin A., Brotons L., Martin J., Fahrig L. Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *PNAS*, 2019, vol. 116, no. 33, pp. 16442-16447. DOI: 10.1073/pnas.1906419116
 9. Diaz S., Zafra-Calvo N., Purvis A., Verburg P.H., Obura D., Leadley P., Chaplin-Kramer R., Meester L., Dulloo E., Martin-Lopez B., Shaw R., Visconti P., Broadgate W., Bruford M., Burgess N., Cavender-Bares J., DeClerck F., Fernandez-Palacios J.M., Garibaldi L., Hill S., Isbell F., Khoury C., Krug C., Liu J., Maron M., McGowan P., Pereira H., Reyes-Garcia V., Rocha J., Rondinini C., Shannon L., Shin Y., Snelgrove P., Spehn E., Strassburg B., Subramanian S., Tewksbury J., Watson J., Zanne A. Set ambitious goals for biodiversity and sustainability. *Science*, 2020, vol. 370, pp. 411-413. DOI: 10.1126/science.abe1530
 10. Pe'er G., Bonn A., Bruehlheide H., Dieker P., Eisenhauer N., Feindt P., Hagedorn G., Hansjürgens B., Herzog I., Lomba A., Marquard E., Moreira F., Nitsch H., Oppermann R., Perino A., Röder N., Schleyer C., Schindler S., Wolf C., Zinngrebe Y., Lakner S. Action needed for the EU common agricultural policy to address sustainability challenges. *People Nat*, 2020, no. 2, pp. 305-316. DOI: 10.1002/pan3.10080
 11. Soley F.G., Perfecto I. A way forward for biodiversity conservation: high-quality landscapes. *Trends Ecol. Evol*, 2021, vol. 36, no. 9, pp. 770-773. DOI: 10.1016/j.tree.2021.04.012
 12. Vershinin V.V., Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Shirokova V.A., Khutorova A.O., Gurov A.F., Saprin S.V., Shirokov R.S., Savinova S.V. *Geoekologicheskii monitoring agrarnykh i urbanizirovannykh landshaftov v usloviyakh tekhnogennogo vozdeistviya* [Geoecological monitoring of agrarian and urbanized landscapes under technogenic impact]. Moscow, State University for Land Management Publ., 2019, 273 p. (In Russian)
 13. *Gosudarstvennyi (natsional'nyi) доклад o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu* [State

report "On the state and use of land in Russian Federation in 2019"]. Moscow, Rosreestr Publ., 2020, 198 p. (In Russian)
14. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)*

[Methodology of field experience (with the basis of statistical processing of the results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр А. Чибилёв (мл.) и Юрий А. Гулянов анализировали и интерпретировали результаты исследований, проводили корректировку рукописи. Дмитрий С. Мелешкин собрал и обобщил базу данных, подготовил обзор литературы по данному исследованию в трудах отечественных и зарубежных ученых. Дмитрий В. Григоревский обработал первичную информацию, подготовил графический материал. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander A. Chibilyov (jr.) and Yuriy A. Gulyanov analysed and interpreted research results and corrected the manuscript. Dmitry S. Meleshkin collected and summarised the database and prepared a review of the literature of Russian and foreign scientists relating to this study. Dmitry V. Grigorevsky processed primary information and prepared graphic material. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Александр А. Чибилёв (мл.) / Alexander A. Chibilyov (jr.) <https://orcid.org/0000-0003-1109-6231>
Юрий А. Гулянов / Yuriy A. Gulyanov <https://orcid.org/0000-0002-5883-349X>
Дмитрий С. Мелешкин / Dmitry S. Meleshkin <https://orcid.org/0000-0001-8023-3071>
Дмитрий В. Григоревский / Dmitry V. Grigorevsky <https://orcid.org/0000-0003-2354-3035>

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.51; 631.8

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-119-127

Углубленная адаптация технологии возделывания озимой пшеницы в Центрально-Чернозёмном регионе

Иван И. Гуреев, Людмила Б. Нитченко, Иван А. Прущик

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр»,
Курск, Россия

Контактное лицо

Иван И. Гуреев, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией севооборотов и адаптивных агротехнологий, ФГБНУ «Курский ФАНЦ»; 305021 Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б.
Тел. +79103103908

Email gureev06@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-5995-3322>

Формат цитирования

Гуреев И.И., Нитченко Л.Б., Прущик И.А. Углубленная адаптация технологии возделывания озимой пшеницы в Центрально-Чернозёмном регионе // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 119-127. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-119-127

Получена 19 февраля 2021 г.

Прошла рецензирование 26 июля 2021 г.

Принята 6 сентября 2021 г.

Резюме

Цель. На основе углубленной адаптации технологии возделывания озимой пшеницы определить способ обработки почвы и дозу *NPK*, обеспечивающие минимальную себестоимость производства зерна культуры требуемого качества в условиях Центрально-Чернозёмного региона (ЦЧР).

Материалы и методы. Эффективность производства озимой пшеницы во многом зависит от адаптации технологии её возделывания к почвенно-климатическим условиям, которые идентифицируются на уровне агроэкологической провинции. Но основной объект систем земледелия – почвенный покров внутри агроэкологической провинции – отличается высокой территориальной пестротой по плодородию, что не учитывается при разработке агротехнологий и понижает уровень их адаптивности. Поэтому предложено минимизировать использование ресурсов в интенсивных технологиях за счёт углубленной адаптации обработки почвы и удобрения в соответствии с исходным состоянием почвы конкретного поля.

Результаты. Установлено, что для условий ЦЧР оптимальными значениями факторов являются доза $N_{19}P_{39}K_{39}$ и комбинированный способ обработки почвы под озимую пшеницу, которым соответствует минимальная себестоимость зерна 5,38 тыс. руб./т при урожайности 3,38 т/га и содержании белка в зерне 3-его класса 12%.

Заключение. В условиях земледельческих задач, когда между факторами имеется взаимодействие, эффективность углубленной адаптации возрастает при комплексной оптимизации факторов по инновационной методологии с использованием математического способа неопределённых множителей Лагранжа. Комплексная оптимизация факторов позволила определить способ обработки почвы и дозу удобрения, обеспечивающие минимальную себестоимость производства зерна культуры заданного качества в условиях ЦЧР.

Ключевые слова

Углубленная адаптация, озимая пшеница, обработка почвы, минеральное удобрение, оптимизация факторов.

In-depth adaptation of winter wheat cultivation technology in the Central Chernozem region

Ivan I. Gureev, Lyudmila B. Nitchenko and Ivan A. Prushcik

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

Principal contact

Ivan I. Gureev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Crop Rotation and Adaptive Agricultural Technologies, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70b Karl Marx St, Kursk, Russia 305021.

Tel +79103103908

Email gureev06@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5995-3322>

How to cite this article

Gureev I.I., Nitchenko L.B., Prushcik I.A. In-depth adaptation of winter wheat cultivation technology in the Central Chernozem region.

South of Russia: ecology, development. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 119-127. (In Russian) DOI:

10.18470/1992-1098-2022-1-119-127

Received 19 February 2021

Revised 26 July 2021

Accepted 6 September 2021

Abstract

Aim. The purpose of the research is to determine the method of soil cultivation and the dose of NPK, based on in-depth adaptation of winter wheat cultivation technology, ensuring the minimum cost of producing grain of the crop of the required quality in the Central Black Earth Region (CBER).

Materials and Methods. The efficiency of winter wheat production largely depends on the adaptation of the technology of its cultivation to soil and climatic conditions, which are identified at the level of the agroecological province. But the main object of farming systems - the soil cover within the agroecological province is distinguished by a high territorial diversity in fertility, which is not taken into account when developing agricultural technologies and thus lowers the level of their adaptability. Therefore, it is proposed to minimize the use of resources in intensive technologies due to in-depth adaptation of tillage and fertilization in accordance with the initial state of the soil of a particular field.

Results. It was found that for the conditions of the CBER, the optimal values of the factors are the dose $N_{19}P_{39}K_{39}$ and the combined method of tillage for winter wheat, which correspond to the minimum cost of grain of 5.38 thousand roubles/t with a yield of 3.38 t/ha and a 12% protein content in grain of 3rd class.

Conclusion. In addressing agricultural problems when there is an interaction between the factors, the effectiveness of in-depth adaptation increases with the complex optimisation of factors according to innovative methodology using the mathematical method of indefinite Lagrange multipliers. Comprehensive optimisation of the factors made it possible to determine the method of tillage and the dose of fertiliser that would ensure the minimum cost of producing grain of a given quality under the conditions of the CBER.

Key Words

In-depth adaptation, winter wheat, tillage, mineral fertilisation, optimisation of factors.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение России достаточным количеством зерна является гарантией продовольственной безопасности государства. Благоприятные почвенно-климатические условия для ведения зернового хозяйства имеет Центрально-Чернозёмный регион (ЦЧР), который располагает 8,2% пашни Российской Федерации и производит примерно 11,7% зерна.

Ведущее место в общем балансе производимого зерна в ЦЧР занимает озимая пшеница. Посевные площади культуры в регионе превышают 40% площадей всех зерновых, а её доля в валовом сборе достигает 55%. Чернозёмные почвы региона способствуют получению высоких урожаев качественного зерна.

Озимая пшеница широко используется в производстве продуктов питания, кормов сельскохозяйственных животных, а также в качестве промышленного сырья. Её зерно богато белками и другими ценными веществами, которое применяется для производства высококачественных хлебобулочных изделий, макарон и других продуктов. Пшеничные отруби – концентрированный корм всех видов животных. Измельчённую солому в запаренном виде или сдобренную химическими веществами охотно поедает крупный рогатый скот и овцы.

Производство зерна в настоящее время ориентировано на возрастающий уровень интенсификации.

Перспектива развития данного направления во многом определяется новыми требованиями, связанными как с ростом экономических показателей, так и обострением экологических проблем, решение которых обусловлено необходимостью применения инновационных агротехнологий.

Эффективность производства озимой пшеницы во многом зависит от адаптации (соответствия) технологии её возделывания почвенно-климатическим условиям, любые нарушения которого чреваты дополнительными безвозвратными потерями энергии и, как следствие, повышением себестоимости и снижением качества продукции. Адаптация технологии позволяет повысить урожайность культуры и снизить затраты на её производство за счёт рационального использования ресурсов почвы и соответствия агротехнических приёмов биологическим особенностям растений.

Хронология развития систем земледелия и, соответственно, технологий производства зерновых культур, свидетельствует о нарастающем с течением времени уровне их адаптации к природно-ресурсному потенциалу. Каждый последующий этап адаптации характеризовался ростом продуктивности и экологической безопасности ведения земледельческой отрасли (табл. 1).

Таблица 1. Хронология адаптации систем земледелия к ландшафту

Table 1. Chronology of adaptation of farming systems to the landscape

Этапы формирования систем земледелия Stages of the formation of farming systems	Содержание этапов Content of stages
60-е годы XX века. Система Мальцева Т.С., почвозащитная система Бараева А.И. 60s of the twentieth century System Maltseva T.S., soil protection system Baraeva A.I.	Впервые выделены экологически ориентированные системы земледелия For the first time, ecologically oriented farming systems are identified
80-е годы XX века Зональные системы земледелия 80s of the 20 th century Zonal farming systems	Ориентированы территориально на применение в области, крае или автономной республике Geographically oriented towards application in the region, territory or autonomous republic
90-е годы XX века Ландшафтные системы земледелия адаптированы к агроэкологической провинции 90s of the 20 th century Landscaping farming systems are adapted to the agro-ecological province	Ориентированы на применение в зоне, характеризующейся особенностью почвенного покрова связанного с микроклиматом Oriented for use in an area characterized by the peculiarity of the soil cover associated with the microclimate
Предлагаются Ландшафтные системы земледелия углубленной адаптации Proposed Advanced adaptation landscape farming systems	Адаптированы к множеству сочетаний показателей исходных свойств почвы внутри агроэкологической провинции Adapted to many combinations of indices of initial soil properties within an agro-ecological province

Огромная территория нашей страны отличается многообразием условий произрастания культур, предопределяющих значимые различия в сельскохозяйственном использовании земель. Для адаптации технологий к вариабельным условиям наукой и практикой проведено объёмное изучение особенностей почвенного покрова России, рельефа, климата, погоды, гидрологического и теплового

режимов. На основе полученных знаний выполнена ландшафтно-сельскохозяйственная типизация территории, в результате чего природно-географические объекты поделены на земледельческие зоны, привязанные к административному делению страны на республики, края, области и районы.

В свою очередь выделенные зоны разбиты на подзоны, позволяющие идентифицировать почвенно-климатические условия на уровне агроэкологической провинции. Сходство подзон различных административно-территориальных единиц позволило разработать для расположенных на них хозяйств аналогичных систем земледелия [1]. Но основной объект систем земледелия – почвенный покров внутри выделенных подзон – отличается высокой территориальной пестротой по плодородию, что не учитывается при разработке агротехнологий и понижает уровень их адаптивности.

С развитием цифровых технологий и многофункциональной сельскохозяйственной техники возможности дальнейшей адаптации земледельческой отрасли существенно расширились. Появилась возможность оперативно принимать решения по управлению производственным процессом сельскохозяйственных культур с учётом обширной информации о вариативности среды обитания растений внутри агроэкологической провинции. Из этого следует, что наиболее кардинальным путём совершенствования систем земледелия является углубленная адаптация агротехнологий к условиям произрастания, сужающаяся от объёмной агроэкологической провинции до конкретного поля внутри неё [2] (табл. 1).

Урожаи культур формируются преимущественно через плодородие почвы, поэтому углубленная адаптация должна быть ориентирована, прежде всего, на информацию о вариативности плодородия, к которому дифференцированно применяют варианты адаптивных технологий. Каждому из возможных уровней плодородия должен соответствовать свой адаптивный вариант механизированной технологии, оснащённой соответствующей техникой и другими ресурсами. Из обширного массива возможных вариантов исходного состояния почвы после предшественников различной степени благоприятности группируют основные, выраженные с учётом взаимосвязи функций обработки почвы при её исполнении [3].

Углубленная адаптация реализуется в соответствии с принципами экономико-экологической эффективности через элементы адаптивного варианта технологии [2], важнейшими из которых являются обработка почвы и удобрение.

Обработка почвы – многофункциональный агротехнический приём, обладающий способностью регулирования плотности почвы и режима питания растений, уничтожения сорняков, вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Значимость обработки усиливается ещё и тем, что в технологиях она первая в исполнении и по содержанию собственных свойств оказывает влияние на последующие приёмы и насыщенность технологий ресурсами. От выбора способа обработки во многом зависит состав технологии, затраты ресурсов на её исполнение и экологические последствия в виде уплотнения почвы движителями машинотракторных агрегатов и загрязнения окружающей среды выхлопными газами [4].

Интенсивность адаптивной обработки зависит от исходного состояния почвы. Принцип углубленной адаптации состоит в минимизации интенсивности обработки в допустимых пределах, что позволяет экономно расходовать ресурсы и оказывать щадящее воздействие на окружающую среду [5].

Другим значимым элементом технологии является удобрение, без которого немыслима интенсификация производства сельскохозяйственных культур. Удобрение является мощным рычагом управления продуктивностью растений при одновременном снижении потерь питательных веществ почвой [6].

Урожай культур формируется, прежде всего, за счёт фитоценоза, являющегося не только биологической категорией, но и агрономической. Примерно 95% массы сухого органического вещества урожая создаётся фотосинтезом. Элементы же минерального питания, составляя лишь около 5% сухой массы, служат средством формирования фотосинтетического аппарата, а также его адаптации к вариативному радиационному режиму и, в конечном счёте, повышают КПД фотосинтетической активной радиации (ФАР).

Удобрение дорогостоящий и экологически небезопасный ресурс, загрязняющий почву при избыточном внесении. Дефицит его, так же как и избыток, негативно сказывается на урожайности и качестве растениеводческой продукции [7; 8]. Повышению эффективности удобрения способствует сбалансированное его внесение в соответствии с потребностью растений [9].

Цель исследований – на основе углубленной адаптации технологии возделывания озимой пшеницы определить способ обработки почвы и дозу *НРК*, обеспечивающие минимальную себестоимость производства зерна культуры требуемого качества в условиях ЦЧР.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эффективность углубленной адаптации факторов обработки почвы и удобрения возрастает при их оптимизации. Учитывая взаимосвязанное влияние данных факторов на урожайность и экономические показатели, оптимизация должна быть комплексной.

Методология такой оптимизации разработана с использованием метода неопределённых множителей Лагранжа, который позволяет на основе математического моделирования определять стационарные точки функции параметра оптимизации, когда между факторами имеется взаимодействие, характерное для решения земледельческих задач [10]. Помимо повышенной точности оптимизации, подобное моделирование позволяет выявить синергию факторов в исследуемых технологических процессах [11]. Используя инновационную методологию, провели комплексную оптимизацию факторов обработки почвы и удобрения в технологии возделывания озимой пшеницы.

Экспериментальные исследования выполнили в 2016–2020 гг. в стационарном многофакторном полевом опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (ЦЧР, Медвенский район Курской области). Опытный

участок расположен на склоне северной экспозиции в зернотравянопаропашном севообороте. Почва – чернозём типичный тяжелосуглинистый слабосмытый с содержанием гумуса 5,1%, $pH_{KCl} = 5,7$, щёлочногидролизуемого азота – 18, подвижного фосфора – 9,3 и обменного калия – 8,8 мг на 100 г почвы.

Изучали влияние факторов дозы удобрения и способов обработки почвы на урожайность зерна озимой пшеницы, содержание в нём белка и себестоимость производимой продукции.

Доза удобрения – фактор количественный, уровням его варьирования в опыте соответствовала числовая шкала: без удобрений, $N_{20}P_{40}K_{40}$ и $N_{40}P_{80}K_{80}$. Способы основной обработки почвы (отвальная, комбинированная и безотвальная) – фактор качественный. Отвальную и безотвальную обработку проводили на глубину 20-22 см, комбинированная обработка включала в себя отвальную на глубину 20-22 см + поверхностную обработку на глубину 8-10 см.

Качественные факторы или количественные, трактуемые как качественные, исследуются дисперсионным анализом. Их оптимизация возможна выделением лучших уровней, количество которых ограничивается условиями опыта. К примеру, в задаче из трёх уровней фактора оптимизацией можно выделить один оптимальный уровень. Но такая оптимизация грубая, так как не учитывает взаимодействие факторов. Кроме того, для количественных факторов, трактуемых как качественные, не учитываются возможные оптимальные значения в промежутке между исследуемыми уровнями.

Таблица 2. Уровни варьируемых факторов

Table 2. Levels of variable factors

Фактор Factor	Обозначение Designation	Уровни варьирования: кодовые Variation levels: code		
		-1	0	1
		Натуральные / Natural		
Доза удобрения Fertilizer dose	X_1	0	$N_{20}P_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{80}K_{80}$
Способ обработки почвы Tillage method	X_2	Отвальная Tillage	Комбинированная Combined	Безотвальная No-till

Качественные факторы также кодировали. Но учитывая дискретность, анализ полиномиальной модели проводили только на каком-то одном из значений.

Наиболее простые из планов второго порядка – ортогональные. Преимущество их состоит в том, что коэффициенты уравнения регрессии и их дисперсии оцениваются независимо, следствием чего является резкое сокращение объёма вычислительных работ. Поэтому факторы с незначимыми коэффициентами отбрасываются без пересчёта оставшихся значимых коэффициентов. Всё это позволяет упростить расчёты и снизить ошибки при выполнении исследований [12].

Используя центральный ортогональный композиционный план, составили матрицу

Подобные задачи более успешно решаются использованием регрессионных моделей, получаемых статистическими методами планирования и анализа эксперимента, когда исследуется поведение результирующего признака функции при определённом изменении одного или нескольких факторов. Связь между функцией и факторами выражается уравнениями регрессии в виде полиномов, являющихся рядами Тейлора, коэффициенты которых получают разложением неизвестной функции в окрестностях некоторой точки многофакторного пространства.

Земледельческие задачи достаточно сложные и очень часто исследуемые процессы невозможно описать полиномами первого порядка вследствие их неадекватности. В таких случаях используют полиномы второго или более высокого порядка. В планах экспериментов для описания процессов полиномами второго порядка факторы варьируют не менее чем на трёх уровнях, и должно выполняться условие получения отдельных оценок всех коэффициентов полиномиальных уравнений.

С целью использования стандартных планов эксперимента натуральные значения факторов кодировали, после чего их уровни приняли значения (-1) и (+1). Нулевым уровнем являлся центр интервала, в котором проводился эксперимент. Кодирование факторов облегчает расчёты, так как их уровни в относительных единицах не зависят от физической природы и интервалов варьирования (табл. 2).

планирования эксперимента, которую реализовали для урожайности зерна культуры, содержания белка в нём и себестоимости производимой продукции (табл. 3).

Изменения выходной величины носят случайный характер. Поэтому во избежание систематических ошибок опыты проводили в случайном порядке и повторяли трижды. Статистическую значимость коэффициентов уравнений регрессии оценивали по t -критерию Стьюдента. Воспроизводимость эксперимента устанавливали по критерию Кохрена. Адекватность описания исследуемого процесса полиномом второй степени оценивали с использованием F -критерия Фишера.

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента
Table 3. Experiment planning matrix

№ опыта No.	Уровни варьирования факторов Factor variation levels		Урожайность зерна, т/га Grain yield, t/ha		Содержание белка в зерне, % Protein content in grain, %		Себестоимость производимой продукции, тыс. руб./т Cost of manufactured products, thousand rubles/t							
	X ₁	X ₂	повторения repetitions	среднее average	повторения repetitions	среднее average	повторения repetitions	среднее average						
1	1	1	3,43	4,34	4,35	4,04	11,7	11,3	14,9	12,6	6,54	5,22	5,2	5,65
2	1	-1	3,7	4,17	4,62	4,16	12,4	11,7	14,9	13,0	6,57	5,7	5,35	5,87
3	-1	1	1,83	2,55	2,22	2,20	10,3	10,5	14,5	11,8	7,28	5,25	6,22	6,25
4	-1	-1	2,59	2,9	2,47	2,65	11,4	10,7	11,8	11,3	5,87	5,38	6,12	5,79
5	1	0	3,12	4,4	4,4	3,97	11	11,7	15	12,6	7,04	5,05	5,05	5,71
6	-1	0	1,95	2,52	2,27	2,25	10,6	10,6	11	10,7	6,95	5,34	5,9	6,06
7	0	1	3,06	3,06	3,97	3,36	10,8	10,6	14,8	12,1	5,9	5,9	4,62	5,47
8	0	-1	3,17	4,18	3,58	3,64	11,8	11,3	14,5	12,5	6,28	4,72	5,45	5,48
9	0	0	2,89	3,54	3,92	3,45	10,8	11,1	14,9	12,3	6,3	5,12	4,5	5,31

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После обработки экспериментальных данных получили адекватные нелинейные уравнения регрессии (1) урожайности зерна озимой пшеницы, себестоимости его производства и содержания в нём белка, зависимость от дозы удобрений и способа обработки почвы:

$$Y_{\text{п}} = 3,41 + 0,85X_1 - 0,14X_2 + 0,08X_1X_2 - 0,27X_1^2 + 0,12X_2^2, \frac{\text{т}}{\text{га}};$$

$$C = 5,38 - 0,14X_1 - 0,17X_1X_2 + 0,47X_1^2, \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{т}};$$

$$B = 12,0 + 0,73X_1 - 0,06X_2 + 0,21X_1X_2, \%$$
(1)

где $Y_{\text{п}}$ – урожайность зерна озимой пшеницы, т/га;

C – себестоимость производства зерна, тыс. руб./т;

B – содержание белка в зерне, % (согласно ГОСТ 9353-2016, у пшеницы 3-его класса массовая доля белка, в пересчёте на сухое вещество, должна быть не менее $B=12\%$).

В соответствии с целью исследований параметром оптимизации является себестоимость производимой продукции, которую необходимо минимизировать. Оптимизацию проводили инновационным методом – применением математического способа неопределённых множителей Лагранжа, в соответствии с которым условие для определения экстремальных значений параметра оптимизации представлено в виде [1]:

$$\frac{dC}{dX_1} + \lambda \frac{dB}{dX_1} = 0;$$

$$\frac{dC}{dX_2} + \lambda \frac{dB}{dX_2} = 0;$$

$$\varphi = \varphi(B, X_1, X_2) = 0; \quad \text{где}$$

λ – множитель Лагранжа. В физических задачах он постоянен и не несёт информационной ценности, но определение его значительно проще, чем исключение неизвестной через уравнение связи;

φ – уравнение содержания белка в зерне, используемое в качестве связи (2):

$$\varphi = B - 12,0 - 0,73X_1 + 0,06X_2 - 0,21X_1X_2 = 0, \%. \quad (2)$$

После преобразований получили систему трёх уравнений (3), отвечающую условию стационарности функции себестоимости производства зерна:

$$-0,14 + 0,94X_1 - 0,17X_2 + \lambda(0,73 - 0,21X_2) = 0;$$

$$0,17X_1 + \lambda(0,06 + 0,21X_1) = 0; \quad (3)$$

$$\varphi = B - 12,0 - 0,73X_1 + 0,06X_2 - 0,21X_1X_2 = 0.$$

Решение данной системы имеет вид: $X_1 = -0,0343$; $X_2 = -0,474$; $\lambda = 0,11$. Перевод кодовых значений оптимизируемых факторов в натуральные показал дозу $N_{19}P_{39}K_{39}$ и предпочтение комбинированного способа обработки почвы. Подставляя полученные значения факторов в уравнения (1), получили минимальное значение себестоимости 5,38 тыс.руб./т при урожайности 3,38 т/га и содержании белка в зерне 3-его класса 12%.

Графический анализ уравнений регрессии приведен на рисунке 1.

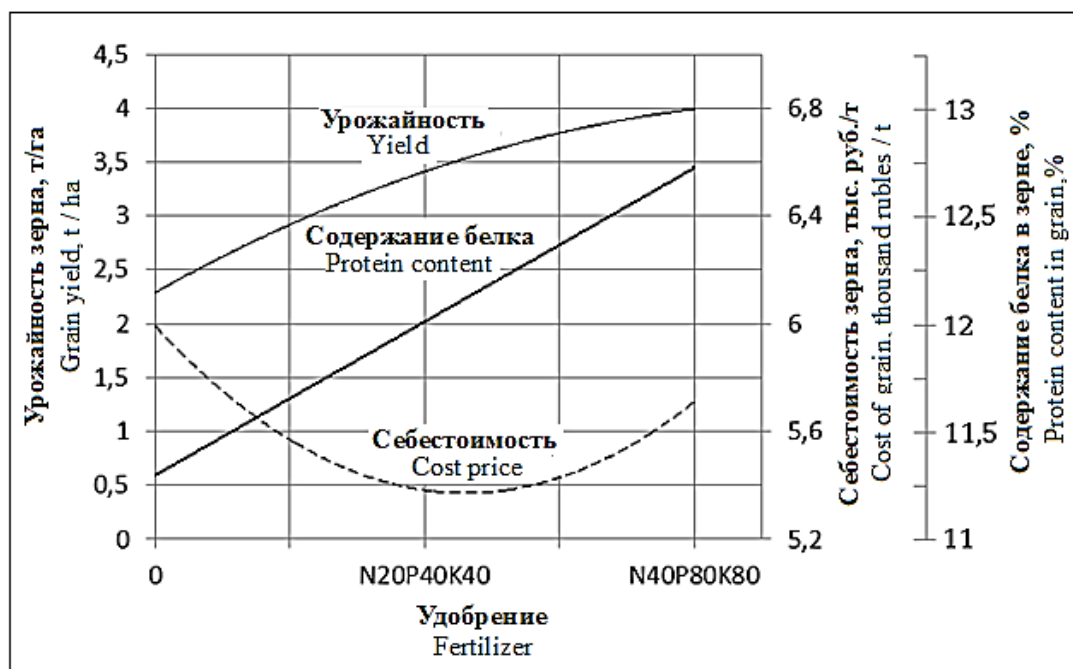


Рисунок 1. Агроэкономические показатели производства озимой пшеницы в зернотравянопропашном севообороте

Figure 1. Agroeconomic indicators of winter wheat production in grain-grass-row crop rotation

С повышением дозы удобрений урожайность зерна и содержание в нём белка возрастает на всём

исследуемом диапазоне. Рост урожайности происходит по нелинейной зависимости с

понижением скорости нарастания равной $\frac{dY_n}{dx_1} = 0,85 - 0,54X_1$. Одновременно линейно наращивается содержание белка в зерне. Себестоимость на участке изменения дозы удобрения от 0 до $N_{19}P_{39}K_{39}$ уменьшается. Но затраты на дальнейшее повышение дозы удобрения не окупаются стоимостью уменьшающейся прибавки урожайности. Поэтому на участке от $N_{19}P_{39}K_{39}$ до $N_{40}P_{80}K_{80}$ себестоимость плавно возрастает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минимизировать использование ресурсов в интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы позволяет углубленная адаптация факторов обработки почвы и удобрения внутри агроэкологической провинции. В условиях земледельческих задач, когда между факторами имеется взаимодействие, эффективность углубленной адаптации возрастает при комплексной оптимизации факторов по инновационной методологии с использованием математического метода неопределённых множителей Лагранжа. Комплексная оптимизация факторов позволила определить способ обработки почвы и дозу удобрения, обеспечивающие минимальную себестоимость производства зерна культуры заданного качества в условиях ЦЧР.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Курский ФАНЦ» по теме № FGZU-2022-0005.

ACKNOWLEDGMENT

The research is carried out within the framework of the state task for Kursk Federal Agricultural Research Centre on the theme No. FGZU-2022-0005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. Москва: ВНИИА, 2012. 512 с.
2. Гуреев И.И. Принципы углубленной адаптации технологий возделывания сельскохозяйственных культур к исходному состоянию почвы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. N 9. С. 6-13.
3. Гуреев И.И., Дьяков В.П., Гребенщиков Г.К., Дурдыев С. Региональный регистр комплексов машин для механизации перспективных агротехнологий (рекомендации). Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2015. 59 с.
4. Holthusen D., Brandt A.A., Reichert J.M., Fleige H., Zink A. Soil functions and in situ stress distribution in subtropical soils as affected by land use, vehicle type, tire inflation pressure and plant residue removal // *Soil & Tillage Research*. 2018. V. 184. P. 78-92. DOI: 10.1016/j.still.2018.07.009
5. Sangines de Carcer P., Sinaj S., Santonja M., Fossati D., Jeangros B. Long-term effects of crop succession, soil tillage and climate on wheat yield and soil properties // *Soil & Tillage Research*. 2019. V. 190. P. 209-219. DOI: 10.1016/j.still.2019.01.012
6. Cook R.L., Trlica A. Tillage and fertilizer effects on crop yield and soil properties over 45 years in southern Illinois // *Agronomy Journal*. 2016. V. 108. Iss. 1. P. 415-426. DOI: 10.2134/agronj2015.0397

7. Хорошкин А.Б. Способы повышения эффективности минерального питания сельскохозяйственных культур. Краснодар: Агромастер, 2010. 67 с. URL: http://agromaster.ru/files/kniga_2011.pdf (дата обращения 23.12.2020)
8. Monreal C., DeRosa M., Mallubhotla S., Bindraban P.S., Dimkpa Ch. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients // *Biology and Fertility of Soils*. 2016. V. 52. N 3. P. 423-437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5
9. Ding W., Xu X., He P., Ullah S., Zhang J., Cui Zh., Zhou W. Improving yield and nitrogen use efficiency through alternative fertilization options for rice in China: a meta-analysis // *Field Crops Research*. 2018. V. 227. P. 11-18. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.08.001
10. Гуреев И.И. Методологические основы оптимизации ресурсов в производстве продукции земледелия // *Земледелие*. 2020. N 1. С. 30-32. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10108
11. Donato C., Maestrini B., Pezzuolo A., Marinello F., Sartori L. Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions // *Soil & Tillage Research*. 2018. V. 183. P. 51-59. DOI: 10.1016/j.still.2018.06.001
12. Бородюк В.П., Вошинин А.П., Иванов А.З. Статистические методы в инженерных исследованиях. Москва: Высшая школа, 1983. 216 с.

REFERENCES

1. Loshakov V.G. *Sevooborot i plodorodie pochvy* [Crop rotation and soil fertility]. Moscow, VNIIA Publ., 2012, 512 p. (In Russian)
2. Gureev I.I. Principles of in-depth adaptation of crop cultivation technologies to the initial state of the soil. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. 2019, no. 9, pp. 6-13. (In Russian)
3. Gureev I.I., Dyakov V.P., Grebenshchikov G.K., Durdyev S. *Regionalnyy registr kompleksov mashin dlya mekhanizatsii perspektivnykh agrotekhnologiy (rekomentatsii)* [Regional register of machine complexes for the mechanization of promising agricultural technologies (recommendations)]. Kursk, All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion Publ., 2015, 59 p. (In Russian)
4. Holthusen D., Brandt A.A., Reichert J.M., Fleige H., Zink A. Soil functions and in situ stress distribution in subtropical soils as affected by land use, vehicle type, tire inflation pressure and plant residue removal. *Soil & Tillage Research*, 2018, vol. 184, pp. 78-92. DOI: 10.1016/j.still.2018.07.009
5. Sangines de Carcer P., Sinaj S., Santonja M., Fossati D., Jeangros B. Long-term effects of crop succession, soil tillage and climate on wheat yield and soil properties. *Soil & Tillage Research*, 2019, vol. 190, pp. 209-219. DOI: 10.1016/j.still.2019.01.012
6. Cook R.L., Trlica A. Tillage and fertilizer effects on crop yield and soil properties over 45 years in southern Illinois. *Agronomy Journal*, 2016, vol. 108, iss. 1, pp. 415-426. DOI: 10.2134/agronj2015.0397
7. Khoroshkin A.B. *Sposoby povysheniya effektivnosti mineralnogo pitaniya selskokhozyaystvennykh kultur* [Ways to improve the efficiency of mineral nutrition of agricultural crops]. Krasnodar, Agromaster Publ., 2010, 67 p. (In Russian). Available at: http://agromaster.ru/files/kniga_2011.pdf (accessed 23.12.2020)
8. Monreal C., DeRosa M., Mallubhotla S., Bindraban P.S., Dimkpa Ch. Nanotechnologies for increasing the crop use

efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biology and Fertility of Soils*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 423-437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5

9. Ding W., Xu X., He P., Ullah S., Zhang J., Cui Zh., Zhou W. Improving yield and nitrogen use efficiency through alternative fertilization options for rice in China: a meta-analysis. *Field Crops Research*, 2018, vol. 227, pp.11-18. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.08.001

10. Gureev I.I. Methodological foundations of resource optimization in the production of agricultural products. *Zemledelie [Agriculture]*. 2020, no. 1, pp. 30-32. (In Russian) DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10108

11. Donato C., Maestrini B., Pezzuolo A., Marinello F., Sartori L. Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions. *Soil & Tillage Research*, 2018, vol. 183, pp. 51-59. DOI: 10.1016/j.still.2018.06.001

12. Borodyuk V.P., Voshchinin A.P., Ivanov A.Z. *Statisticheskie metody v inzhenernykh issledovaniyakh [Statistical methods in engineering research]*. Moscow, Vysshaia shkola Publ., 216 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Иван И. Гуреев разработал теорию углубленной адаптации технологий возделывания сельскохозяйственных культур и впервые использовал метод неопределённых множителей Лагранжа для решения земледельческих задач. Людмила Б. Нитченко участвовала в закладке полевого опыта и выполнила обработку экспериментальных данных. Иван А. Прущик участвовал в получении экспериментальных данных. 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

Ivan I. Gureev developed the theory of in-depth adaptation of technologies for the cultivation of agricultural crops and for the first time used the method of indefinite Lagrange multipliers to solve agricultural problems. Lyudmila B. Nitchenko participated in the laying of the field experiment and carried out the processing of the experimental data. Ivan A. Prushcik participated in obtaining experimental data. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Иван И. Гуреев / Ivan I. Gureev <https://orcid.org/0000-0001-5995-3322>

Людмила Б. Нитченко / Lyudmila B. Nitchenko <https://orcid.org/0000-0002-8744-6130>

Иван А. Прущик / Ivan A. Prushcik <https://orcid.org/0000-0002-7737-7397>

Оригинальная статья / Original article

УДК 633.16:631.559

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135

Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ

Ольга В. Левакова¹, Иван А. Дедушев², Любовь М. Ерошенко², Максим М. Ромахин², Анатолий Н. Ерошенко², Николай А. Ерошенко², Михаил А. Болдырев², Ольга В. Гладышева¹

¹Институт семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Рязанская область, с. Подвязье, Россия

²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московская область, Одинцовский район, пос. Новоивановское, Россия

Контактное лицо

Ольга В. Левакова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства зерновых культур, старший научный сотрудник; 390502 Россия, Рязанская область, Рязанский район, с. Подвязье, ул. Парковая, 1.
Тел. +79106138647
Email levakova.olga@bk.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>

Формат цитирования

Левакова О.В., Дедушев И.А., Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А., Болдырев М.А., Гладышева О.В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, N 1. С. 128-135. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135

Получена 24 февраля 2021 г.

Прошла рецензирование 17 мая 2021 г.

Принята 5 сентября 2021 г.

Резюме

Цель. Изучить влияние погодных условий на формирование урожая ярового ячменя при современных изменениях климата.

Материал и методы. Объект исследования – сорта и линии ярового ячменя селекции ФИЦ «Немчиновка», которые ежегодно изучались в 2001-2020 гг. в конкурсном испытании в условиях Московской области. По метеорологическим данным ФИЦ «Немчиновка» рассчитаны среднемесячные показатели суммы осадков, температуры воздуха и ГТК_м. Математическая обработка данных урожайности произведена на компьютере с помощью программы Excel.

Результаты. Значительное повышение среднемесячной температуры воздуха в течение весенне-летнего сезона, увеличение суммы выпавших осадков в мае и снижение ее в другие месяцы вегетации указывают на изменение климатических условий региона. В благоприятные годы при значении ГТК_м от 1,32 до 2,34 урожайность ячменя в среднем составила 5,88 т/га, а в засушливые годы при показателях ГТК_м от 0,48 до 1,26 – 3,28 т/га. В весенне-летний период наблюдалась относительно устойчивая изменчивость урожайности от динамики суммы осадков и ГТК_м ($r = 0,346 \dots 0,572$). Отрицательная корреляционная зависимость урожайности сортов от среднемесячной температуры воздуха в течение всего сезона имела относительно неустойчивый характер и проявлялась как очень слабая или средняя ($r = -0,021 \dots -0,372$).

Заключение. Наблюдаемый в условиях Московской области положительный тренд урожайности при ежегодном использовании одинаковой агротехники обусловлен повышением адаптивного потенциала новых сортов и линий селекции ФИЦ «Немчиновка».

Ключевые слова

Московская область, яровой ячмень, урожайность, гидротермические условия, статистический анализ.

Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation

Olga V. Levakova¹, Ivan A. Dedushev², Lyubov M. Eroshenko², Maxim M. Romakhin², Anatoly N. Eroshenko², Nikolay A. Eroshenko², Mikhail A. Boldyrev² and Olga V. Gladysheva¹

¹Institute of Seed Production and Agrotechnology – Branch of Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Podvyazye village, Ryazan region, Russia

²Nemchinovka Federal Research Centre, Novoivanovskoye village, Odintsovo district, Moscow region, Russia

Principal contact

Olga V. Levakova, Candidate of Agricultural Sciences, Head and Senior Researcher, Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Grain Crops; 1 Parkovaya St, Podvyazye village, Ryazan district, Ryazan region, Russia 390502.

Tel. +79106138647

Email levakova.olga@bk.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>

How to cite this article

Levakova O.V., Dedushev I.A., Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko A.N., Eroshenko N.A., Boldyrev M.A., Gladysheva O.V. Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 128-135. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135

Received 24 February 2021

Revised 17 May 2021

Accepted 5 September 2021

Abstract

Aim. To study the influence of weather conditions on the formation of the spring barley crop under prevailing climatic changes.

Material and Methods. The object of research was varieties and lines of spring barley of the FITZ Nemchinovka selection, which were studied annually in 2001-2020 in a competitive test in the conditions of the Moscow region. According to the meteorological data for the FITZ Nemchinovka, the average monthly indicators of precipitation, air temperature and GTCM were calculated. Mathematical processing of yield data was undertaken on a computer using the Excel programme.

Results. A significant increase in the average monthly air temperature during the spring-summer season, an increase in the amount of precipitation in May and a decrease in other months of the growing season indicate a change in the climatic conditions of the region. In favorable years, with a GTCM value from 1.32 to 2.34, the average yield of barley was 5.88 t/ha and in dry years with GTCM values from 0.48 to 1.26 – 3.28 t/ha. In the spring-summer period, there was a relatively stable variability in yield from the dynamics of precipitation and GTCM ($r = 0.346...0.572$). The negative correlation dependence of the yield of varieties on the average monthly air temperature throughout the season had a relatively unstable character and manifested itself as very weak or medium ($r = -0.021...-0.372$).

Conclusion. The positive yield trend observed in the conditions of the Moscow region with the annual use of the same agricultural machinery is due to an increase in the adaptive potential of new varieties and breeding lines of FITZ Nemchinovka.

Key Words

Moscow region, spring barley, yield, hydrothermal conditions, statistical analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Ячмень является важнейшей культурой в мировом земледелии, что связано с его многоцелевым использованием и невысокой требовательностью к условиям выращивания. Формирование урожая культуры в значительной степени определяется генотипом, природно-климатическими условиями региона и режимом питания. Наибольшее влияние на величину зерновой продуктивности сортов ячменя оказывает температура воздуха и выпадение осадков. В многочисленных исследованиях установлено, что доля вклада погодных факторов в фенотипическую изменчивость урожая ячменя может достигать 81% [1-4].

Устойчивая тенденция потепления климата во многих регионах России привела к повышению температуры воздуха и учащению повторяемости жарких периодов, шквалистых ветров, ливней и других погодных аномалий [5]. Общая направленность изменения климата в сторону увеличения температуры воздуха и усиления засушливости из-за неравномерного характера выпадения осадков особенно характерна для последних двадцати лет [6]. При отрицательном тренде летних осадков в эти годы зафиксирован значительный рост основного агроклиматического показателя – суммы активных температур, скорость которого в среднем для территории России составляла $\sim 90^\circ/10$ лет [7].

По данным Росстата за это время отмечается повышение среднегодовой урожайности ячменя. В 2001-2010 гг. она составляла 1,98 т/га, в 2011-2019 гг. – возросла до 2,14 т/га. В динамике 2001-2019 гг. за 5 лет (к 2014 году) она увеличилась на 5,4% (на 0,13 т/га). За 10 лет она выросла на 3,7% (на 0,09 т/га), а к 2001 году – на 16,2% (на 0,39 т/га) [8]. Одновременно с повышением зерновой продуктивности при современном климате наблюдается усиление изменчивости урожайности сортов ячменя, которая может свидетельствовать об ухудшении биоклиматического потенциала определенных территорий. Проявления экстремальных явлений еще больше усугубляют изменчивость урожайности, обусловленную колебаниями в выпадении осадков и изменением температурного режима в период вегетации [4; 9; 10].

Климатическая изменчивость в условиях Нечерноземной зоны из-за особенностей сельскохозяйственных сезонов, ограничивающих получение высоких и устойчивых урожаев, особенно негативно может сказаться на получении стабильных урожаев ячменя.

Наибольшая чувствительность к теплообеспеченности и недостатку влаги у ячменя наблюдается в период кущения и трубкования, когда закладываются побеги кущения, от которых зависит густота стеблестоя, и идет формирование элементов продуктивности колоса [11]. В итоге условия среды в этот период оказывают решающее влияние на величину будущего урожая ячменя. Достаточное снижение урожая ячменя, по данным A. Resio, D. Wach [12], провоцируют абиотические стрессы в фазу флагового листа и колошения, при этом реакция на них является сортовой. Как быстро растущая

культура, ячмень не способен использовать поздние осадки для повышения зерновой продуктивности растений [13]. Однако засушливые условия в период зернообразования способствуют сокращению времени налива и созревания и тем самым снижают урожайность [14].

В селекционной работе, направленной на повышение адаптивного потенциала, исследования по влиянию изменения климата на зерновую продуктивность сортов ячменя являются актуальными.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Созданию сортов с широким адаптивным потенциалом способствует испытание и отбор ценного исходного материала в различных экологических нишах. В связи с чем, на основании договоров о творческом сотрудничестве по созданию экологически пластичных сортов ярового ячменя одновременная оценка селекционного материала проходит в двух географических пунктах – ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» (Московская область) и ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Рязанская область). Объект исследования – сорта и линии селекции ФИЦ «Немчиновка», которые ежегодно в количестве 55-60 номеров изучались в 2001-2020 гг. в конкурсном испытании в условиях Московской области.

Срок посева – третья декада апреля. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая окультуренная, глубина пахотного слоя характеризуется следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 1,8-2,0%; pH солевой вытяжки – 5,6-5,8; сумма поглощенных оснований – 19,0-22,3 мг/экв. на 100г почвы; P_2O_5 (по Кирсанову) – 260-280 мг/кг; K_2O – 100-120 мг/кг почвы. Предшественник – озимая пшеница. В экспериментах использовали основные методики и схемы, общепринятые в научно-исследовательских учреждениях и в Государственном сортоиспытании [15], а также методику полевого опыта по Б.А. Доспехову [16]. По метеорологическим данным ФИЦ «Немчиновка» были рассчитаны среднемесячные показатели суммы осадков и температуры воздуха, а также среднемесячные значения гидротермического коэффициента ($ГТК_M$), как показателя, влияющего на продуктивность различных сельскохозяйственных культур [17; 18]. Условия вегетационных периодов 2001-2020 гг. отличались по гидротермическому режиму. Оптимальными по влагообеспеченности были 2003, 2004, 2008, 2009, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017, 2020 годы ($ГТК_M = 1,32-2,34$), а неблагоприятными – 2001, 2002, 2005, 2006, 2007, 2010, 2011, 2014, 2018, 2019 годы ($ГТК_M = 0,50-1,30$). Математическая обработка данных урожайности произведена на компьютере с помощью программы Excel.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ агрометеорологических показателей за 2001-2020 гг., представленных в таблице 1 показал, что очень сухие условия отмечены в двух, а сухие и относительно сухие – в четырех годах исследований. Пять лет из двадцати характеризовались как

оптимальные, два года как относительно влажные и три года как влажные. В сухие и очень сухие годы недобор осадков до среднемноголетних значений (от 11,4 до 73,4 мм) характерен для всех месяцев весенне-летнего сезона, в то же время в относительно сухие годы (от 26,2 до 41,8 мм) – только для июля и августа. В благоприятных по климатической обстановке условиях наибольшее количество осадков зарегистрировано в июле, когда их сумма в среднем составила 113,0 мм, или 131,7% среднемноголетних значений. При превышении многолетней нормы в мае на 22,1 мм, сумма выпавших осадков в июне и августе оптимального режима практически соответствовала норме (74,5-77,2 мм). С учетом влагообеспеченности условия мая в относительно влажные годы отличались избыточным переувлажнением ($ГТК_M=2,80$). Положительная разница между фактическими и многолетними данными суммы осадков в мае, июне, июле, соответственно, составляла 69,2 мм, 9,7 мм и 30,1 мм. Высокая влагообеспеченность жизненного цикла растений ячменя во влажные годы ($ГТК_M=1,91-2,54$)

гарантирована обильным выпадением осадков, наибольшее превышение которых над нормой в мае достигало 81,4%. Наблюдаемое увеличение майских осадков отмечено в основном в оптимальные по гидротермическому режиму годы. В среднем за двадцатилетний период сумма осадков превысила норму мая на 18,1 мм, в то время как недовыпадение в летние месяцы составила от 2,7 до 12,2 мм. При оценке теплового ресурса периода вегетации ячменя в различных условиях гидротермического режима обозначена положительная тенденция роста средней температуры воздуха во все месяцы. Фактическая средняя температура периода вегетации в сухие и очень сухие годы была выше многолетней на 1,8-2,0°C, в относительно сухие и благоприятные годы – на 1,4°C, в относительно влажные и влажные годы – на 0,6-0,8°C. Более высокое превышение над среднемноголетними показателями отмечено в июле (+1,9°C), наименьшее в – июне (+0,4°C). Средняя температура воздуха за вегетационный период 2011-2020 года на 0,6°C была выше значения предшествующего десятилетнего периода.

Таблица 1. Агроклиматические характеристики вегетационного периода ячменя в условиях Московской области (2001-2020 гг.)

Table 1. Agro-climatic characteristics of the barley growing season in the conditions of the Moscow region (2001-2020)

Гидротермические условия периода вегетации Hydrothermal conditions of the growing season	Показатель Index	Месяц / Month			
		Май May	Июнь June	Июль July	Август August
Очень сухой, $0,41 < ГТК_M < 0,7$ (2002, 2014 гг.) Very dry, $0.41 < ГТК_M < 0.7$ (2002, 2014)	Осадки, мм Precipitation, mm	29,0	53,2	12,4	47,0
	Температура, °C Temperature, °C	14,4	17,0	22,2	17,8
	$ГТК_M / ГТК_M$	0,63	1,06	0,18	0,84
Сухой, $0,71 < ГТК_M < 1,0$ (2007, 2011, 2018, 2019 гг.) Dry, $0.71 < ГТК_M < 1.0$ (2007, 2011, 2018, 2019)	Осадки, мм Precipitation, mm	41,0	44,3	64,3	48,6
	Температура, °C Temperature, °C	15,8	18,5	19,9	17,9
	$ГТК_M / ГТК_M$	0,90	1,02	0,73	1,00
Относительно сухой, $1,01 < ГТК_M < 1,30$ (2001, 2005, 2006, 2010 гг.) Relatively dry, $1.01 < ГТК_M < 1.30$ (2001, 2005, 2006, 2010)	Осадки, мм Precipitation, mm	63,2	77,0	44,0	53,0
	Температура, °C Temperature, °C	13,2	17,4	21,3	17,6
	$ГТК_M / ГТК_M$	1,58	1,49	0,70	0,98
Оптимальный, $1,31 < ГТК_M < 1,60$ (2003, 2004, 2009, 2012, 2013 гг.) Optimal, $1.31 < ГТК_M < 1.60$ (2003, 2004, 2009, 2012, 2013)	Осадки, мм Precipitation, mm	74,5	74,5	113,0	77,2
	Температура, °C Temperature, °C	14,7	17,1	19,8	18,0
	$ГТК_M / ГТК_M$	1,61	1,22	1,22	1,33
Относительно влажный, $1,61 < ГТК_M < 2,0$ (2008, 2015 гг.) Relatively wet, $1.61 < ГТК_M < 2.0$ (2008, 2015)	Осадки, мм Precipitation, mm	120,6	85,6	115,9	50,0
	Температура, °C Temperature, °C	13,3	17,2	18,9	17,0
	$ГТК_M / ГТК_M$	2,80	1,64	1,52	0,96
Влажный, $2,01 < ГТК_M < 2,5$ (2016, 2017, 2020 гг.) Wet, $2.01 < ГТК_M < 2.5$ (2016, 2017, 2020)	Осадки, мм Precipitation, mm	95,1	105,6	140,2	98,5
	Температура, °C Temperature, °C	12,7	17,2	19,0	18,4
	$ГТК_M / ГТК_M$	2,54	2,13	2,23	1,91
Среднемноголетние значения Long-term average values	Осадки, мм Precipitation, mm	52,4	75,9	85,8	79,2
	Температура, °C Temperature, °C	12,6	17,0	18,3	16,3
	$ГТК_M / ГТК_M$	1,37	1,39	1,46	1,56

В течение двадцатилетнего периода наблюдений средние значения урожайности ячменя конкурсного сортоиспытания составляли 4,74 т/га и варьировали в широких пределах: от 2,09 т/га (2002 г.) до 6,73 т/га (2016 г.). Усредненные данные за 2011-2020 гг. выявили прибавку урожая на 0,44 т/га в сравнении с предыдущим десятилетним периодом. Наиболее высокая средняя урожайность ярового ячменя (5,88 т/га) получена в благоприятных по влагообеспеченности условиях, когда ГТК_М в целом за

вегетационный период находился в пределах от 1,32 до 2,34. Минимальная урожайность (3,28 т/га) наблюдалась в засушливые годы при показателях ГТК_М от 0,48 до 1,26.

Вариабельность средней урожайности сортов ячменя в конкурсном сортоиспытании, представленной в таблице 2, как за десятилетия, так и за весь период наблюдений отмечена практически на одном уровне ($V=35,0-35,6\%$).

Таблица 2. Экологическая изменчивость урожайности сортов ярового ячменя в конкурсном сортоиспытании (2001-2020 гг.)

Table 2. Ecological variability of yield of spring barley varieties in competitive variety testing (2001-2020)

Годы агрометеорологических наблюдений Years of agrometeorological observations	Число лет в выборке Number of years in the sample	Средняя урожайность, т/га Average yield, t/ha	Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %
2001-2020	20	4,74	35,0
2001-2010	10	4,52	35,6
2011-2020	10	4,96	35,5
Засушливые / Arid areas	10	3,28	25,8
Благоприятные / Favourable conditions	10	5,88	8,8

При ежегодном использовании одинаковой агротехники, не мешающей проявлению хозяйственно-биологических особенностей изучаемых генотипов, можно утверждать, что изменчивость урожая за два десятилетия в основном определялась погодно-климатическим фактором. Поэтому, отмеченный в условиях Московской области

положительный тренд (рис. 1) урожайности, обусловлен повышением адаптивного потенциала новых сортов и селекционных линий. Изменчивость урожая в благоприятных по влагообеспеченности условиях характеризовалась как незначительная (8,8%), а в засушливые годы – как значительная (25,8%).

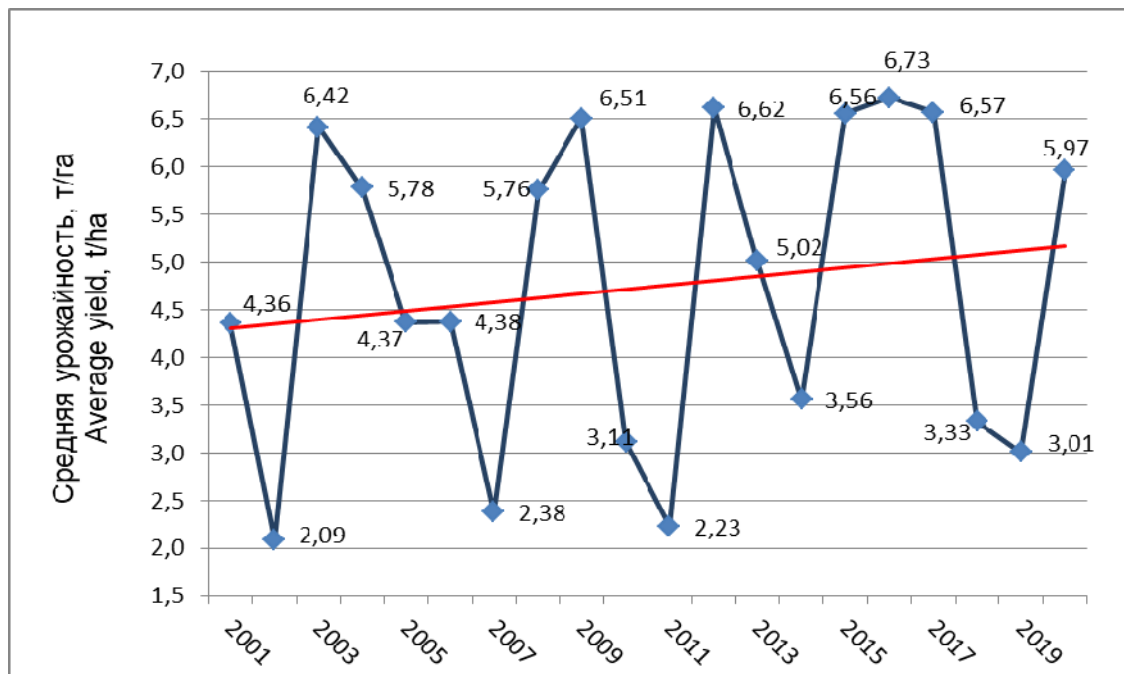


Рисунок 1. Динамика средней урожайности ярового ячменя (конкурсное сортоиспытание), за период 2001-2020 гг.

Figure 1. Dynamics of the average yield of spring barley (competitive variety testing), for the period 2001-2020

По мнению некоторых авторов [19], основным фактором, негативно влияющим на урожай зерновых культур в условиях потепления климата, является

повышение температуры. Отрицательное влияние повышенных среднемесячных температур воздуха на урожайность ячменя в наших исследованиях характе-

ризуется обратная зависимость ($r = -0,021...-0,372$). Четко выраженная противоположная направленность этой связи проявилась в июне и в июле месяце

($r = -0,318...-0,367$), в период активного роста и развития растений ячменя.

Таблица 3. Влияние агрометеорологических показателей вегетационного периода на урожайность сортов ярового ячменя в условиях Московской области (2001-2020 гг.)

Table 3. Influence of agrometeorological indicators of the growing season on the yield of spring barley varieties in the conditions of the Moscow region (2001-2020)

Показатели Index	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Май-август May-August
Сумма температур, °C Sum of temperatures, °C	-0,143	-0,367	-0,318	-0,021	-0,372
Количество осадков, мм Amount of precipitation, mm	0,382	0,472*	0,572*	0,431	0,665*
ГТК_м / ГТС_м	0,437	0,504*	0,571*	0,346	0,744*

Примечание: * – Доверительная вероятность $P \geq 0,95$

Note: * – Confidence probability $P \geq 0.95$

Влияние условий увлажнения на урожайность ярового ячменя носит положительный характер. Теснота связи между ГТК_м, суммой выпавших осадков за сезон и урожаем зерна весьма значительна – коэффициенты корреляции достигают значения 0,665-0,774, то есть, степень сопряженности признаков соответственно составляет 44,2 и 55,4%. Зависимости изменчивости урожая от показателей влагообеспеченности в отдельные периоды проявляются как средние по силе ($r = 0,346...0,572$). В сравнении с зависимостью от температуры воздуха они имеют более устойчивый характер. Вместе с тем важно отметить, что более тесная сопряженность урожайности от сумм осадков и гидротермических коэффициентов при уровне значимости 0,05 наблюдается в июне и июле: 0,472-0,572. Согласно значениям коэффициентов регрессии ($b_{yx}=0,303-0,390$) увеличение суммы осадков на 10 мм в эти месяцы может привести к увеличению урожая на 0,84-1,74 т/га. Потребность во влаге у растений ячменя в мае и августе проявляется в меньшей степени. Корреляционная зависимость, характеризующая тесноту связи признаков водообеспеченности и урожайности, в эти месяцы незначительна: 0,346-0,437.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительное повышение среднемесячной температуры воздуха в течение весенне-летнего сезона, увеличение суммы выпавших осадков в мае и снижение ее в другие месяцы вегетации указывают на изменение климатических условий региона.

Статистический анализ данных определил негативное влияние повышения среднемесячной температуры воздуха на урожайность ячменя в годы исследований ($r = -0,021...-0,372$), которое в большей степени проявлялось в июне и в июле месяце ($r = -0,318...-0,367$). При положительном отклонении температуры от нормы высокие значения прямой сопряженности между урожаем и показателями влагообеспеченности, особенно в критические периоды роста и развития, в июне и июле месяце ($r = 0,472...0,572$), отражают растущую потребность растений ячменя во влаге.

Наблюдаемый в условиях Московской области положительный тренд урожайности при

ежегодном использовании одинаковой агротехники обусловлен повышением адаптивного потенциала новых сортов и линий селекции ФИЦ «Немчиновка».

Одним из экономически целесообразных путей преодоления ожидаемого снижения урожайности ячменя в условиях глобального изменения климата является создание высокоадаптированных к местным условиям сортов ярового ячменя, позволяющих в различных условиях роста и развития, значительно увеличивать реализацию биологического потенциала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курылева А.Г. Адаптивная реакция сортов ячменя при экологическом испытании в условиях Удмуртской республики // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 67. № 6. С. 52-57. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57
2. Максимов Р.А., Шадрин Е.А. Реакция нового сорта ячменя Памяти Чепелева на тип почвы и удобрения в условиях Среднего Урала // АПК России. 2016. № 5. С. 939-944.
3. Байкалова Л.П., Серебрянников Ю.И. Роль сорта в повышении урожайности ячменя в условиях лесостепи Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2016. № 7. С. 167-172.
4. Клочкин А.В., Соломко О.Б., Клочкин О.С. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 101-105.
5. Алабушев А.В., Янковский Н.Г., Овсянникова Г.В., Попов А.С., Сухарев А.А. Анализ погодных условий в Южной зоне Ростовской области за 1930-2015 годы // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 1. С. 23-27.
6. Радцевич Г.А., Черемисинов А.А., Черемисинов А.Ю. Исследование тенденций изменения климата на Европейской части Российской Федерации за длительный период // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (55). С. 30-40. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.4.30
7. Павлова В.Н., Каланка П., Карачёнова А.А. Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 78-94.

8. Обзор российского рынка ячменя. Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр». URL: <http://www.ab-centre.ru> (дата обращения 21.01.2021)
9. Николаев П.Н., Васюкевич С.В., Юсова О.А., Анисков Н.И. Оценка адаптивности сортов ячменя селекции «Омского АНЦ» // Материалы международной конференции «Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири», Красноярск, 23-26 июля, 2019. С. 239-243.
10. Неверов А.А. Влияние погодно-климатических условий на формирование урожая ячменя в центральной зоне Оренбургской области (цикл статей по теме «Исследования методами нейросетевого анализа влияния региональных изменений климата на продуктивность агрофитоценозов») // Вестник мясного скотоводства. 2015. N 2 (90). С. 14-118.
11. Глуховцев В.В., Санина Н.В. Эффективность листовых подкормок в аридных условиях Среднего Поволжья при возделывании ярового ячменя // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. N 4 (60). С. 40-42.
12. Pecio A., Wach D. Grain yield and yield components of spring barley genotypes as the indicators of their tolerance to temporal drought stress // Polish Journal of Agronomy. 2015. Iss. 21. P. 19-27.
13. Пакуль В.Н. Селекция ярового ячменя в условиях рискованного земледелия // Достижения науки и техники АПК. 2009. N 9. С. 11-13.
14. Samarah N.H. Effects of drought stress on growth and yield of barley // Agron. Sustain. Dev. 2005. V. 25. N 1. P. 145-149. DOI: 10.1051/agro:2004064
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва, 2012. 352 с.
16. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Под ред. В.И. Головачева, Е.В. Кириловской. Москва, 2019. 194 с.
17. Radzka E., Rymuza K., Lenartowicz T. Analysis of hydrothermal conditions and their impact on early potato yield // J. of Ecological Engineering. 2015. V. 16. N 2. P. 120-124.
18. Наумов В.А., Ахмедова Н.Р. Гидротермические условия Калининградской области // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. N 4. С. 465-479.
19. Бишарев А.А., Шевченко Е.Н., Мадякин Е.В., Калякулина И.А., Дюльдина М.А., Дворцова Т.В. Влияние агрометеорологических условий на урожай ячменя в условиях Среднего Поволжья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. N 2(4). С. 667-670.
20. forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory. Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. 2016, no. 7, pp. 167-172. (In Russian)
21. Klochkov A.V., Solomko O.B., Klochkova O.S. Influence of weather conditions on the yield of agricultural crops. Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]. 2019, no. 2, pp. 101-105. (In Russian)
22. Alabushev A.V., Yankovsky N.G., Ovsyannikova G.V., Popov A.S., Sukharev A.A. Analysis of weather conditions in the Southern zone of the Rostov region for 1930-2015. Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki [Bulletin of the Russian Agricultural Science]. 2017, no. 1, pp. 23-27. (In Russian)
23. Radtsevich G.A., Cheremisinov A.A., Cheremisinov A.Yu. Research of climate change trends in the European part of the Russian Federation for a long period. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 2017, no. 4 (55), pp. 30-40. (In Russian) DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.4.30
24. Pavlova V.N., Kalanka P., Karachenkova A.A. Productivity of grain crops on the territory of European Russia under climate change in recent decades. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. 2020, no. 1, pp. 78-94. (In Russian)
25. *Obzor rossiiskogo rynka yachmenya. Ekspertno-analiticheskii tsentr agrobiznesa «AB-Tsentr»* [Overview of the Russian barley market. Agribusiness Expert and Analytical Center "AB-Center"]. Available at: <http://www.ab-centre.ru> (accessed 21.01.2021)
26. Nikolaev P.N., Vasyukevich S.V., Yusova O.A., Aniskov N.I. Otsenka adaptivnosti sortov yachmenya seleksii «Omskogo ANT» [Assessment of adaptability of barley varieties of selection "Omsk ANC"]. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Optimizatsiya selektsionnogo protsessa – faktor stabilizatsii i rosta produktzii rasteniyevodstva Sibiri», Krasnoyarsk, 23-26 iyulya 2019* [Materials of the international conference "Optimization of the breeding process – a factor of stabilization and growth of Siberian crop production", Krasnoyarsk, 23-26 July 2019]. Krasnoyarsk, 2019, pp. 239-243. (In Russian)
27. Neverov A.A. Influence of weather and climatic conditions on the formation of the barley crop in the central zone of the Orenburg region (a series of articles on the topic "Research by methods of neural network analysis of the influence of regional climate changes on the productivity of agrophytocenoses"). *Vestnik myasnogo skotovodstva* [Bulletin of beef cattle breeding]. 2015, no. 2 (90), pp. 14-118. (In Russian)
28. Glukhovtsev V.V., Sanina N.V. Efficiency of leaf feeding in arid conditions of the Middle Volga region in the cultivation of spring barley. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]. 2016, no. 4 (60), pp. 40-42. (In Russian)
29. Pecio A., Wach D. Grain yield and yield components of spring barley genotypes as the indicators of their tolerance to temporary dropped stress. *Polish Journal of Agronomy*, 2015, iss. 21, pp. 19-27.
30. Pakul V.N. Selection of spring barley in the conditions of risky agriculture. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agroindustrial complex]. 2009, no. 9, pp. 11-13. (In Russian)
31. Samarah N.H. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agron. Sustain. Dev.* 2005, vol. 25, no. 1, pp. 145-149. DOI: 10.1051/agro:2004064
32. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of

REFERENCES

1. Kuryleva A. G. Adaptive reaction of barley varieties under ecological testing in the conditions of the Udmurt Republic. *Agrarian Science of the Euro-North-East*, 2018, vol. 67, no. 6, pp. 52-57. (In Russian) DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57
2. Maksimov R.A., Shadrina E.A. Reaction of a new variety of barley in memory of Chepelev to the type of soil and fertilizers in the conditions of the Middle Urals. *APK Rossii* [Agro-industrial complex of Russia]. 2016, no. 5, pp. 939-944. (In Russian)
3. Baykalova L.P., Serebryannikov Yu.I. The role of the variety in increasing the yield of barley in the conditions of the

- statistical processing of research results)]. Moscow, 2012, 352 p. (In Russian)
16. Golovachev V.I., Kirilovskaya E.V., eds. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Moscow, 2019, 194 p. (In Russian)
17. Radzka E., Rymuza K., Lenartowicz T. Analysis of hydrothermal conditions and their impact on early potato yield. *J. of Ecological Engineering*, 2015, vol. 16, no. 2, pp. 120-124.
18. Naumov V.A., Akhmedova N.R. Hydrothermal conditions of the Kaliningrad region. *Vestnik RUDN. Seriya Ekologiya i*

- bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [RUDN Bulletin. Ecology and Life Safety series]. 2017, vol. 25, no. 4, pp. 465-479. (In Russian)
19. Bisharev A.A., Shevchenko E.N., Madyakin E.V., Kalyakulina I.A., Dyuldina M.A., Dvortsova T.V. Influence of agrometeorological conditions on barley yield in the Middle Volga region. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2018, vol. 20, no. 2(4), pp. 667-670. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга В. Левакова, Любовь М. Ерошенко, Анатолий Н. Ерошенко, Ольга В. Гладышева разработали концепцию статьи, руководили процессом сбора материала, проанализировали данные, написали рукопись. Иван А. Дедушев, Максим М. Ромахин, Николай А. Ерошенко, Михаил А. Болдырев провели обзор литературных источников, собрали материал по урожайности ярового ячменя, рассчитали ГТК_м, провели статистическую обработку материала, подготовили графический и табличный материал статьи. 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 V. Levakova, Lyubov M. Eroshenko, Anatoly N. Eroshenko and Olga V. Gladysheva developed the concept of the article, led the process of collecting material, analysed the data and wrote the manuscript. Ivan A. Dedushev, Maxim M. Romakhin, Nikolay A. Eroshenko, Mikhail A. Boldyrev conducted a review of literature sources, collected material on the yield of spring barley, calculated GTC_m, conducted statistical processing of the material and prepared graphic and tabular material of the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга В. Левакова / Olga V. Levakova <http://orcid.org/0000-0002-5400-669X>
Иван А. Дедушев / Ivan A. Dedushev <https://orcid.org/0000-0002-5059-9299>
Любовь М. Ерошенко / Lyubov M. Eroshenko <https://orcid.org/0000-0002-8513-6665>
Максим М. Ромахин / Maxim M. Romakhin <https://orcid.org/0000-0001-5691-1020>
Анатолий Н. Ерошенко / Anatoly N. Eroshenko <https://orcid.org/0000-0003-1468-4207>
Николай А. Ерошенко / Nikolay A. Eroshenko <https://orcid.org/0000-0002-6971-957X>
Михаил А. Болдырев / Mikhail A. Boldyrev <https://orcid.org/0000-0002-7421-0321>
Ольга В. Гладышева / Olga V. Gladysheva <https://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

Оригинальная статья / Original article
УДК 633.11«324»;577.118(470.62/.67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-136-150

Влияние погодно-климатических условий на генетико-физиологическую систему растений озимой пшеницы в засушливых условиях Центрального Предкавказья

Александр Н. Есаулко, Елена В. Письменная, Евгений В. Голосной, Алена Ю. Ожередова,
Юлия Н. Кузьмина

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Контактное лицо

Елена В. Письменная, доктор
сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры землеустройства и кадастра, ФГБОУ
ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»; 355017 Россия,
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.
Тел. +79187756070
Email pismennaya.elena@bk.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>

Формат цитирования

Есаулко А.Н., Письменная Е.В., Голосной Е.В.,
Ожередова А.Ю., Кузьмина Ю.Н. Влияние
погодно-климатических условий на генетико-
физиологическую систему растений озимой
пшеницы в засушливых условиях Центрального
Предкавказья // Юг России: экология,
развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 136-150. DOI:
10.18470/1992-1098-2022-1-136-150

Получена 27 февраля 2021 г.
Прошла рецензирование 20 мая 2021 г.
Принята 5 сентября 2021 г.

Резюме

Цель. В засушливой зоне Центрального Предкавказья особенно актуально выращивание сельскохозяйственных культур с высокой адаптационной способностью к изменяющимся погодно-климатическим условиям. В связи с этим цель настоящей исследовательской работы заключается в определении влияния гидротермических факторов региона на пигментный комплекс и способность накопления азота растениями, содержание белка в зерне и продуктивность сортов озимой пшеницы.

Материал и методы. В опыте комплексно использовали статистические и математические методы определения влияния погодно-климатических факторов региона на пигментный комплекс, способность накопления азота растениями, качество зерна и урожайность различных сортов озимой пшеницы. В качестве объекта исследований использовали 3 сорта (Зустріч, Багира, Баграт).

Результаты. С помощью статистического и математического анализа выявлен спектр изменения индивидуальной реакции генотипов различных сортов озимой пшеницы (по хлорофиллу, каротиноидам, содержанию азота в растениях, качеству зерна (содержания белка), продуктивности) в засушливых условиях региона. В результате исследований установлено, что сорт Баграт оптимально реализует свой потенциал на нейтрализацию негативного воздействия внешних факторов среды. Остальные сорта в агроценозах региона отразили средние показатели.

Заключение. Установлена сортовая реакция озимой пшеницы на фазы вегетации растений. Выделены сорта сельскохозяйственной культуры с высокой адаптивной устойчивостью для хозяйственного использования в складывающихся условиях снижения осадков и роста температуры. Предложены практические рекомендации по оптимизации питания растений и получения наибольшей продуктивности зерна озимой пшеницы.

Ключевые слова

Пигментный комплекс (хлорофилл, каротиноиды), озимая пшеница, вегетационный индекс NDVI.

Influence of weather and climatic conditions on the genetic and physiological system of winter wheat plants in arid conditions of the Central Caucasus, Russia

Alexander N. Esaulko, Elena V. Pismennaya, Evgeniy V. Golosnoi, Alena Yu. Ozheredova and Yulia N. Kuzminova

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Principal contact

Elena V. Pismennaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Land Management and Cadastra, Stavropol State Agrarian University; 12 Zootechnical Lane, Stavropol, Russia 355017.

Tel. +79187756070

Email pismennaya.elena@bk.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>

How to cite this article

Esaulko A.N., Pismennaya E.V., Golosnoi E.V., Ozheredova A.Yu., Kuzminova Yu.N. Influence of weather and climatic conditions on the genetic and physiological system of winter wheat plants in arid conditions of the Central Caucasus, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 136-150. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-136-150

Received 27 February 2021

Revised 20 May 2021

Accepted 5 September 2021

Abstract

Aim. In the arid zone of the Central Caucasus it is especially important to grow crops with a high adaptive capacity to changing weather and climatic conditions. In this regard, the purpose of this research work was to determine the influence of hydrothermal factors of the region on the pigment complex and the ability of plants to accumulate nitrogen, protein content in grain and productivity of various varieties of winter wheat.

Material and Methods. In the experiment, statistical and mathematical methods were used comprehensively to determine the influence of weather and climatic factors of the region on the pigment complex, the ability of plants to accumulate nitrogen, grain quality and yield of 3 varieties of winter wheat (Zustrich, Bagheera and Bagrat).

Results. With the aid of statistical and mathematical analysis, the spectrum of changes in the individual reaction of genotypes of various varieties of winter wheat (according to chlorophyll, carotenoids, nitrogen content in plants, grain quality [protein content] and productivity) in arid conditions of the region was revealed. As a result of the research, it was found that the Bagrat variety optimally realizes its potential to neutralize the negative impact of external environmental factors. The remaining varieties in the agrocenoses of the region had average indicators.

Conclusion. The varietal reaction of winter wheat to the phases of plant vegetation was been established. Varieties of agricultural crops with high adaptive stability for economic use in the prevailing conditions of precipitation reduction and temperature increase were identified. Practical recommendations for optimising plant nutrition and obtaining the highest productivity of winter wheat grain are proposed.

Key Words

Pigment complex (chlorophyll, carotenoids), winter wheat, vegetation index NDVI.

ВВЕДЕНИЕ

Озимая мягкая пшеница является основной продовольственной культурой в засушливой зоне Центрального Предкавказья. Вследствие климатических изменений последнего периода времени в земледельческом районе основной задачей товаропроизводителя становится стабилизация производства зерна, полученного при возделывании различных сортов мягкой озимой пшеницы. Адаптированные сорта существенно снижают техногенные издержки применяемой сегодня «не отработанной» технологии No-till. Возделываемые сорта культуры имеют генетико-физиологическую систему, обуславливающую высокий уровень адаптационного потенциала [1-3]. В условиях засухи в растениях определяются положительные связи между содержанием азота и хлорофилла [4-8]. Это связано с тем, что азот входит в состав зеленых пигментов и усвоение этого элемента минерального питания происходит при непосредственном участии фотосинтеза [9-12]. Растения с развитым ассимиляционным аппаратом потребляют больше азота и имеют хорошую продукционную способность. При недостаточном снабжении растений азотом происходит их угнетение в развитии. Листья приобретают характерную светло-зеленую окраску [13-16].

Актуальным направлением научных изысканий сегодня является получение оперативной информации о состоянии растений в различные фазы вегетации средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [17; 18]. Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Применение растительной и листовой диагностики минерального питания (на базе космических снимков и лабораторных анализов) позволяет рекомендовать мероприятия по проведению своевременной азотной подкормки и оптимизации питания растений в целом для получения стабильных урожаев [19].

Знания связи состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для идентификации типов растительности и их стрессового состояния, вызванного погодноклиматическими условиями [20]. Для оценки состояния растительности используют вегетационный индекс – показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных ДЗЗ, имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. В настоящее время существует около 160 вариантов индексов [21]. Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) отражает общее состояние растительности, поэтому на протяжении всего периода роста и развития растений озимой пшеницы необходимо производить системный контроль структурного и функционального состояния фотосинтетического аппарата растений не только в рамках полевого опыта, но и использовать данные ДЗЗ [22].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная часть работы выполнена в период 2018-2020 гг. Объектом исследования являются сорта мягкой озимой пшеницы (Зустрич, Багира, Баграт). В качестве стандарта (st) используется сорт Зустрич. Оригинаторы сорта Зустрич: ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр и Селекционно-генетический институт-национальный центр семеноведения и сортоизучения (Одесса); сорта Багира – ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр; сорта Баграт – ФГБНУ Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко.

Почвенный покров учетной делянки (площадью 500 м²) представлен преимущественно темно-каштановыми карбонатными тяжелосуглинистыми почвами, которые характеризуются низким содержанием гумуса (2,61-2,70%), высоким содержанием подвижных соединений фосфора (33,2-37,0 мг/кг) и калия (364,5-420,3 мг/кг). Предшественники (нут, подсолнечник) и сорта мягкой озимой пшеницы возделываются по технологии No-till. Агротехника возделывания включает: предпосевную обработку гербицидом (Спрут Экстра) с нормой внесения 2 л/га; сев озимой пшеницы – 210 кг/га; внесение припосевного удобрения (амософос – N₁₂P₅₂) – 100 кг/га; ранневесеннюю подкормку (аммиачной селитрой – N₃₅) – 100 кг/га; внесение листовой подкормки (КАС – N₃₂) – 100 кг/га; гербицидную обработку (Балерина) – 0,4 л/га; первую фунгицидную обработку (Альтосупер) – 0,5 л/га; вторую фунгицидную обработку (Колосаль Про) – 0,4 л/га; уборку. Норма высева зерновой культуры составляет 5,0 млн всхожи зерен на гектар. В 2018 и 2019 гг. посев провели в оптимальные сроки – 21 и 25 сентября соответственно. Вследствие почвенной засухи в 2020 г. посев провели 07 октября.

Определение содержания хлорофилла и каротиноидов у растений озимой пшеницы проводили [23]. Определение оптической плотности раствора производили на спектрофотометре при двух длинах волн: 665 и 649 нм. Определение количества хлорофилла (C_a – основной пигмент и C_b – вспомогательный пигмент) рассчитывали по уравнению Винтерманса и Де Мотса [24], концентрацию пигментов группы каротиноидов (C_{кар}) – по формуле Веттштейна [25]. Определение содержания белка осуществляется по [26], урожайности – по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [27]. Растительные образцы отбирались по фазам роста растений (кущение, трубкование, колошение) в 3-х кратной повторности. На базе агрохимической лаборатории СтГАУ определяли содержание азота в растениях титриметрическим методом определения азота по Кьельдалю [28].

Данные спутникового картографирования растительного покрова получены на основе спектрорадиометра MODIS, осуществляющего измерения со спутника Terra с пространственным разрешением 500 м (на базе спутникового сервиса «BEGA-Science» ИКИ РАН – [29].

Математическую обработку результатов выполняли методом дисперсионного анализа. Коэффициенты вариации и осцилляции рассчитаны согласно методике полевого дела [30].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность сортов мягкой озимой пшеницы зависит от генетического разнообразия и адаптационной способности культуры в системе «сорт-среда». Гидротермические условия в период проведения исследований были неоднозначными и контрастными, что привело к статистически значимому вкладу факторов внешней среды в общую изменчивость показателей пигментного комплекса и накопление азота в растениях. Так, среднегодовая температура воздуха составляла в 2018 г. – 9,6°C, в

2019 г. – 10,1°C, в 2020 г. – 14,4°C соответственно. Годовое количество осадков 428 мм, 451 мм и 173 мм соответственно. В целом за рассматриваемый период осадки имели тенденцию к снижению, а температура – к росту (рис. 1). ГТК – 0,5-0,7. Выпадение осадков в 2018 г. увеличилось к марту. В 2019 г. и 2020 г. отмечены засушливые явления и захват растений, вызванный засухой. Количество осадков и влагообеспеченность культуры уменьшалась ко второй половине вегетации озимой пшеницы.

Динамика вегетационного индекса NDVI, как одного из объективных показателей при проведении растительной диагностики растений показала, что за период с 2018 по 2020 гг. среднегодовые показатели имели тенденцию роста с 0,456 до 0,490 (рис. 2).

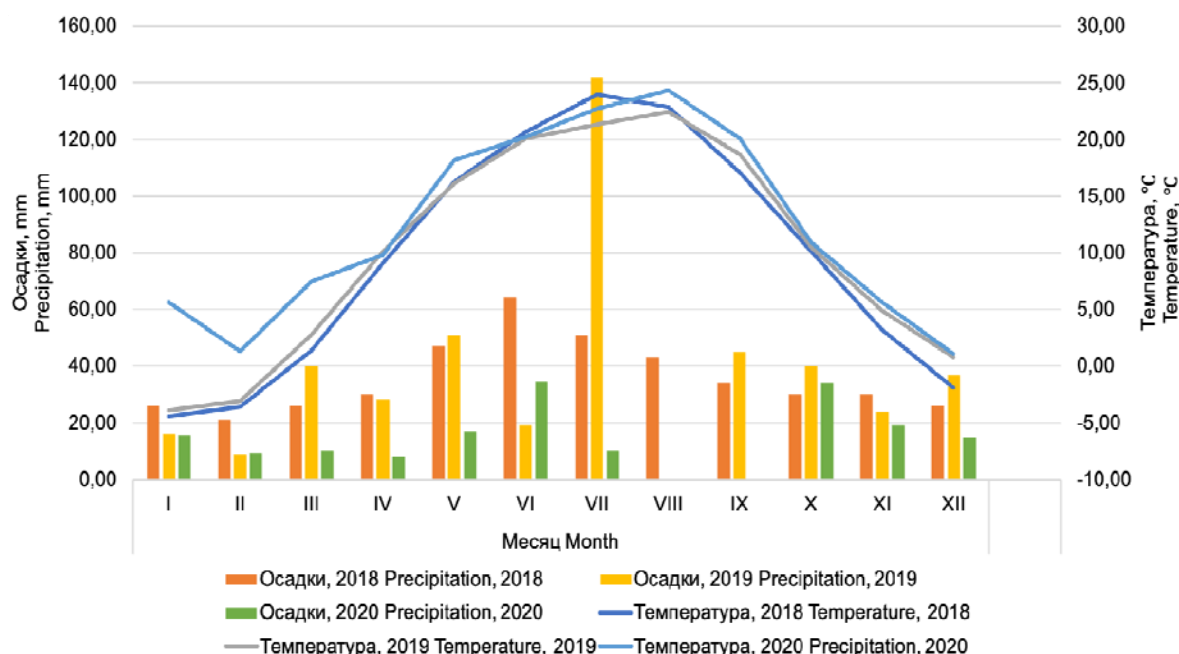


Рисунок 1. Метеоусловия в период проведения исследований, 2018-2020 гг.

Figure 1. Weather conditions during the research period, 2018-2020

В 2017 г. площадь взошедших осенью озимой культуры, детектированной по спутниковым данным, соответствовала среднемноголетней норме. В зимне-весенний период 2018 г. динамика развития озимых культур показала аномально ранний их срок развития. Средние значения NDVI озимых культур превышали норму на 11,0%. Отмечалось раннее развитие растений при недостаточном уровне влаги для дальнейшего нормального роста растений. После засушливой осени 2019 г. последовала теплая и бесснежная зима. Возобновление активного развития посевов началось на 10-12 дней раньше. Следовательно, озимые культуры находились в состоянии вегетации на протяжении почти всего этого периода, а к весне запаса продуктивной влаги в почве было недостаточно для их дальнейшего развития. Сложившуюся ситуацию подтверждают повышенные значения вегетационного индекса NDVI озимых культур (0,50). К началу февраля 2020 года показатель достиг более высоких значений (0,51), чем в среднем за рассматриваемые годы (0,41-0,44). Влияние

раннего развития озимых культур на значения индекса NDVI можно наблюдать и по состоянию на конец марта: вегетационный индекс (0,54) превышает значения многолетней «нормы» более чем на 17,0%. Отмеченные выше высокие значения NDVI не характеризуют более хорошее состояние и развитие посевов. Они отражают сдвиг сезона на более ранние сроки.

В 2018 г. (при среднегодовом NDVI – 0,456) по всем сортам озимой пшеницы от фазы кущения до трубкования отмечалось увеличение накопления C_a в растениях в среднем на 4,5% по подсолнечнику (наибольшее у сорта Зустріч – 11,8%) и увеличение накопления C_b – 2,5% (наибольшее у сорта Баграт – 4,9%). По нуту накопление C_a в растениях составляло увеличение показателей в среднем на 3,9% (у сорта Зустріч – 8,7%) и C_b – на 2,6% (наибольшее у сорта Баграт – 5,0%) (табл. 1). Отмечался рост содержания C_a во флаговом листе пшеницы до цветения, а C_b – после цветения растений.

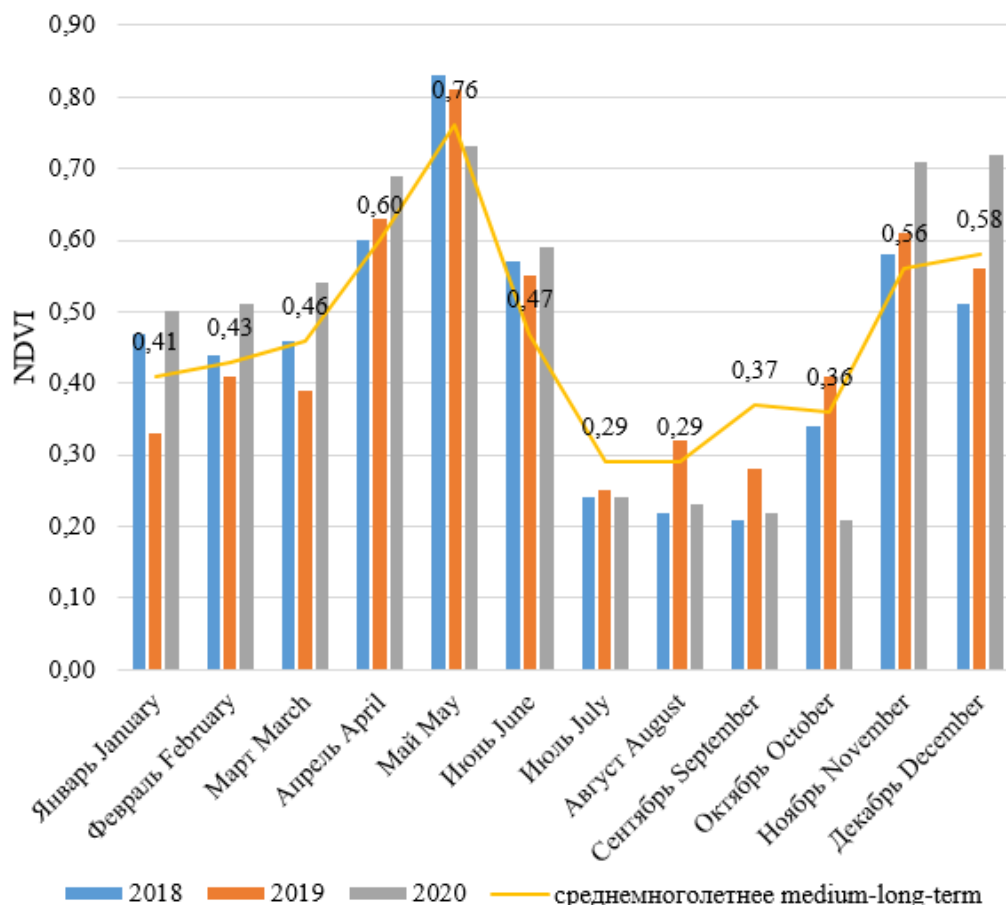


Рисунок 2. Динамика изменения вегетационного индекса NDVI, 2018-2020 гг.

Figure 2. Dynamics of changes in the vegetation index NDVI, 2018-2020

От фазы трубкования до колошения по всем сортам и предшественникам отмечалось уменьшение накопления C_a в растениях на 32,6% (наибольшее у сорта Баграт – 36,7%) по подсолнечнику и уменьшение накопления C_b – 44,1% (наибольшее у сорта Зустрич – 64,4%). По нуту шел процесс уменьшения накопления C_a в растениях в среднем на 28,7% (наибольшее у сорта Багира – 30,8%) и C_b – 47,7% (наибольшее у сорта Багира – 40,5%). В общем фонде хлорофилла превалировал C_a , соотношение $C_{a/b}$ находилось в пределах 0,99-2,07.

В 2019 г. (при среднегодовом NDVI – 0,462) по всем сортам и предшественникам от фазы кушения до трубкования отмечали увеличение накопления C_a в растениях в среднем на 15,6% (наибольшее у сорта Багира – 37,0%) по подсолнечнику и C_b – 6,0% (наибольшее у сорта Багира – 9,9%). По нуту шел процесс увеличения накопления C_a в растениях в среднем на 5,3% (наибольшее у сорта Зустрич 12,4%) и C_b – 6,5% (наибольшее у сорта Баграт – 8,1%).

От фазы трубкования до колошения по всем сортам и предшественникам отмечали уменьшение накопления C_a в растениях в среднем на 24,1% (наибольшее у сорта Баграт – 36,7%) по подсолнечнику и уменьшение накопления C_b – на 27,8% (наибольшее у сорта Багира – 31,9%). По нуту также сокращение накопления C_a в растениях в среднем на 22,5% (наибольшее у сорта Баграт –

23,5%) и C_b – 22,0% (наибольшее у сорта Баграт – 22,9%).

В общем фонде хлорофилла превалировал C_a , соотношение $C_{a/b}$ находилось в пределах 1,01-1,83.

В 2020 г. (при среднегодовом NDVI – 0,490) по всем сортам и предшественникам от фазы кушения до трубкования отмечали увеличение накопления C_a в растениях в среднем на 14,1% (наибольшее у сорта Багира – 36,2%) по подсолнечнику и C_b – 8,5% (наибольшее у сорта Багира – 13,2%). По нуту шел процесс накопления C_a в растениях в среднем на 4,6% (наибольшее у сорта Зустрич – 9,7%) и C_b – 4,9% (наибольшее у сорта Багира – 9,0%).

От фазы трубкования до колошения по всем сортам и предшественникам отмечали уменьшение накопления C_a в растениях в среднем на 45,6% (наибольшее у сорта Баграт – 69,1%) по подсолнечнику и C_b – 55,8% (наибольшее у сорта Багира – 77,8%). По нуту шел процесс сокращения накопления C_a в растениях в среднем на 42,8% (наибольшее у сорта Баграт – 56,3%) и C_b – 16,6% (наибольшее у сорта Баграт – 24,5%).

В общем фонде хлорофилла превалировал C_a . Соотношение $C_{a/b}$ находилось в пределах 1,06-1,84.

Таким образом, адаптивной реакцией ассимиляционного аппарата растений на стрессовое воздействие температур стало изменение соотношения $C_{a/b}$ (при снижении уровня основного

фотосинтетического пигмента (C_a) и увеличение синтеза вспомогательного пигмента (C_b).

Структурными компонентами фотосинтетических мембран хлоропластов являются

каротиноиды ($C_{кар}$), которые участвуют в процессе фотосинтеза и защищают хлорофилл от воздействия экстремальных условий среды.

Таблица 1. Накопление C_a и C_b , их соотношение в растениях озимой пшеницы, возделываемых по технологии No-till, 2018-2020 гг.

Table 1. Accumulation of C_a and C_b , their ratio in winter wheat plants, cultivated by No-till technology, 2018-2020

Год Year	Сорт, А Variety, A	Предшест- венник, В Predecessor, B	Фаза, С / Phase, C								
			кущение tillering			трубкование stem formation			колошение earring		
			Ca, мг/л Ca, mg/l	Cb, мг/л Cb, mg/l	C a/b, мг/л C a/b, mg/l	Ca, мг/л Ca, mg/l	Cb, мг/л Cb, mg/l	C a/b, мг/л C a/b, mg/l	Ca, мг/л Ca, mg/l	Cb, мг/л Cb, mg/l	C a/b, мг/л C a/b, mg/l
2018	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	15,24	14,97	1,02	17,03	15,06	1,13	13,08	9,16	1,43
	Багира Bagheera		17,96	9,21	1,95	18,05	9,40	1,92	13,96	6,97	2,00
	Баграт Bagrat		19,00	9,81	1,94	19,37	10,29	1,88	14,17	7,25	1,95
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	15,96	15,41	1,04	17,35	15,56	1,11	13,78	9,47	1,46
	Багира Bagheera		18,54	9,81	1,89	18,59	9,99	1,86	14,17	7,11	1,99
	Баграт Bagrat		18,93	10,4	1,82	19,49	10,92	1,78	15,06	7,98	1,89
А, HCP ₀₅ = 0,5; В, HCP ₀₅ = 0,03; С, HCP ₀₅ = 0,6; АВС, HCP ₀₅ = 0,2 А, SSD ₀₅ = 0,5; В, SSD ₀₅ = 0,03; С, SSD ₀₅ = 0,6; АВС, SSD ₀₅ = 0,2											
2019	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	17,15	16,98	1,01	18,42	17,27	1,26	14,84	11,07	1,34
	Багира Bagheera		12,14	11,25	1,08	19,28	12,48	1,55	13,12	8,49	1,47
	Баграт Bagrat		19,83	12,48	1,59	20,46	13,34	1,53	12,96	9,72	1,33
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	16,23	16,18	1,00	18,53	16,85	1,09	14,47	11,50	1,26
	Багира Bagheera		19,03	10,56	1,83	19,38	11,34	1,71	15,12	13,01	1,16
	Баграт Bagrat		20,06	12,30	1,63	20,39	13,30	1,53	14,59	12,25	1,19
А, HCP ₀₅ = 0,2; В, HCP ₀₅ = 0,02; С, HCP ₀₅ = 0,2; АВС, HCP ₀₅ = 0,7 А, SSD ₀₅ = 0,2; В, SSD ₀₅ = 0,02; С, SSD ₀₅ = 0,2; АВС, SSD ₀₅ = 0,7											
2020	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	18,11	16,99	1,06	18,63	17,42	1,07	14,67	11,33	1,38
	Багира Bagheera		12,42	11,34	1,09	19,48	13,07	1,49	13,83	7,35	1,84
	Баграт Bagrat		20,01	12,54	1,60	20,70	13,90	1,49	12,24	10,24	1,19
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	17,45	14,76	1,18	19,32	15,24	1,33	15,22	12,37	1,25
	Багира Bagheera		19,72	10,81	1,82	19,91	11,88	1,68	13,69	11,65	1,18
	Баграт Bagrat		20,47	13,75	1,48	21,13	14,12	1,49	13,49	11,34	1,17
А, HCP ₀₅ = 0,4; В, HCP ₀₅ = 0,7; С, HCP ₀₅ = 0,4; АВС, HCP ₀₅ =0,3 А, SSD ₀₅ = 0,4; В, SSD ₀₅ = 0,7; С, SSD ₀₅ = 0,4; АВС, SSD ₀₅ =0,3											

В 2018 г. отмечалось увеличение содержания каротиноидов в растениях по всем сортам и предшественникам от фазы кушения до трубкования и уменьшения к фазе колошения по подсолнечнику

(наибольшее у сорта Багира – 10,3 и 0,8 раза соответственно) и по нуту наибольшее $C_{кар}$ у сорта Багира – 2,7 и 0,7 раза соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Концентрация каротиноидов различных сортов озимой пшеницы, мг/л, возделываемых по технологии No-till, 2018-2020 гг.**Table 2.** Concentration of carotenoids of various winter wheat varieties, mg/l, cultivated by No-till technology, 2018-2020

by the information technology, 2018-2020

Год Year	Сорт, А Variety, A	Предшественник, В Predecessor, B	Фаза, С / Phase, C		
			кущение tillering	трубкование stem formation	колошение earring
2018	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	0,36	1,51	1,32
	Багира Bagheera		0,19	1,96	1,49
	Баграт / Bagrat		1,01	2,25	1,74
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	0,70	1,81	1,81
	Багира Bagheera		1,00	2,17	1,45
	Баграт / Bagrat		1,35	2,85	2,28
	A, HCP ₀₅ = 0,2; B, HCP ₀₅ = 0,3; C, HCP ₀₅ = 0,2; ABC, HCP ₀₅ = 0,03 A, SSD ₀₅ = 0,2; B, SSD ₀₅ = 0,3; C, SSD ₀₅ = 0,2; ABC, SSD ₀₅ = 0,03				
2019	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	0,91	1,99	2,07
	Багира Bagheera		1,16	2,71	1,65
	Баграт / Bagrat		1,54	2,91	2,31
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	0,97	2,18	2,39
	Багира Bagheera		1,15	2,71	1,72
	Баграт / Bagrat		1,48	3,41	2,51
	A, HCP ₀₅ = 0,1; B, HCP ₀₅ = 0,05; C, HCP ₀₅ = 0,2; ABC, HCP ₀₅ = 0,02 A, SSD ₀₅ = 0,1; B, SSD ₀₅ = 0,05; C, SSD ₀₅ = 0,2; ABC, SSD ₀₅ = 0,02				
2020	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	1,15	2,12	2,06
	Багира Bagheera		1,94	3,46	2,29
	Баграт / Bagrat		2,39	3,74	2,75
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	1,16	2,35	2,26
	Багира Bagheera		1,34	2,69	1,89
	Баграт / Bagrat		1,59	3,52	2,60
	A, HCP ₀₅ = 0,4; B, HCP ₀₅ = 0,01; C, HCP ₀₅ = 0,05; ABC, HCP ₀₅ = 0,01 A, SSD ₀₅ = 0,4; B, SSD ₀₅ = 0,01; C, SSD ₀₅ = 0,05; ABC, SSD ₀₅ = 0,01				

В 2019 г. тенденция не изменилась. По подсолнечнику наибольшее $C_{кар}$ у сорта Багира – 2,3 и 0,6 раза соответственно; по нуту $C_{кар}$ – у сорта Багира – 2,4 и 0,6 раза соответственно.

В 2020 г. динамика такая же. По подсолнечнику наибольшее $C_{кар}$ у сорта Зустрич в 1,9 и 0,9 раза соответственно; по нуту $C_{кар}$ у сорта Баграт – 2,2 и 0,7 раза соответственно.

Таким образом, содержание хлорофилла в листьях озимой культуры напрямую коррелировало с содержанием каротиноидов: в 2019 г. и 2020 г. в фазу колошения концентрация каротиноидов зафиксирована выше на 0,75 и 0,74 мг/л соответственно, чем за 2018 г., что также отражает адаптивную реакцию растений на сложившуюся динамику погодно-климатических показателей.

По всем сортам и предшественникам за период 2018-2020 гг. от фазы кушения до колошения отмечалось уменьшение концентрации содержания азота в растениях. В среднем в 2018 г. по подсолнечнику уменьшение составляло в 3,1 раза и нуту – 3,6 раз соответственно (наибольшее у сорта Багира), в 2019 г. – 3,3 раза и 3,8 раза (также у сорта Багира), 2020 г. – 3,1 раза и 3,9 раза (также у сорта Багира). Среднее линейное отклонение по подсолнечнику сокращалось от фазы всходов до колошения (0,42-0,37). По нуту наоборот, увеличивалось с 0,19 (всходы) до 0,53 (выход в трубку) и уменьшалось до 0,36 (колошение) (табл. 3 и 4).

Таблица 3. Содержание азота в растениях озимой пшеницы, возделываемых по подсолнечнику, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)**Table 3.** Nitrogen content in winter wheat plants following sunflower cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшественник Predecessor	Фаза / Phase			
		всходы shoots	кущение tillering	трубкование stem formation	колошение earring
Зустріч (st.) Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	4,04	3,77	2,93	1,98
Багира / Bagheera		3,40	3,11	2,33	1,39
Баграт / Bagrat		4,67	4,41	3,12	2,48
Показатели вариации / Indicators of variation					
Среднее линейное отклонение Average linear deviation		0,42	0,44	0,31	0,37
Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population		0,27	0,28	0,17	0,20
Дисперсия по выборке Variance based on a sample		0,40	0,42	0,17	0,30
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general		0,52	0,53	0,41	0,45
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample		0,64	0,65	0,41	0,55
Коэффициент вариации Coefficient of variation		2,23	2,39	3,22	4,62
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation		0,99	1,06	1,43	2,05

Таблица 4. Содержание азота в растениях озимой пшеницы, возделываемых по нуту, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)**Table 4.** Nitrogen content in winter wheat plants following chickpea cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшественник Predecessor	Фаза / Phase			
		всходы shoots	кущение tillering	трубкавание stem formation	колошение earring
Зустріч (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	5,12	4,55	3,89	2,60
Багира / Bagheera		4,70	3,56	2,63	1,92
Баграт / Bagrat		5,12	4,57	3,74	2,86
Показатели вариации / Indicators of variation					
Среднее линейное отклонение Average linear deviation		0,19	0,44	0,53	0,36
Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population		0,04	0,22	0,32	0,16
Дисперсия по выборке Variance based on a sample		0,06	0,33	0,47	0,24
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general		0,20	0,47	0,56	0,40
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample		0,24	0,58	0,69	0,49
Коэффициент вариации Coefficient of variation		1,81	2,13	2,63	3,66
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation		0,80	0,95	1,17	1,63

Коэффициенты вариации по подсолнечнику и нуту указывают на совокупную неоднородность показателей. Доля размаха вариации (коэффициент осцилляции) по подсолнечнику составляет 0,99-2,05 и нуту – 0,80-1,63. Этот показатель в среднем выше по подсолнечнику (в 2,07 раза), чем по нуту (в 2,03 раза).

Таким образом, эффективность работы пигментной системы в период с 2018 по 2020 гг. зависела от соответствия органогенеза растений

внешним условиям. По всем сортам озимой пшеницы распределение среднего линейного отклонения C_a по подсолнечнику и нуту уменьшалось от фазы кущения до колошения (1,83-0,36 и 1,29-0,03 соответственно), C_b – 2,31-0,98 и 1,86-0,06 соответственно (табл. 5 и 6). Расчет показал, что по нуту динамика отклонений C_a меньше в 1,4-12 раз и C_b – 1,2-16,3 раза по сравнению с подсолнечником.

Таблица 5. Количество фотосинтетических пигментов в растениях озимой пшеницы, возделываемых по подсолнечнику, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)

Table 5. Amount of photosynthetic pigments in winter wheat plants following sunflower cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшест- венник Predecessor	Фаза / Phase								
		кущение tillering			трубкование stem formation			колошение earring		
		Ca, мг/л	Cb, мг/л	C _{кар}	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C _{кар}	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C _{кар}
		Ca, mg/l	Cb, mg/l	C _{car}	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C _{car}	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C _{car}
Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	16,83	16,31	3,77	18,03	16,58	2,93	14,19	10,52	1,98
Багира Bagheera		14,17	10,60	3,11	18,94	11,65	2,33	13,64	7,60	1,39
Баграт Bagrat		19,61	11,61	4,41	20,18	12,51	3,12	13,12	9,07	2,58
Показатели вариации / Indicators of variation										
Среднее линейное отклонение Average linear deviation		1,83	2,31	0,44	0,75	2,00	0,31	0,36	0,98	0,40
Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population		4,93	6,19	0,28	0,78	4,62	0,11	0,19	1,42	0,24
Дисперсия по выборке Variance based on a sample		7,40	9,29	0,42	1,16	6,93	0,17	0,29	2,13	0,35
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general		2,22	2,49	0,53	0,88	2,15	0,34	0,44	1,19	0,49
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample		2,72	3,05	0,65	1,08	2,63	0,41	0,54	1,46	0,60
Коэффициент вариации Coefficient of variation		0,53	0,70	2,39	0,47	0,66	3,22	0,66	0,99	4,54
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation		0,24	0,31	1,06	0,21	0,29	1,43	0,29	0,44	2,02

По всем сортам распределение среднего линейного отклонения $C_{кар}$ по подсолнечнику и нуту уменьшалось в фазы кущения и колошения (0,44-0,40 и 0,44-0,36 соответственно) и возрастала в фазу трубкования (по подсолнечнику – 0,31 и нуту – 0,53). Динамика отклонений $C_{кар}$ по различным предшественникам практически одинаковая и составляет ошибку опыта.

Расчет коэффициента вариации по двум предшественникам – подсолнечнику и нуту – показал совокупную неоднородность показателей. Доля размаха вариации C_a по подсолнечнику составляет 0,21-0,29 и нуту – 0,21-0,28, C_b по подсолнечнику – 0,29-0,44 и нуту – 0,30-0,37.

Таким образом, фотосинтез и питание растений показал тесную взаимосвязь: минеральное

питание стимулирует образование фотосинтетического аппарата и интенсивность его работы. В свою очередь, интенсивный фотосинтез становится условием эффективного использования элементов минерального питания растениями. Применение азотного удобрения и листовой азотной подкормки способствовало повышению концентрации пигментов в органах растений озимой пшеницы. Увеличение доли хлорофилла b и каротиноидов в фазу трубкования обеспечило стабильность фотосинтеза в условиях динамики температуры. Однако за исследуемый период применение аммиачной селитры и КАС было одинаковым по дозам, поэтому дополнительно не влияло на содержание C_a и C_b .

Таблица 6. Количество фотосинтетических пигментов в растениях озимой пшеницы, возделываемых по нуту, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)**Table 6.** The amount of photosynthetic pigments in winter wheat plants following chickpea cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшественник Predecessor	Фаза / Phase								
		кущение tillering			трубкование stem formation			колошение earring		
		Ca, мг/л	Cb, мг/л	C _{кар}	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C _{кар}	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C _{кар}
		Ca, mg/l	Cb, mg/l	C _{car}	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C _{car}	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C _{car}
Зустріч (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	16,55	15,45	4,55	18,40	15,88	3,89	14,49	11,11	2,60
Багира Bagheera		19,09	10,39	3,56	19,29	11,07	2,63	14,33	10,59	1,92
Баграт Bagrat		19,82	12,15	4,57	20,34	12,78	3,74	14,38	10,52	2,86
Показатели вариации / Indicators of variation										
Среднее линейное отклонение Average linear deviation		1,29	1,86	0,44	0,66	1,76	0,53	0,06	0,25	0,36
Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population		1,96	4,40	0,22	0,63	3,96	0,32	0,00	0,07	0,16
Дисперсия по выборке Variance based on a sample		2,95	6,60	0,33	0,94	5,95	0,47	0,01	0,10	0,24
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general		1,40	2,10	0,47	0,79	1,99	0,56	0,07	0,26	0,40
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample		1,72	2,57	0,58	0,97	2,44	0,69	0,08	0,32	0,49
Коэффициент вариации Coefficient of variation		0,49	0,71	2,13	0,47	0,68	2,63	0,63	0,84	3,66
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation		0,22	0,32	0,95	0,21	0,30	1,17	0,28	0,37	1,63

Один из важных показателей качества зерна – содержание белка. Эколого-генетическое повышение продуктивности растений зависит от системы аттракции продуктов фотосинтеза из стеблей и листьев в колос, и определяется содержанием белка в зерне. Рядом научных исследований [31] и нами выявлена зависимость содержания белка в зерне от количества азота в растении (табл. 7, 8). Высоким содержанием белка в зерне характеризуется сорт Баграт по подсолнечнику и бобовому предшественнику. Оно составляло 18,0-18,6% и 18,5-18,9% соответственно. Следовательно, способность колоса притягивать азотистые вещества при внесении удобрений у сорта Баграт возрастало в больше мере, чем у других сортов, что указывает на характерное сортовое свойство. Несколько ниже показатель у сорта Зустріч – 17,3-18,1% и 18,1-18,7%. Наименьший – у сорта Багира (13,4-14,8% и 14,3-14,9%).

Коэффициенты вариации по пропашному предшественнику указывают на не однородность

показателей: по массовой доле белка – 0,76-1,79% и продуктивности – 0,29-0,43. И по бобовому предшественнику – 0,74-1,77% и 0,28-0,40 соответственно.

Таким образом, в 2018 г. по подсолнечнику при показателях хлорофилла Ca и Cb в фазу кушения 15,24-19,00 и 9,81-14,97 соответственно, в фазу трубкования – 17,03-18,45 и 11,58-15,06; в фазу колошения – 13,08-13,74 и 7,79-8,98; каротиноидов C_{кар} – 1,02-1,95; 1,13-1,96; 1,43-2,00 соответственно была достигнута максимальная продуктивность озимой пшеницы (4,7-4,9 т/га). С ростом выше указанных показателей и уменьшением их диапазона урожайность падала, а массовая доля белка – увеличивалась. Так, в 2020 г. отмечено наибольшее содержание белка у сорта Баграт (по подсолнечнику – 18,6%, по нуту – 18,9%). Следовательно, показатели пигментного комплекса можно использовать в качестве селекционного признака устойчивости фотосинтетического аппарата и продуктивности сортов озимой пшеницы.

Таблица 7. Содержание белка в зерне и продуктивность сортов озимой пшеницы, возделываемых по подсолнечнику, 2018-2020 гг.**Table 7.** Protein content in grain and productivity of winter wheat varieties following sunflower cultivation, 2018-2020

Сорт Variety	2018		2019		2020	
	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha
Зустрич (st.) / Zustrich (st.)	17,3	4,38	17,6	4,08	18,1	2,94
Багира / Bagheera	13,4	4,43	13,4	3,77	14,8	2,78
Баграт / Bagrat	18,0	4,71	18,2	4,36	18,6	3,31
Показатели вариации / Indicators of variation						
Среднее линейное отклонение Average linear deviation	1,89	1,36	2,00	2,00	1,58	2,00
Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population	4,10	2,11	4,56	5,81	2,84	4,93
Дисперсия по выборке Variance based on a sample	6,14	3,16	6,84	8,71	4,26	7,39
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general	2,02	1,45	2,14	2,41	1,69	2,22
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample	2,48	1,78	2,62	2,95	2,06	2,72
Коэффициент вариации Coefficient of variation	1,79	0,29	0,79	0,32	0,76	0,43
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation	0,28	0,07	0,29	0,21	0,22	0,19

Таблица 8. Содержание белка в зерне и продуктивность сортов озимой пшеницы, возделываемых по нуту, 2018-2020 гг.**Table 8.** Protein content in grain and productivity of winter wheat varieties following chickpea cultivation, 2018-2020

Сорт Variety	2018		2019		2020	
	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha
Зустрич (st.) / Zustrich (st.)	18,1	4,59	18,3	4,35	18,7	3,28
Багира / Bagheera	14,3	4,51	14,6	4,01	14,9	2,96
Баграт / Bagrat	18,5	4,95	18,7	4,69	18,9	3,54
Показатели вариации / Indicators of variation						
Среднее линейное отклонение Average linear deviation	1,78	1,78	1,73	2,27	1,73	2,00

Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population	3,58	3,66	3,41	7,71	3,39	5,63
Дисперсия по выборке Variance based on a sample	5,37	5,49	5,11	11,56	5,08	8,44
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general	1,89	1,91	1,85	2,78	1,84	2,37
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample	2,32	2,34	2,26	3,40	2,25	2,91
Коэффициент вариации Coefficient of variation	0,77	0,28	0,76	0,30	0,74	0,40
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation	0,25	0,09	0,24	0,16	0,23	0,18

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что возделывание озимой пшеницы в системе *No-till* на темно-каштановых карбонатных тяжелосуглинистых почвах в засушливой зоне Центрального Предкавказья в течение 2018-2020 гг. зависело от складывающихся гидротермических условий, которые были контрастными. Вклад внешней среды в общую изменчивость показателей пигментного комплекса и накопление азота в растениях, качества зерна и урожайность значительны. Статистические и математические данные характеризуют исследуемые генотипы различных сортов озимой пшеницы разнохарактерно.

Накопление C_a и C_b в растениях по всем сортам и предшественникам от фазы кущения до трубкования увеличивалось, от фазы трубкования к колошению уменьшалось. Изменение соотношения $C_{a/b}$ и увеличение синтеза C_b стало адаптивной реакцией ассимиляционного аппарата растений на стрессовое воздействие погодно-климатических условий: снижение осадков и рост температуры.

За рассматриваемый период в общем фонде хлорофилла превалировал C_a . Соотношение $C_{a/b}$ находилось в 2018 г., 2019 г. и 2020 г. в пределах 1,06-2,04, 0,99-2,07 и 1,06-1,84 соответственно.

Содержание хлорофилла в листьях озимой культуры напрямую зависело от содержания каротиноидов. Содержание $C_{кар}$ в растениях по всем сортам и предшественникам увеличивалось от фазы кущения до трубкования и уменьшалось к фазе колошения. В 2019 г. и 2020 г. в фазу колошения концентрация каротиноидов была выше в среднем на 0,74 мг/л (по сравнению с 2018 г.). Этот процесс отражает направленность адаптивных реакций растений на воздействие засушливых климатических явлений.

В целом, на совокупную неоднородность показателей пигментного комплекса, содержания белка, продуктивность сортов озимой пшеницы указывает коэффициент вариации. Так, доля размаха вариации пигментного комплекса в среднем выше по подсолнечнику (в 2,07 раза), чем по нуту (в 2,03 раза). Вариативность динамики показателей свидетельствует об изменении индивидуальной реакции

генотипов сортов озимой пшеницы на фазу вегетации растений и внешние факторы. Оптимальное их сочетание в условиях Центрального Предкавказья показал сорт Баграт по подсолнечнику и бобовому предшественнику: содержание белка составляло 18,0-18,6% и 18,5-18,9% соответственно, продуктивность – 3,31-4,71 и 3,54-4,95 т/га. Остальные сорта в агроценозах предприятия отразили средние показатели.

В засушливых условиях Центрального Предкавказья для достижения планируемой урожайности озимой пшеницы (по подсолнечнику – 4,4-4,8 т/га, по нуту – 4,5-4,9 т/га), возделываемой по технологии *No-till*, рекомендуется дифференцированное внесение азотных удобрений в фазу кущения весной – аммиачной селитры дозой 35 кг д.в. и КАС N_{32} в фазу конец кущения – начало выхода в трубку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сандухадзе Б.И., Кочетыров Г.В., Бугрова В.В., Рыбакова М.И. Эффективность селекции озимой пшеницы в центре Нечерноземной зоны Российской Федерации // Материалы научно-практической конференции «Зеленая революция П.П. Лукьяненко», Краснодар, 28-30 мая, 2001. С. 186-192.
2. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Особенности селекции озимой пшеницы в условиях меняющегося климата // Материалы международной научно-практической конференции «Научные приоритеты инновационного развития отрасли растениеводства: результаты и перспективы», Жодио, 23-24 июня, 2011. С. 178-180.
3. Манукян И.Р., Басиева М.А., Мирошникова Е.С., Абиев В.Б. Оценка адаптивности генотипов озимой пшеницы к засушливым условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2019. N 5 (184). С. 16-22.
4. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
5. Rama Rao N., Garg P.K., Ghosh S.K., Dadhwal V.K. Estimation of leaf total chlorophyll and nitrogen concentrations using hyperspectral satellite imagery // The Journal of Agricultural Science. 2008. V. 146. N 1. P. 65-75.

6. Zhao D., Reddy K.R., Kakani V.G., Koti S., Read J.J. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton // *Agronomy Journal*. 2005. V. 97. N 1. P. 89-98.
7. Schlerf M., Atzberger C., Hill J., Buddenbaum H., Werner W., Schüler G. Retrieval of chlorophyll and nitrogen in Norway spruce using imaging spectroscopy // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2010. V. 12. N 1. P. 17-26.
8. Saleem M.F., Ma B.L., Voldeng H., Wang T.-C. Nitrogen nutrition on leaf chlorophyll, canopy reflectance, grain protein and grain yield of wheat varieties with contrasting grain protein concentration // *Journal of Plant Nutrition*. 2010. V. 33. N 11. P. 1681-1695.
9. Sarker J.R., Singh B.P., Cowie A.L., Badgery W., Dalal R.C. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils // *Soil and Tillage Research*. 2018. N 178. P. 209-223.
10. Nouwakpo S.K., Song J., Gonzalez J.M. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems // *Soil and Tillage Research*. 2018. N 178. P. 65-71.
11. Fiorini A., Maris S.C., Abalos D., Amaducci S., Tabaglio V. Combining no-till with rye (*Secale cereale* L.) cover crop mitigates nitrous oxide emissions without decreasing yield // *Soil & tillage research*. 2020. V. 196. Article ID 104442. DOI: 10.1016/j.still.2019.104442
12. Julien Y., Sobrino J.A. Introducing the time series change visualization and interpretation (TSCVI) method for the interpretation of global NDVI changes // *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2021. V. 96. Article ID 102268. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102268
13. Ranjan A.K., Parida B.R. Predicting paddy yield at spatial scale using optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) based satellite data in conjunction with field-based Crop Cutting Experiment (CCE) data // *International journal of remote sensing*. 2021. V. 42. N 6. P. 2046-2071. DOI: 10.1080/01431161.2020.1851063
14. Javed T., Li Y., Rashid S., Li F., Hu Q.Y., Feng H., Chen X.G., Ahmad S., Liu F.G., Pulatov B. Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data // *Science of the total environment*. 2021. V. 759. Article ID 143530. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143530
15. Medina H., Tian D., Abebe A. On optimizing a MODIS-based framework for in-season corn yield forecast // *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2021. V. 95. Article ID 102258. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102258
16. Yang L.Q., Guan Q.Y., Lin J.K., Tian J., Tan Z., Li H.C. Evolution of NDVI secular trends and responses to climate change: A perspective from nonlinearity and nonstationarity characteristics // *Remote sensing of environment*. 2021. V. 254. Article ID 112247. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112247
17. Shen Q., Liu L.Z., Zhao W.H., Yang J.H., Han X.Y., Tian F., Wu J.J. Relationship of surface soil moisture with solar-induced chlorophyll fluorescence and normalized difference vegetation index in different phenological stages: a case study of Northeast China // *Environmental research letters*. 2021. V. 16. N 2. Article ID 024039. DOI: 10.1088/1748-9326/abd2f1
18. Sabzchi-Dehkharghani H., Nazemi A.H., Sadraddini A.A., Majnooni-Heris A., Biswas A. Recognition of different yield potentials among rain-fed wheat fields before harvest using remote sensing // *Agricultural water management*. 2021. V. 245. Article ID 16611. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106611
19. Guha S., Govil H. Relationship between land surface temperature and normalized difference water index on various land surfaces: A seasonal analysis // *International journal of engineering and geosciences*. 2021. V. 6. N 3. P. 165-173.
20. Кузусль Н.Н., Кравченко А.Н., Скакун С.В., Адаменко Т.И., Шелестов А.Ю., Колотий А.В., Грипич Ю.А. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. N 1. С. 95-107.
21. Arino O., Bicheron P., Achard F., Latham J., Witt R., Weber J.L. Glob Cover: the most detailed portrait of Earth // *ESA Bulletin – European Space Agency*. 2008. N 136. P. 24-31.
22. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8. N 4. С. 285-302.
23. Милаева Я.И., Примаков И.П. Сравнительное определение количества пигментов в листьях кукурузы и табака ускоренным методом // *Селекция и семеноводство*. 1969. N 12. С. 69-72.
24. Wintermans J.E.G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol // *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965. V. 109. P. 448-453.
25. Von Wettstein D. Chlorophyll letale and der sub-mikroskopische formweschelder plastiden // *Experimental cell Research*. 1957. V. 12. P. 427-430.
26. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> (дата обращения: 03.03.2021)
27. Головачев В.И., Кириловская Е.В. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Калининская областная типография управления издательств, 1989. 195 с.
28. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166800> (дата обращения: 03.03.2021)
29. Уникальный инструмент научного анализа данных спутниковых наблюдений // *BEGA-Science*. URL: <http://sci-vega.ru> (дата обращения: 03.03.2021)
30. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е издание. М.: Издательство Агропромиздат, 1985. 351 с.
31. Кошеляев В. В., Сальников В. И., Кошеляева И. П. Содержание белка в зерне сортов озимой пшеницы при различных уровнях минерального питания // *Нива Поволжья*. 2019. N 4 (53). С. 23-29.

REFERENCES

1. Sandukhadze B.I., Kochetyrov G.V., Bugrova V.V., Rybakova M.I. Effectivnost' seleksii ozimoy pshenitsi v tsentre Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii

- [Efficiency of winter wheat breeding in the center of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation]. *Materiali nauchno-prakticheskoy konferentsii "Zelenaya revolyutsiya P.P. Luk'yanenko"*, Krasnodar, 28-30 maya 2001 [Materials of the scientific-practical conference «Green revolution Lukyanenko», Krasnodar, May 28-30, 2001]. Krasnodar, 2001, pp. 186-192. (In Russian)
2. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Osobennosti selektsii ozimoy pshentsi v usloviyakh menyaschegosya klimata [Features of winter wheat breeding in a changing climate]. *Materiali mezhdunarodnoi konferentsii "Nauchnie prioritety innovatsionnogo razvitiya otrasli rasteniyevodstva: resul'tati i perspektivy"*, Zhodino, 23-24 iyunya 2011 [Materials of the international scientific and practical conference "Scientific priorities of innovative development of the crop industry: results and Prospects", Zhodino, June 23-24, 2011]. Zhodino, 2011, pp. 178-180. (In Russian)
 3. Manukyan I.R., Basieva M.A., Miroshnikova E.S., Abiev V.B. Assessment of the Adaptability of Winter Wheat Genotypes to the Arid Conditions of the Foothill Zone of the Central Caucasus. *Agrarnii vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2019, no. 5 (184), pp. 16-22. (In Russian)
 4. Andrianova Yu.E., Tarchevsky I.A. *Khlorofill i produktivnost' rastenii* [Chlorophyll and plant productivity]. Moscow, Nauka Publ., 2000, 135 p. (In Russian)
 5. Rama Rao N., Garg P.K., Ghosh S.K., Dadhwal V.K. Estimation of leaf total chlorophyll and nitrogen concentrations using hyperspectral satellite imagery. *The Journal of Agricultural Science*, 2008, vol. 146, no. 1, pp. 65-75.
 6. Zhao D., Reddy K.R., Kakani V.G., Koti S., Read J.J. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agronomy Journal*, 2005, vol. 97, no. 1, pp. 89-98.
 7. Schlerf M., Atzberger C., Hill J., Buddenbaum H., Werner W., Schüler G. Retrieval of chlorophyll and nitrogen in Norway spruce using imaging spectroscopy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 17-26.
 8. Saleem M.F., Ma B.L., Voldeng H., Wang T.-C. Nitrogen nutrition on leaf chlorophyll, canopy reflectance, grain protein and grain yield of wheat varieties with contrasting grain protein concentration. *Journal of Plant Nutrition*, 2010, vol. 33, no. 11, pp. 1681-1695.
 9. Sarker J.R., Singh B.P., Cowie A.L., Badgery W., Dalal R.C. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils. *Soil and Tillage Research*, 2018, no. 178, pp. 209-223.
 10. Nouwakpo S.K., Song J., Gonzalez J.M. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems. *Soil and Tillage Research*, 2018, no. 178, pp. 65-71.
 11. Fiorini A., Maris S.C., Abalos D., Amaducci S., Tabaglio V. Combining no-till with rye (*Secale cereale* L.) cover crop mitigates nitrous oxide emissions without decreasing yield. *Soil & tillage research*, 2020, vol. 196, article ID 104442. DOI: 10.1016/j.still.2019.104442
 12. Julien Y., Sobrino J.A. Introducing the time series change visualization and interpretation (TSCVI) method for the interpretation of global NDVI changes. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2021, vol. 96, article ID 102268. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102268
 13. Ranjan A.K., Parida B.R. Predicting paddy yield at spatial scale using optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) based satellite data in conjunction with field-based Crop Cutting Experiment (CCE) data. *International journal of remote sensing*, 2021, vol. 42, no. 6. pp. 2046-2071. DOI: 10.1080/01431161.2020.1851063
 14. Javed T., Li Y., Rashid S., Li F., Hu Q.Y., Feng H., Chen X.G., Ahmad S., Liu F.G., Pulatov B. Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data. *Science of the total environment*, 2021, vol. 759, article ID 143530. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143530
 15. Medina H., Tian D., Abebe A. On optimizing a MODIS-based framework for in-season corn yield forecast. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2021, vol. 95, article ID 102258. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102258
 16. Yang L.Q., Guan Q.Y., Lin J.K., Tian J., Tan Z., Li H.C. Evolution of NDVI secular trends and responses to climate change: A perspective from nonlinearity and nonstationarity characteristics. *Remote sensing of environment*, 2021, vol. 254, article ID 112247. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112247
 17. Shen Q., Liu L.Z., Zhao W.H., Yang J.H., Han X.Y., Tian F., Wu J.J. Relationship of surface soil moisture with solar-induced chlorophyll fluorescence and normalized difference vegetation index in different phenological stages: a case study of Northeast China. *Environmental research letters*, 2021, vol. 16, no 2, article ID 024039. DOI: 10.1088/1748-9326/abd2f1
 18. Sabzchi-Dehkharghani H., Nazemi A.H., Sadraddini A.A., Majnooni-Heris A., Biswas A. Recognition of different yield potentials among rain-fed wheat fields before harvest using remote sensing. *Agricultural water management*, 2021, vol. 245, article ID 16611. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106611
 19. Guha S., Govil H. Relationship between land surface temperature and normalized difference water index on various land surfaces: A seasonal analysis. *International journal of engineering and geosciences*, 2021, vol. 6, no. 3, pp. 165-173.
 20. Kussul N.N., Kravchenko A.N., Skakun S.V., Adamenko T.I., Shelestov A.Yu., Kolotiy A.V., Gripich Yu.A. Regression Models of Crop Yield Estimation According to MODIS Data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2012, vol. 9, no. 1, pp. 95-107. (In Russian)
 21. Arino O., Bicheron P., Achard F., Latham J., Witt R., Weber J.L. Glob Cover: the most detailed portrait of Earth. *ESA Bulletin – European Space Agency*, 2008, no. 136, pp. 24-31.
 22. Bartalev S.A., Egorov V.A., Yershov D.V., Isaev A.S., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A. Satellite Mapping of the Vegetation Cover of Russia According to the Data of the MODIS Spectroradiometer. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2011, vol. 8, no. 4, pp. 285-302. (In Russian)
 23. Milaeva Ya.I., Primak I.P. Comparative Determination of the Amount of Pigments in the Leaves of Corn and Tobacco by the Accelerated Method [Breeding and seed production]. 1969, no. 12, pp. 69-72. (In Russian)
 24. Wintermans J.E.G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1965, vol. 109, pp. 448-453.
 25. Von Wettstein D. Chlorophyll letale and der sub-mikroskopische formweschelder plastiden. *Experimental cell Research*, 1957, vol. 12, pp. 427-430.

26. GOST 10846-91. *Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya belka* [GOST 10846-91. Grain and its processed products. Method of protein determination]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> (accessed 03.03.2021)
27. Golovachev V.I., Kirillovskaya E.V. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue two. Cereals, cereals, legumes, corn and fodder crops]. Moscow, Kalinin Regional Printing House of the Publishing Department, 1989, 195 p. (In Russian)
28. GOST 13496.4-2019. *Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya sodержaniya*

- azota i syrogo proteina* [GOST 13496.4-2019. Feed, compound feed, feed raw materials. Methods for determining the content of nitrogen and crude protein]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200166800> (accessed 03.03.2021)
29. *Universal'nyi instrument nauchnogo analiza dannykh sputnikovyyh nablyudenii* [VEGA-Science]. Available at: <http://sci-vega.ru> (accessed: 03.03.2021)
30. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 5th edition, 351 p. (In Russian)
31. Koshelev V.V., Salnikov V.I., Koshelyaeva I.P. Protein content in grain of winter wheat varieties at different levels of mineral nutrition. *Niva Povolzh'ya* [Niva of the Volga region]. 2019, no. 4 (53), pp. 23-29. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр Н. Есаулко, Елена В. Письменная и Евгений В. Голосной участвовали в корректировке рукописи до подачи в редакцию. Алена Ю. Ожередова и Юлия Н. Кузьмина провели полевые опыты, статистически обработали результаты и проанализировали данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander N. Esaulko, Elena V. Pismennaya and Evgeniy V. Golosnoi participated in the correction of the manuscript prior to submission to the Editor. Alena Yu. Ozheredova and Yulia N. Kuzminova conducted field experiments, statistically processed the results and analysed the data. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Александр Н. Есаулко / Alexander N. Esaulko <https://orcid.org/0000-0003-0441-9055>
 Елена В. Письменная / Elena V. Pismennaya <https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>
 Евгений В. Голосной / Evgeniy V. Golosnoi <https://orcid.org/0000-0003-2703-641X>
 Алена Ю. Ожередова / Alena Yu. Ozheredova <https://orcid.org/0000-0001-6038-6409>
 Юлия Н. Кузьмина / Yulia N. Kuzminova <https://orcid.org/0000-0002-2144-3519>

Оригинальная статья / Original article

УДК 330.15(556.5)

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-151-161

Опыт разработки геоинформационной системы пойменных земель Донского бассейна

Денис А. Солодовников¹, Станислав С. Шинкаренко^{1,2}, Наталья М. Хаванская¹,
Наталья А. Кукушкина¹

¹Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, Россия

Контактное лицо

Денис А. Солодовников, кандидат географических наук, заведующий кафедрой географии и картографии Волгоградского государственного университета; 400062 Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 100. Тел. +78442461639

Email solodovnikov@volsu.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>

Формат цитирования

Солодовников Д.А., Шинкаренко С.С., Хаванская Н.М., Кукушкина Н.А. Опыт разработки геоинформационной системы пойменных земель Донского бассейна // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 151-161. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-151-161

Получена 18 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 16 февраля 2021 г.

Принята 6 сентября 2021 г.

Резюме

Цель. В работе описывается опыт разработки геоинформационной системы пойменных земель Донского бассейна. Играя большую роль в хозяйстве, поймы рек обеспечивают воспроизводство сенокосов и пастбищ, рыбы, водоплавающих и околоводных птиц, а в аридной зоне в них концентрируются лесные ресурсы и дикие животные. Но в настоящее время отсутствует единая база данных, которая бы позволила анализировать важнейшие характеристики пойменных ландшафтов.

Материал и методы. Реализация элементов базы данных была осуществлена с использованием следующих методов. Площадь бассейна реки (притока), уклон и экспозиция бортов долины, уклон русла реки и длина водотока, площади пойм, сельскохозяйственных угодий на пойменных землях, лесных угодий, коэффициенты извилистости реки и развитости поймы и количество, площадь и объем малых водохранилищ получают при обработке цифровых моделей рельефа функциями модуля Spatial Analyst и космоснимков в автоматическом режиме.

Результаты. На первом этапе исследования авторами разработаны 14 важнейших характеристик, которые составляют основу современной базы данных по поймам бассейна реки Дон и определены алгоритмы и методики расчета каждого показателя.

Заключение. Создание специализированной геоинформационной системы пойменных земель бассейна Дона позволяет решать частные задачи унификации данных и взаимодействия отдельных модулей электронного атласа между собой и с внешними ресурсами web-картографических сервисов и баз данных. Полученный атлас найдет широкое применение в сферах управления водными и земельными ресурсами и охраны природы.

Ключевые слова

Пойма, геоинформационные системы, бассейн реки, управление водными ресурсами, река Дон, база данных, электронный атлас.

Developmental experience of the geoinformation system for floodplain lands of the Don basin

Denis A. Solodovnikov¹, Stanislav S. Shinkarenko^{1,2}, Natalya M. Khavanskaya¹ and Natalya A. Kukushkina¹

¹Volgograd State University, Volgograd, Russia

²Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Amelioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

Principal contact

Denis A. Solodovnikov, Candidate of Geography Sciences, Head, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University; 100 Universitetsky Pr., Volgograd, Russia 400062. Tel. +78442461639
Email solodovnikov@volsu.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>

How to cite this article

Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S., Khavanskaya N.M., Kukushkina N.A. Developmental experience of the geoinformation system for floodplain lands of the Don basin. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 151-161. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-151-161

Received 18 June 2020

Revised 16 February 2021

Accepted 6 September 2021

Abstract

Aim. The work describes the experience of developing a geographic information system for the floodplain lands of the Don basin. Playing a large role in the economy, river floodplains provide reproduction of hayfields and pastures, fish, waterfowl and birds which live near water, and in the arid zone they concentrate forest resources and wild animal populations. However, until the present there has been no single database that would allow us to analyse the most important characteristics of floodplain landscapes.

Material and Methods. The implementation of the database elements was carried out using the following methods. The area of the river basin (tributary), the slope and exposure of the sides of the valley, the slope of the river bed and the length of the watercourse, the area of floodplains, agricultural land on floodplain lands, forest land, the tortuosity of the river and the development of the floodplain and the number, area and volume of small reservoirs were obtained by processing digital terrain models employing functions of the Spatial Analyst module and satellite images in automatic mode.

Results. During this first stage of the study, the authors developed 14 important characteristics that form the basis of a modern database for the floodplains of the Don River Basin and determined algorithms and methods for calculating each indicator.

Conclusion. The creation of a specialized geographic information system for the floodplain lands of the Don basin permits the solution of particular problems of data unification and the interaction of individual electronic atlas modules with each other and with the external resources of web-mapping services and databases. The resulting atlas should find wide application in the areas of water and land management and nature conservation.

Key Words

Floodplain, geoinformation systems, river basin, water resources management, Don River, database, electronic atlas.

ВВЕДЕНИЕ

Поймы рек играют большую роль в природных экосистемах и хозяйстве. При сравнительно небольших площадях они обеспечивают воспроизводство сенокосов и пастбищ, рыбы, водоплавающих и околоводных птиц. Например, пойменные луга дают 50% заготавливаемого в стране сена, хотя их площадь составляет лишь 20% площади сенокосов [1]. Особенно велика роль речных пойм в регионах с засушливым климатом. Именно в поймах аридной зоны концентрируются лесные ресурсы, дикие животные. Долины рек служат путями миграций птиц. В поймах аккумулируется огромное количество биогенных элементов, как принесенных с поверхности водосбора, так и образовавшихся на месте. При условии мелиорации и масштабного гидротехнического строительства обширные площади пойменных угодий могут эффективно использоваться в хозяйстве, в первую очередь как районы возделывания овощных культур. Низовья крупных рек юга Европейской России (Волга, Дон, Кубань) уже в значительной степени освоены. Пойменные угодья почти полностью относятся к территориям с особым режимом природопользования. Часто на одной территории накладываются несколько режимов охраны, например «водоохранный зона», «нерестоохранная полоса леса», «ключевая орнитологическая территория», «водно-болотные угодья международного значения», особо охраняемые природные территории федерального и регионального уровня и др. [2]. Пойменные угодья служат важным буфером распространения антропогенных загрязнителей [3; 4]. Все это указывает на чрезвычайную ценность и уязвимость ландшафтов речных пойм, и необходимость бережного и эффективного управления их природными ресурсами [5].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальной представляется задача формирования современной базы данных и электронного атласа по пойменным угодьям России. Общедоступные архивы космоснимков и современные средства обработки (геоинформационные системы) позволяют получать большую часть такой информации дистанционно. Начало такой работы положено авторами, формирующими базу данных по поймам бассейна реки Дон. На начальном этапе база данных включает следующие элементы:

1. Площадь бассейна реки (притока).
2. Уклоны и экспозиции бортов долины.
3. Уклоны русла реки и длина водотока.
4. Площади пойм.
5. Площади сельскохозяйственных угодий на пойменных землях.
6. Площади лесных угодий.
7. Дифференциация пойм по высотным уровням.
8. Коэффициент извилистости реки.
9. Коэффициент развитости поймы.
10. Глубина залегания грунтовых вод и уклоны зеркала грунтовых вод.

11. Строение речной долины.
12. Количество, площадь и объем малых водохранилищ.
13. Гидрологические и гидрохимические характеристики по данным государственного мониторинга на гидропостах.
14. Климатические характеристики по данным наблюдений на метеостанциях в бассейне реки.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Площадь бассейна реки (притока)

Материальной основой геоморфологического анализа района исследования послужила цифровая модель рельефа (ЦМР), созданная по данным радарной топографической съемки Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), проведенной в феврале 2000 г. с борта шаттла многоразового использования «Endeavour» [6]. Разработчики ЦМР – Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства США (NASA) и Национальная Геопространственная Спецслужба (NGA) [7]. ЦМР, построенные на основе данных радарной съемки, нашли широкое применение в дистанционных методах изучения рельефа. Использовалась ЦМР SRTM 1 Arc-Second Global с разрешением в 1 угловую секунду. В ходе геоинформационного моделирования она была обработана в программной среде ArcGIS 10.3 с помощью модуля пространственного анализа Spatial Analyst. Моделирование эрозионной сети было осуществлено в ArcGIS 10.3 с помощью последовательной обработки ЦМР функциями модуля пространственного анализ: Spatial Analyst > Гидрология (Hydrology) [8]. Отбор водотоков проводился по величине значения суммарного стока >100,1. Границы водосборных бассейнов при таком алгоритме обработки формируются автоматически. Также можно использовать бесплатное программное обеспечение QGIS.

2. Уклоны и экспозиции бортов долины

Этот показатель также формируется по указанному выше алгоритму. Он имеет значение при расчетах модуля и слоя стока [9].

3. Уклоны русла реки и длина водотока

Являются важным показателем интенсивности русловых процессов в долине реки. Данные формируются автоматически по указанному выше алгоритму. Также сведения о среднем и средневзвешенном уклонах реки могут быть получены из формы 1.11-гвр «Водные объекты. Основные гидрографические характеристики водосборных площадей рек». Но, как показывает опыт, даже для таких крупных рек как Дон или Волга, в Государственном водном реестре содержатся не все сведения по уклонам и морфометрическим характеристикам водосборов рек. Поэтому использование данных дистанционного зондирования является практически безальтернативным.

4. Площади пойм

Этот слой атласа формируется на основе морфометрического анализа цифровых моделей рельефа, а также данных дистанционного зондирования, как оптических, так и радарных. Актуальная площадь затопления при половодье может быть определена классификацией инфракрасного канала (максимум поглощения водой). Для этих целей подходят спутниковые данные Sentinel 2 (восьмой канал) разрешением 10 м и Landsat (пятый канал Landsat 8, четвертый канал Landsat 5 и 7) разрешением 30 м [10; 11]. Для больших водных объектов, например, дельты Волги на пике половодья возможно использование данных MODIS разрешением 250 м, преимущество которых является высоко временное разрешение: менее суток, в то время как данные более высокого пространственного разрешения получаются с интервалом 7-16 дней [12; 13]. Перспективными данными для выделения водного зеркала являются радарные информационные продукты. Их преимуществом является независимость от состояния атмосферы и облачности, что очень важно в период весеннего половодья, когда ясные дни очень редки. По слою с водным зеркалом определяются высотные отметки по цифровой модели рельефа, в результате по данным дистанционного зондирования возможно определение уровней поймы и площадей затоплений при половодьях различной обеспеченности [14].

При совмещении этого слоя маской границ муниципальных образований [15] получают данные об административной приуроченности земельных угодий, могут быть определены площади пойменных земель для каждого муниципального образования.

5. Площади сельскохозяйственных угодий на пойменных землях

Контуры обрабатываемых земель выделяются при визуальном изучении космоснимков и оцифровываются в ручном режиме. Следует отметить, что пойменные угодья в большинстве случаев относятся к водоохранной зоне и распахка земель здесь запрещена из экологических соображений. Распахка пойменных земель неизбежно приводит к значительным потерям почв, смываемых во время следующего половодья, поэтому выявление и устранение таких нарушений является важной природоохранной мерой [16].

6. Площади лесных угодий

Лесные массивы выделяются по спутниковым RGB-композитам Sentinel 2 разрешением 10 м в комбинации «естественные цвета» (каналы 4-3-2) или «искусственные цвета» с включением инфракрасного канала (комбинация 8-4-3). Для локальных участков можно ограничиться визуальным экспертным дешифрированием с верификацией по данным сверхвысокого разрешения, например, Google Earth. Для площадей уровня бассейна реки необходимо использовать алгоритмы автоматизированных классификаций с обучением. Для этого оптимально использовать спутниковые снимки за август-сентябрь. Травянистая растительность в это время, как правило,

уже заканчивает вегетацию и зеленые кроны деревьев хорошо выделяются. Кроме дешифрирования и автоматизированных алгоритмов обработки спутниковых снимков возможно получение данных о подстилающей поверхности и распределении типов использования земель из готовых наборов. Это имеет смысл при анализе пойменных земель в пределах бассейнов крупных рек. Например, существуют продукты, содержащие сведения о растительном покрове как низкого разрешения [17], так и высокого [18]. Преимуществом этих данных является глобальный охват – весь мир. Тем не менее, на субрегиональном уровне они недостаточно точны, и метод экспертного дешифрирования данных дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения остаётся вне конкуренции.

7. Дифференциация пойм по высотным уровням

Исследователи речных долин отмечают в поймах крупных и средних по размерам рек наличие трех высотных уровней (генераций), связанных с разными гидролого-климатическими условиями на протяжении периода образования пойм как форм рельефа [19]. Для любой реки характерна значительная вариабельность высоты и продолжительности половодий в разные годы. Например, на реках степной зоны разница в высоте подъема воды в разные годы в половодье может составлять более 5 метров. Высокая пойма затопляется редко и на короткий срок, средняя пойма заливается половодьем чаще, низкая пойма – ежегодно на срок до 1-1,5 месяцев (в зависимости от размеров и географического положения реки).

Для решения этой задачи одних данных дистанционного зондирования Земли недостаточно. Необходимо полевое эталонирование на характерных участках. Алгоритм работы при этом следующий:

а) анализ максимальных высот половодий на конкретной реке по годам. Используются данные наблюдений за уровнями воды на гидрологических постах;

б) анализ космоснимков района расположения гидрологического поста, определение предварительных границ трех высотных уровней поймы (рис. 1);

с) полевые исследования в районе гидрологического поста, получение инструментального поперечного профиля поймы реки;

д) сопоставление высотных отметок поверхности поймы с высотой половодий, определение условий и вероятности затопления при половодьях разного уровня (рис. 2). Также анализируется состояние растительности на пробных площадях: виды-доминанты, ярусность, проективное покрытие, состояние древостоев, наличие видов-индикаторов и т.п. Растительность, как один из наиболее динамичных компонентов ландшафта, служит показателем современных тенденций функционирования пойменных экосистем;

е) анализ космических снимков периода половодья за характерные годы (с низким, средним и высоким уровнем половодья). Этот этап позволяет

детализировать данные о затоплении поймы и дать пространственную характеристику этого процесса. По результатам строятся картосхемы затопления уровней поймы в зависимости от высоты половодья. Шейп-файлы с контурами зон затопления и является результатами этого этапа. Такие данные имеют большую ценность при планировании землепользования, защите населенных пунктов и

объектов инфраструктуры от катастрофических затоплений, оценке лесопригодности территории (рис. 3).

f) расчет вероятности затопления отдельных высотных уровней поймы и поймы в целом в годы с разной высотой половодья. Расчет выражается графически в виде диаграммы, показывающей риски затопления (рис. 4).

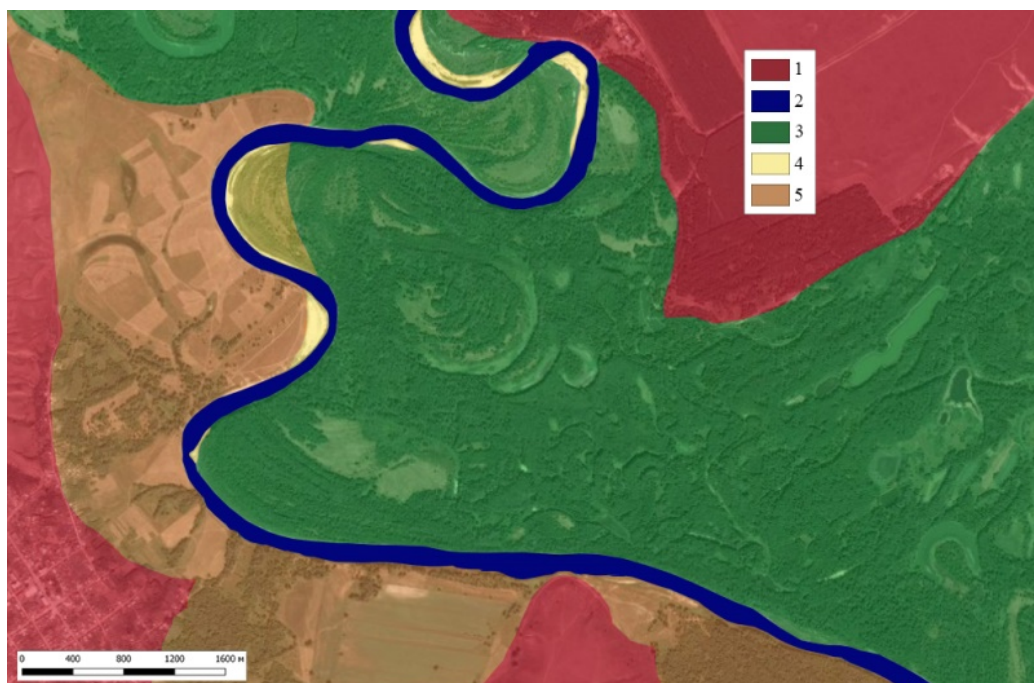


Рисунок 1. Соотношение трех уровней поймы и коренных склонов в пойме реки Хопер.

1 – коренные склоны речной долины; 2 – русло реки; 3 – средний уровень; 4 – низкий уровень; 5 – высокий уровень

Figure 1. Ratio of the three levels of the floodplain and indigenous slopes in the floodplain of the Kopper River.

1 – bedrock slopes of the river valley; 2 – riverbed; 3 – middle level; 4 – low level; 5 – high level

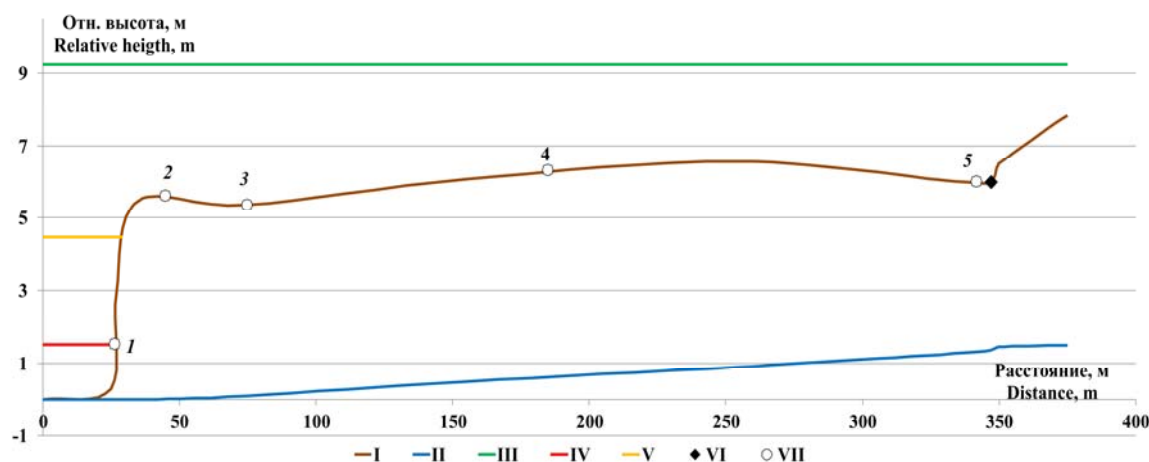


Рисунок 2. Поперечный профиль поймы реки Медведица. I – рельеф; II – уровень грунтовых вод;

III – максимальный уровень при половодье; IV – минимальный уровень при половодье;

V – среднемаксимальный уровень при половодье; VI – контрольные скважины;

VII – геоботанические площадки (1-5 номера площадок)

Figure 2. Cross section of the floodplain of the Medveditsa River. I – relief; II – ground water level;

III – maximum flood level; IV – minimum flood level; V – medium maximum flood level; VI – control wells;

VII – geobotanical sampling plot (1-5 numbers)

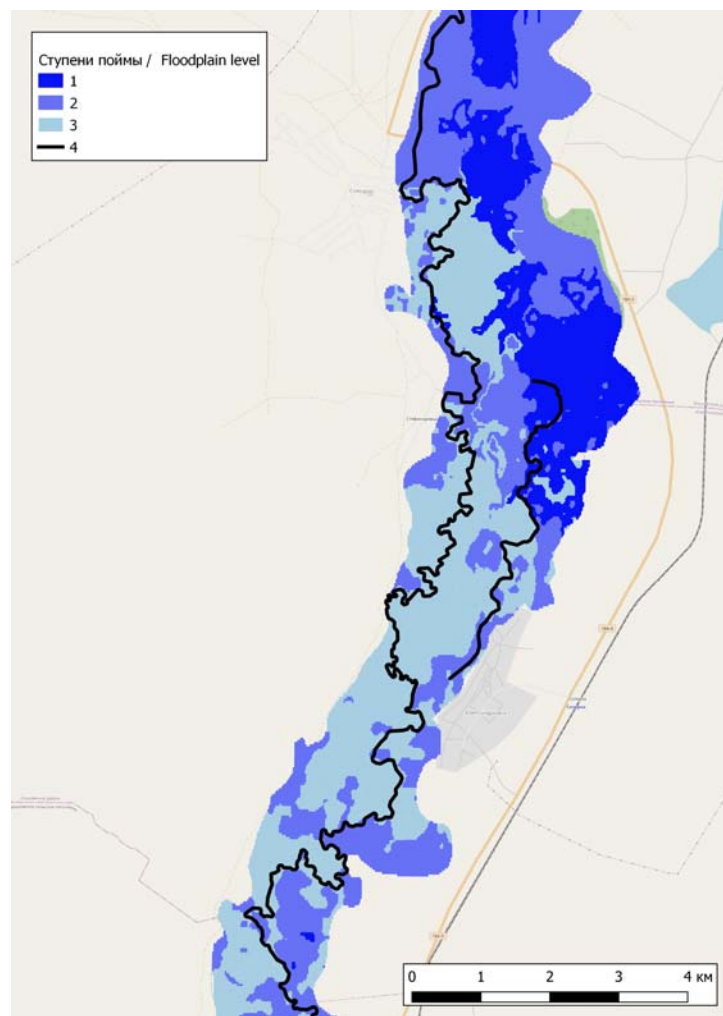


Рисунок 3. Высотные уровни поймы реки Иловля

1 – низкий уровень; 2 – средний уровень; 3 – высокий уровень; 4 – русло реки

Figure 3. Altitude levels of the Ilovlya floodplain

1 – low level; 2 – middle level; 3 – high level; 4 – riverbed

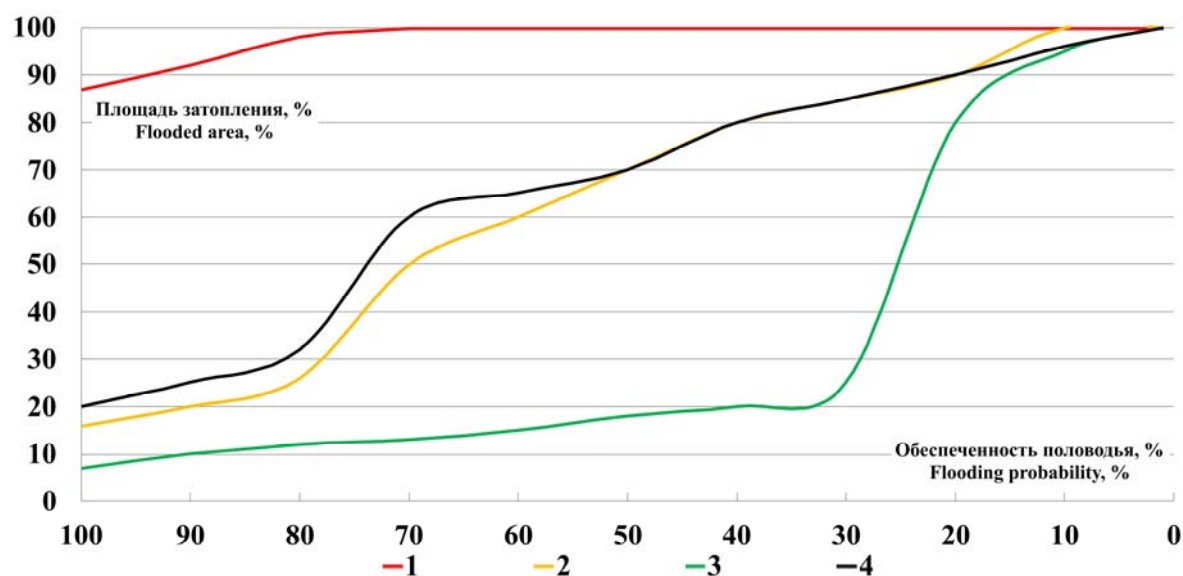


Рисунок 4. Риск затопления поймы реки Хопер при половодьях разной вероятности.

1 – низкий уровень; 2 – средний уровень; 3 – высокий уровень; 4 – вся площадь поймы

Figure 4. Risk of flooding of the Koper floodplain during floods of different probability.

1 – low level; 2 – middle level; 3 – high level; 4 – all areas of the floodplain

8. Коэффициент извилистости реки

Одна из важных морфометрических характеристик реки. Все равнинные реки в процессе своего развития формируют системы излучин-меандров. Физический смысл меандров – увеличение длины водотока, а, следовательно – уменьшение уклонов на каждом конкретном участке. Коэффициент извилистости – отношение длины водотока на определенном участке (или реки в целом) к длине соответствующего участка речной долины. В настоящее время разработано несколько математических инструментов вычисления коэффициента извилистости, в основном, достаточно трудоемких. При использовании средств геоинформатики получение результатов любым (или всеми сразу) методом становится простой задачей.

9. Коэффициент развитости поймы

Коэффициент развитости поймы – отношение средней для характерного участка ширины поймы к ширине русла реки. Является одним из важнейших косвенных показателей, характеризующих природно-хозяйственную значимость речных экосистем. Этот показатель прямо связан с объемом воспроизводства планктона и бентоса, площадью нерестовых и нагульных угодий рыбы, площадью гнездовых водоплавающих и околоводных птиц, лугов и лесов [1]. В среднем, чем выше этот коэффициент, тем выше хозяйственная и природоохранная ценность поймы, хотя бываю и исключения.

Особое значение имеют флуктуации средней ширины поймы – расширения и сужения. Такие участки служат маркерами современных тектонических движений [20]. Расширения поймы и участки увеличения меандрирования соответствуют зонам неотектонических опусканий, а сужения и участки спрямленных русел – зонам поднятий [20]. Эти показатели имеют значение в структурной геологии, в частности при поиске месторождений нефти и газа.

10. Глубина залегания грунтовых вод и уклоны зеркала грунтовых вод

Важнейшая характеристика экосистемы поймы. Определяет лесопригодность, буферные функции поймы как природного фильтра, возможность диффузного стока загрязняющих веществ в пределах поймы. Данные по этому элементу базы данных получаются исключительно в полевых условиях (рис. 2). Авторами разработаны оригинальные методики мониторинга и моделирования процессов динамики грунтовых вод пойм [21-24].

11. Строение речной долины

Этот тематический слой электронного атласа найдет применение в структурной геологии. Речные долины обычно приурочены к нарушениям земной коры – разломам, сбросам, прогибам, зонам тектонической трещиноватости. Технологии анализа строения долин давно и хорошо разработаны [19], но современная геоинформатика выводит их применение на качественно новый уровень.

Классическими морфометрическими признаками речных долин являются:

- схема расположения притоков по отношению к главной долине системы;
- количество долин, образующих данную систему;
- степень асимметричности долинной системы;
- длины долин по порядкам.

Все эти показатели получаются современными геоинформационными системами в автоматическом режиме.

12. Количество, площадь и объем малых водохранилищ

Важнейший показатель использования водных ресурсов бассейна [25]. Как показывает практика, в условиях дефицита водных ресурсов на реках создается большое количество таких водохранилищ, причем большая часть – фактически нелегально. В бассейне Дона насчитывается более 12 000 водохранилищ, но в Российский регистр гидротехнических сооружений [26] включено всего 1738. Большую часть (67% от общего числа искусственных водоемов) составляют малые водохранилища и пруды, имеющие полезный объем менее 1 млн м³, основная часть которых используется для водоснабжения окрестных территорий и орошения земель [27]. Уже первые этапы формирования нашей базы данных показали, что и количество 12 000 сильно занижено, в него не включено множество небольших прудов, перехватывающих поверхностный сток в самых верхних звеньях эрозионной сети. В бассейне Среднего Дона в верховьях балок нередко насчитывается до 20 прудов на 100 км² площади (рис. 5). Без точных данных об объеме таких водохранилищ невозможно корректное составление водного баланса бассейна. Площади малых водохранилищ получаются при обработке цифровых моделей рельефа и космоснимков в автоматическом режиме. Объем водохранилища тесно связан с площадью и высотой подпора воды. Зная основные морфометрические характеристики его можно вычислить с погрешностью до 10-15%, что допустимо при расчете основных гидрологических характеристик реки. Также перечень сооружений на водных объектах формируется с использованием сведений Государственного водного реестра (формы 3.1-гвр «Водохозяйственные системы», 3.2-гвр «Гидротехнические сооружения, расположенные на водных объектах» и 3.3-гвр «Сооружения, расположенные на водных объектах»).

13. Гидрологические и гидрохимические характеристики по данным государственного мониторинга на гидропостях

Для анализа динамики состояния пойменных экосистем и условий их функционирования очень важно иметь представление о гидрологических (уровни, расходы) характеристиках и гидрохимических (содержание в воде загрязняющих веществ) характеристиках водотоков. На первом этапе формируется перечень гидропостов согласно форме 1.10-гвр «Водные объекты. Список пунктов

наблюдения» Государственного водного реестра с указанием периода наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими характеристиками. Далее происходит запрос сведений из Государственного водного реестра в Бассейновом водном управлении или Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу

окружающей среды. Сведения о гидрохимических показателях также могут быть получены из находящихся в открытом доступе региональных докладов о состоянии окружающей среды и ежегодниках Гидрохимического института Росгидромета.



Рисунок 5. Система малых водохранилищ в верховьях балки Грачи (приток реки Паньшинка, Средний Дон).

1-17 – пруды

Figure 5. The system of small reservoirs in the upper reaches of the Grachi Gully (a tributary of the Panshinka River, Middle Don). 1-17 – reservoirs

14. Климатические характеристики по данным наблюдений на метеостанциях в бассейне реки

Кроме гидрологических условий на состояние пойменных экосистем оказывают влияние климатические и погодные флуктуации [28-30]. Массив данных по метеостанциям, в зоне влияния которых находятся изучаемые пойменные ландшафты, формируется на основе Автоматизированной Информационной Системы Обработки Режимной Информации (АИСОРИ), поддерживаемой Всероссийским НИИ гидрометеорологической информации – Мировым центром данных [31]. По этим данным вычисляются коэффициенты линейных трендов, и производится анализ направления климатических изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе создания специализированной геоинформационной системы пойменных земель бассейна Дона решаются частные задачи

унификации данных и взаимодействия отдельных модулей электронного атласа между собой и с внешними ресурсами web-картографических сервисов и баз данных. По мере создания ГИС пополняется новыми тематическими слоями. Будучи окончательно сформированной, такая база данных может стать эффективным средством мониторинга и управления природными ресурсами пойм и их охраны.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках темы НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 0713-2019-0001.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within a theme of the Federal Scientific Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences No. 0713-2019-0001.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фашевский Б.В. Гидрологические аспекты охраны и рационального использования пойменных ландшафтов // Гидрологические исследования ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1986. С. 57-64.
2. Robert A. River Processes: An Introduction to Fluvial Dynamics. 2003, Arnold, London. 240 p.
3. Onistratenko N.V., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnikov D.A. Heavy metals in suburban ecosystems of industrial centres and ways of their reduction // *Ekologia Bratislava*. 2016. V. 35. N 3. P. 205-212. DOI: 10.1515/eko-2016-0016
4. Червань А.Н., Романенко С.С. Пространственное отображение устойчивости почв к техногенному засолению в Солигорском горнопромышленном районе на основе почвенных комбинаций // *Почвоведение*. 2019. N 8. С. 993-1003. DOI: 10.1134/S0032180X19080057
5. Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr Darya River under Modern Changing Conditions // *Arid Ecosystems*. 2019. V. 9. N 4. P. 226-236. DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10070
6. Zyl J. van. The shuttle radar topography mission (SRTM): A breakthrough in remotesensing of topography // *Acta Astronautica*. 2001. V. 48. Iss. 5-12. P. 559-565. DOI: 10.1016/S0094-5765(01)00020-0
7. Martz L.W., Garbrecht J. Automated Extracion of Drainage Network and Watershed Data from Digital Elevation Models // *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*. 1993. V. 29. Iss. 6. P. 901-908. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1993.tb03250.x
8. Кашащцева А.Ю., Шипулин В.Д. Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3 // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География». 2011. Т. 24 (63). С. 85-92.
9. Harvey A. Introducing Geomorphology: A Guide to Landforms and Processes. 2012, Dunedin Academic Press, Edinburgh. 136 p.
10. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А. Формирование новой дельты Сырдарьи // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. N 2. С. 267-271. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-267-271
11. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin // *Water Resources*. 2020. V. 47. N 6. P. 977-986. DOI: 10.1134/S0097807820060135
12. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгадиева А.Н., Выприцкий А.А. Динамика площадей водоемов Западного ильменно-бурового района дельты Волги // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021. Т. 18. N 4. С. 285-290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290
13. Gao B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // *Remote sensing of environment*. 1996. V. 58. N 3. P. 257-266. DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3
14. Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А., Рулев А.С. Динамика береговой линии острова Сарпинский на Нижней Волге // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. N 5. С. 120-129. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-120-129
15. Векторные слои и готовые проекты на базе Open Street Map в формате ESRI shapefile URL: <https://data.nextgis.com/> (дата обращения: 23.05.2020)
16. Romanova T.A., Chervan' A.N., Andreeva V.L. The theoretical basis and practical significance of the study of soil cover structure // *Eurasian Soil Science*. 2011. V. 44. P. 272-280. DOI: 10.1134/S106422931101011X
17. Lamarche C., Santoro M., Bontemps S., d'Andrimont R., Radoux J., Giustarini L., Brockmann C., Wevers J., Defourny P., Arino O. Compilation and validation of SAR and optical data products for a complete and global map of inland/ocean water tailored to the climate modeling community // *Remote Sensing*. 2017. V. 9. N 1. 36 p. DOI: 10.3390/rs9010036
18. Jun Ch., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map // *Nature*. 2014. Iss. 514 (7523). P. 434. DOI: 10.1038/514434c
19. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Снижение стока рек равнин Северной Евразии в оптимум голоцена // *Водные ресурсы*. 2012. Т. 39. N 1. С. 40-53.
20. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960. 96 с.
21. Солодовников Д.А., Филиппов О.В. Геологическое строение и современные тектонические движения в районе Александровского грабена // *Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища. Сборник научных статей. Ответственный редактор: А.В. Плякин; Федеральное агентство по образованию, Волгоградский государственный университет. Волгоград, 2009. С. 71-83.*
22. Солодовников Д.А., Хаванская Н.М., Вишняков Н.В., Иванцова Е.А. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм // *Юг России: экология, развитие*. 2017. Т. 12. N 3. С. 106-114.
23. Solodovnikov D.A. Modeling of groundwater dynamics and landscapes of river floodplains of the Lower Volga region // *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2019. V. 12. Hydrology and Water Resources. P. 387-392. DOI 10.5593/sgem2019/3.1/S12.050
24. Солодовников Д.А., Шинкаренко С.С., Вишняков Н.В., Хаванская Н.М. Грунтовые воды речных пойм – годовая динамика и математические модели // *Природные системы и ресурсы*. 2019. Т. 9. N 3. С. 54-63. DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.2.7
25. Анучина Н.А., Шилова Н.В. Ожидаемые демографические тенденции развития Волгоградской области // *Естественные и технические науки*. 2018. N 12 (126). С. 151-153.
26. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40. N 6. С. 544-556.
27. Российский регистр гидротехнических сооружений 2020. Справочное пособие М.: Ростехнадзор, ФГБУ «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений», 2020. 1304 с.
28. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений // *Экосистемы: экология и динамика*. 2017 Т. 1. N 3. С. 146-188.
29. Golub V.B., Chuvashov A.V., Bondareva V.V., Gerasimova K.A., Nikolaichuk L.F. Changes in the flora composition of the Volga-Akhtuba floodplain after regulation of the flow of Volga river // *Arid ecosystems*. 2020. V. 10. N 1. P. 44-51. DOI: 10.1134/S2079096120010047

30. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region // *Arid Ecosystems*. 2018. V. 8. N 4. P. 231-244. DOI: 10.1134/S2079096118040066
 31. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР) Свидетельство о государственной регистрации базы данных N 2014620942. 2004. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 23.05.2020)
- REFERENCES**
1. Fashevskiy B.V. [Hydrological aspects of protection and rational use of floodplain landscapes]. In: *Gidrologicheskoe issledovaniya landshaftov* [Hydrological studies of landscapes]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, pp. 57-64. (In Russian)
 2. Robert A. River Processes: An Introduction to Fluvial Dynamics. Arnold, London, 2003, 240 p.
 3. Onistratenko N.V., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnikov D.A. Heavy metals in suburban ecosystems of industrial centres and ways of their reduction. *Ekologia Bratislava*, 2016, vol. 35, no. 3, pp. 205-212. DOI: 10.1515/eko-2016-0016
 4. Chervan A.N., Romanenko S.S. Spatial mapping of soil resistance to technogenic salinization in the Soligorsk mining district based on soil combinations. *Eurasian Soil Science*, 2019, no. 8, pp. 993-1003. (In Russian) DOI: 10.1134/S0032180X19080057
 5. Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr Darya River under Modern Changing Conditions. *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, no. 4, pp. 226-236. DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10070
 6. Zyl J. van. The shuttle radar topography mission (SRTM): A breakthrough in remotesensing of topography. *Acta Astronautica*, 2001, vol. 48, iss. 5-12, pp. 559-565. DOI: 10.1016/S0094-5765(01)00020-0
 7. Martz L.W., Garbrecht J. Automated Extracion of Drainage Network and Watershed Data from Digital Elevation Models. *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*, 1993, vol. 29, iss. 6, pp. 901-908. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1993.tb03250.x
 8. Kashchavtseva A.Yu., Shipulin V.D. Modeling of River Basins by Means of ArcGIS 9.3. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya "Geografiya" [Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series "Geography"]. 2011, vol. 24 (63), pp. 85-92. (In Russian)
 9. Harvey A. Introducing Geomorphology: A Guide to Landforms and Processes. Dunedin Academic Press, Edinburgh, 2012, 136 p.
 10. Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Formation of a new delta of Syr Darya. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 267-271. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-267-271
 11. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin. *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 6, pp. 977-986. DOI: 10.1134/S0097807820060135
 12. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Vypritskii A.A. Dynamics of water bodies areas in the Western Ilmen Lake Region of the Volga Delta. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, vol. 18, no. 4, pp. 285-290. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290
 13. Gao B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 1996, vol. 58, no. 3, pp. 257-266. DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3
 14. Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A., Ruliev A.S. Coastline dynamics of the Sarpinsky Island on the Lower Volga. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 16, no 5. pp. 120-129. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-120-129
 15. *Vektornye sloi i gotovye proekty na baze Open Street Map v formate ESRI shapefile* [Vector layers and ready-to-go GIS projects based on Open Street Map in ESRI shapefile format]. Available at: <https://data.nextgis.com/en/> (accessed 23.05.2020)
 16. Romanova T.A., Chervan A.N., Andreeva V.L. The theoretical basis and practical significance of the study of soil cover structure. *Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 4, pp. 272-280. DOI: 10.1134/S106422931101011X
 17. Lamarche C., Santoro M., Bontemps S., D'Andrimont R., Radoux J., Giustarini L., Brockmann C., Wevers J., Defourny P., Arino O. Compilation and validation of SAR and optical data products for a complete and global map of inland/ocean water tailored to the climate modeling community. *Remote Sensing*, 2017, vol. 9, no. 1, 36 p. DOI: 10.3390/rs9010036
 18. Jun Ch., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map. *Nature*, 2014, iss. 514 (7523), 434 p. DOI: 10.1038/514434c
 19. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. River runoff decrease in North-Eurasian plains during the holocene optimum. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2012, vol. 39, no. 1, pp. 40-53. (In Russian)
 20. Filosofov V.P. *Kratkoe rukovodstvo po morfometricheskomu metodu poiskov tektonicheskikh struktur* [Brief management to a morphometrical method of search for tectonic structures]. Saratov, SSU Publ., 1960, 96 p. (In Russian)
 21. Solodovnikov D.A., Filippov O.V. [Geological Structure and Neotectonic Displacements in Aleksandrovsky Graben's Area]. In: *Problemy kompleksnogo issledovaniya Volgogradskogo vodokhranilishcha* [Problems of Complex Research of the Volgograd Water Reservoir]. Volgograd, VSU Publ., 2009, pp. 71-83. (In Russian)
 22. Solodovnikov D.A., Khavanskaya N.M., Vishnyakov N.V., Ivantsova E.A. Methodical basis of geophysical monitoring of ground water river floodland. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2017, vol. 12, no. 3, pp. 106-114. (In Russian)
 23. Solodovnikov D.A. Modeling of groundwater dynamics and landscapes of river floodplains of the Lower Volga region. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2019, vol. 12, Hydrology and Water Resources, pp. 387-392. DOI: 10.5593/sgem2019/3.1/S12.050
 24. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S., Vishnyakov N.V., Khavanskaya N.M. Groundwater of river floodplains – intra-annual dynamics and mathematical models. *Natural Systems and Resources*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 54-63. (In Russian) DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.2.7
 25. Anuchina N.A., Shilova N.V. Expected demographic trends in the Volgograd region. *Estestvennye i tekhnicheskie*

nauki [Natural and technical Sciences]. 2018, no. 12 (126), pp. 151-153 (In Russian)

26. Jamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Modern changes in the water regime of rivers in the Don basin. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2013, vol. 40, no. 6, pp. 544-556. (In Russian)

27. *Rossiiskii registr gidrotekhnicheskikh sooruzhenii* [Russian Register of Hydraulic Constructions]. Moscow, Rostekhnadzor, FGBU "Tsentr Rossiiskogo registra gidrotekhnicheskikh sooruzhenii" Publ., 2020, 1304 p. (In Russian)

28. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E. Evaluation of disturbances in terrestrial ecosystems and landscapes caused by changes of climate and hydrological conditions. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics]. 2017, vol. 1, no. 3, pp. 146-188. (In Russian)

29. Golub V.B., Chuvashov A.V., Bondareva V.V., Gerasimova K.A., Nikolaichuk L.F. Changes in the flora composition of the

Volga-Akhtuba floodplain after regulation of the flow of Volga river. *Arid ecosystems*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 44-51. DOI: 10.1134/S2079096120010047

30. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region. *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 4, pp. 231-244. DOI: 10.1134/S2079096118040066

31. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. *Opisanie massiva dannykh sutochnoi temperatury vozdukh i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)* [Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)] Certificate of database registration RF no. 2014620942, 2004. (In Russian) Available at: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#opisanie-massiva-dannykh> (accessed 23.05.2020)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Денис А. Солодовников проводил работы по геоинформационному моделированию, написал рукопись. Станислав С. Шинкаренко участвовал в разработке ГИС. Наталья М. Хаванская определила научный дизайн статьи и её оформление. Наталья А. Кукушкина подготовила иллюстративный материал, также проводила корректировку рукописи до поступления в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Denis A. Solodovnikov carried out work on geoinformation modeling and wrote the manuscript. Stanislav S. Shinkarenko participated in the development of GIS. Natalya M. Khavanskaya determined the scientific design of the article and its layout. Natalya A. Kukushkina prepared the illustrative material and also corrected the manuscript before submitting it to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Денис А. Солодовников / Denis A. Solodovnikov <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>

Станислав С. Шинкаренко / Stanislav S. Shinkarenko <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

Наталья М. Хаванская / Natalya M. Khavanskaya <http://orcid.org/0000-0001-9217-6529>

Наталья А. Кукушкина / Natalya A. Kukushkina <https://orcid.org/0000-0001-8588-8501>

Оригинальная статья / Original article

УДК 657.471.1

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-162-173

Методологические аспекты бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды

Назирхан Г. Гаджиев¹, Сергей А. Коноваленко², Михаил Н. Трофимов², Рабадан М. Рабаданов³

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Рязанский филиал Московского университета МВД России им. В. Я. Кикотя, Рязань, Россия

³Счетная палата Российской Федерации, Москва, Россия

Контактное лицо

Михаил Н. Трофимов, кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры экономической безопасности, Рязанского филиала Московского университета МВД России имени В.Я. Кикотя; 390046 Россия, г. Рязань, ул. 1-я Красная, 18А.

Тел. +79308722287

Email fanat1k.fanat1k.fanat1k@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7194-0468>

Формат цитирования

Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Рабаданов Р.М. Методологические аспекты бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 162-173. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-162-173

Получена 22 октября 2021 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2021 г.

Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель. Изучить методологические аспекты бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды, специфику нормативно-правового регулирования данного направления бухгалтерского учета, определить основные тенденции и проблемы методологии учета в различных системах бухгалтерского учета.

Методы. Исследование проведено с использованием теоретического системного анализа, индукции, дедукции, сравнительно-описательного анализа, общенаучного метода бухгалтерского учета.

Результаты. Авторами рассмотрены основные концепции в системе бухгалтерского учета в отношении источников покрытия расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды с учетом действующих нормативно-правовых актов. Предложены пути решения вопроса, связанного с необходимостью научно-обоснованного выбора модели отражения в учете расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды, для формирования эффективной системы финансирования данных расходов для коммерческих компаний и частных инвесторов. Сделаны выводы о необходимости подготовки бухгалтерского стандарта, посвященного учету расходов и доходов в сфере экологической деятельности и экологической безопасности.

Заключение. Предложения авторов в части методологии бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды создадут предпосылки формирования теоретической модели финансирования «зеленой экономики».

Ключевые слова

Бухгалтерский учет, экологическая безопасность, расходы на восстановление окружающей среды, капитальные расходы, текущие расходы.

Methodological aspects of accounting of expenditures on environmental safety and environmental restoration

Nazirkhan G. Gadzhiev¹, Sergey A. Konovalenko², Mikhail N. Trofimov² and Rabadan M. Rabadanov³

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Ryazan Branch, V.Ya. Kikot Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Ryazan, Russia

³Accounts Chamber of the Russian Federation, Moscow, Russia

Principal contact

Mikhail N. Trofimov, PhD in Economics, Senior Lecturer, Department of Economic Security, Ryazan Branch, V. Ya. Kikotya Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia; 18A 1-ya Krasnaya St, Ryazan, Russia 390046.

Tel. +79308722287

Email fanat1k.fanat1k@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7194-0468>

How to cite this article

Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Rabadanov R.M. Methodological aspects of accounting of expenditures on environmental safety and environmental restoration. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 162-173. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-162-173

Received 22 October 2021

Revised 14 December 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. To study the methodological aspects of accounting for expenditures on environmental safety and environmental restoration, the specifics of regulatory regulation of this area of accounting and to identify the main trends and problems of accounting methodology in various accounting systems.

Methods. The study was conducted using theoretical system analysis, induction, deduction, comparative-descriptive analysis and the general scientific method of accounting.

Results. The authors consider the main concepts in the accounting system in relation to the sources of covering the costs of environmental safety and environmental restoration, taking into account the current regulatory legal acts. Ways of solving the issue related to the need for a scientifically-based choice of the model of accounting for the costs of environmental safety and environmental restoration and for the formation of an effective system of financing these costs for commercial companies and private investors are proposed. Conclusions are drawn about the need to prepare an accounting standard dedicated to accounting for expenses and income in the field of environmental activities and environmental safety.

Conclusion. The authors' proposals regarding the methodology of accounting for expenditures on environmental safety and environmental restoration will create prerequisites for the formation of a theoretical model for financing the "green economy".

Key Words

Accounting, environmental safety, environmental remediation costs, capital costs, operating costs.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость учета и контроля расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в РФ определяются п. 1 ст. 39 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», который указывает на то, что организации, использующие объекты капитального строительства, должны проводить, в том числе мероприятия по сохранению и восстановлению природной среды, обеспечению экологической безопасности, предотвращению вредного воздействия на окружающую среду, рекультивации земель [1].

Исследование методологии бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды имеет неоспоримое значение прежде всего для определения источников финансирования данных расходов и формирования в будущем необходимых фондов денежных средств для обеспечения приемлемого уровня экологической безопасности. Существуют различные концепции в отношении источников покрытия расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды. В отечественной системе бухгалтерского учета преобладает затратный подход, основывающийся на включении этой группировки расходов в производственную себестоимость продукции (работ, услуг) без дисконтирования данных затрат с учетом инфляционных ожиданий [2]. Такой подход с позиции теории имеет ряд недостатков, прежде всего это отсутствие привязки расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды к фактической эксплуатации объектов основных средств, оказывающих пагубное воздействие на окружающую среду. Другая проблема – это отсутствие корректировки расходов с учетом уровня инфляции, что не позволяет правильно планировать данные расходы и не дает возможности экономическим агентам создавать необходимые фонды денежных средств для своевременного покрытия таковых расходов.

Обращая внимание на зарубежный опыт, в сфере учета расходов на восстановление окружающей среды вследствие влияния производственных факторов следует выделить два основных подхода.

Первый основывается на концепции отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в первоначальной стоимости основных средств с учетом дисконтирования расходов. Такой подход, по нашему мнению, является научно обоснованным, так как позволяет соблюдать экономически обоснованную логическую цепочку в вопросах формирования экономических результатов деятельности организации: основные средства – затраты на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды – финансовые результаты деятельности компании.

Второй подход основывается на концепции отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды через затратный подход с учетом дисконтирования расходов [3]. К

плюсам данного подхода следует относить то, что, главным источником покрытия расходов на экологическую безопасность становятся финансовые результаты деятельности компании, а сами расходы корректируются с учетом уровня инфляции и являются экономически оправданными. Недостатком с точки зрения методологии бухгалтерского учета, по нашему мнению, является тот факт, что первоначальная стоимость объектов основных средств не пересматривается, а экологические расходы списываются за счет финансового результата деятельности компаний напрямую без учета экономической выгоды, приносимой объектом основных средств, что нарушает критериальные признаки отнесения объектов к основным средствам установленным действующими стандартами бухгалтерского учета [4]. В связи с этим требуется проведение тщательного исследования каждой из концепций отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в системах бухгалтерского учета с целью формирования эффективной модели «зеленой экономики».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нормативное регулирование бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в РФ регламентируется, прежде всего, документами методического характера, основное место отводится Письму Минфина РФ № ПЗ-7/2011 «О бухгалтерском учете, формировании и раскрытии в бухгалтерской отчетности информации об экологической деятельности организации» [5]. Согласно данного документа все расходы на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в РФ делятся на две группы: капитальные вложения и текущие расходы. Первые расходы увеличивают первоначальную (справедливую) стоимость объектов основных средств, вторые отражаются в составе производственной себестоимости.

К капитальным вложениям, относятся затраты на:

- строительство сооружений по охране атмосферного воздуха;
- водоохранные сооружения по сбору и очистке сточных вод;
- строительство установок по переработке отходов производства и потребления;
- строительство противозерозионных гидротехнических, противоселевых, противооползневых, противолавинных, противообвальных сооружений, предназначенных для защиты и реабилитации земель, поверхностных и подземных вод;
- возведение объектов, направленных на защиту окружающей среды от шумового, вибрационного и других видов физического воздействия;
- мероприятия по обеспечению радиационной безопасности окружающей среды;
- проектно-изыскательские и опытно-конструкторские работы по созданию природоохранного оборудования, средств защиты

природных объектов от негативных антропогенных воздействий на окружающую среду [6].

К текущим расходам, следует относить расходы на:

- содержание и эксплуатацию объектов основных средств, связанных с экологической деятельностью, и их ремонт;
- сырье, используемые при эксплуатации объектов, связанных с экологической деятельностью;
- содержание персонала, обслуживающего объекты, связанные с экологической деятельностью;
- рентные (лизинговые) платежи, платежи по страхованию, касающиеся сооружений и оборудования, связанных с экологической деятельностью;
- сбор, хранение (захоронение) и переработку (обезвреживание), уничтожение, размещение отходов производства и потребления собственными силами;
- организацию самостоятельного контроля за вредным воздействием на окружающую среду и мониторинговые мероприятия, научно-технические исследования в сфере экологической безопасности;
- текущие мероприятия по сохранению и восстановлению окружающей среды;
- обязательное страхование гражданской ответственности организации, эксплуатирующей опасный производственный объект;
- осуществление платы за негативное воздействие на окружающую среду;
- прочие текущие мероприятия по снижению вредного воздействия на окружающую среду и предотвращению изменения климата [7].

Расходы на содержание и эксплуатацию объектов, связанных с экологической безопасностью, относятся на себестоимость продукции (работ, услуг) и подлежат включению в соответствующие статьи расходов по обычным видам деятельности, исходя из отраслевых методических рекомендаций по учету затрат в целях калькулирования себестоимости продукции. В зависимости от существенности расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды следует выделить такую статью как «Экологические мероприятия», либо непосредственно в отчете о финансовых результатах, либо в пояснениях к статье (статьям) отчета о финансовых результатах [8].

Согласно документу, методологически капитальные расходы учитываются по дебету счета 08 «Вложения во внеоборотные активы» субсчет расходы, связанные с экологической деятельностью. При вводе объекта основных средств (нематериальных активов) в эксплуатацию затраты включаются в их первоначальную стоимость в соответствии с требованиями ПБУ 6/01 «Учет основных средств» утв. приказом Минфина России от 30.03.2001 № 26н (ред. от 16.05.2016)¹ и ПБУ 14/07

«Учет нематериальных активов» утв. Приказом Минфина России от 27.12.2007 № 153н (ред. от 16.05.2016).

В соответствии с Инструкцией к плану счетов финансово-хозяйственной деятельности организаций отражение текущих расходов происходит по дебету счетов учета затрат 20 «Основное производство» или 26 «Общехозяйственные расходы» и кредиту счетов расчетов 76 «Расчеты с разными дебиторами и кредиторами», 68 «Расчеты с бюджетом по налогам и сборам» и т.д. Если расходы носят длительный характер, то для более равномерного включения затрат в себестоимость готовой продукции (работ, услуг) может применяться счет 97 «Расходы будущих периодов».

Приказ Росстата от 21.11.2018 № 682 «Об утверждении Методических указаний по расчету индекса физического объема природоохранных расходов» определяет перечень затрат, не подлежащих включению в состав расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды, в частности, к таковым не относятся:

- затраты на мероприятия, дающие положительный природоохранный эффект, но реализованные вне рамок и задач охраны окружающей среды и осуществляемые главным образом в целях общего снижения издержек производства, повышения качества выпускаемой продукции, получения попутной продукции, производства экологической продукции, охраны здоровья, улучшения условий труда, повышения техники безопасности;
- затраты, связанные с использованием природных ресурсов;
- платежи за негативное воздействие, за использование природных ресурсов, штрафы за нарушение природоохранного законодательства, возмещение ущерба окружающей природной среде, компенсации, полученные от третьих сторон [9].

Перечень указанных затрат является закрытым.

Для обобщения информации о данных расходах используется счет 91 «Прочие доходы и расходы». Списание затрат отражается по дебету счета 91 и кредиту счетов расчетов, материальных ценностей и т.д.

Положением по бухгалтерскому учету «Оценочные обязательства, условные обязательства и условные активы» (ПБУ 8/2010), утвержденным приказом Минфина России от 13.12.2010 № 167н, предусмотрено включение в стоимость актива величины оценочного обязательства при его признании.

Обобщая вышесказанное, первоначальная стоимость всех потенциально опасных для экологии основных средств при их приобретении, создании, реконструкции или модернизации должна включать признанную величину оценочного обязательства по восстановлению нарушенной экологической системы, отражающую наиболее достоверную денежную оценку затрат, необходимых для расчетов по этому обязательству, по состоянию на отчетную дату [10].

¹ Документ утрачивает силу с 1 января 2022 года в связи с изданием Приказа Минфина России от 17.09.2020 № 204н.

Аналогичное требование по своему содержанию введено в отношении обязательной проверки капитальных вложений на обесценение и учета изменения их стоимости вследствие обесценения. Такая проверка и учет ведутся в порядке, предусмотренном Международным стандартом финансовой отчетности (IAS) 36 «Обесценение активов», введенным в действие на территории Российской Федерации приказом Минфина России от 28 декабря 2015 г. № 217н. [11].

Оценочные обязательства отражаются на счете 96 «Резервы предстоящих расходов» в корреспонденции с кредитом счетов учета затрат 20 «Основное производство», 23 «Вспомогательное производство» и т.д.

В соответствии с п.42-44 Приказа Минфина России от 17.09.2020 № 204н «Об утверждении Федеральных стандартов бухгалтерского учета ФСБУ 6/2020 «Основные средства» и ФСБУ 26/2020 «Капитальные вложения» затраты на демонтаж, утилизацию объекта и восстановление окружающей среды признаются расходами периода, в котором были понесены (за исключением случаев, когда в отношении этих затрат ранее было признано оценочное обязательство), т.е. данные расходы относятся на счет 91 «Прочие доходы и расходы» с кредита счетов 70 «Расчеты с персоналом по оплате труда», 76 «Расчёты с разными дебиторами и кредиторами», 10 «Материалы» и т.д. [6].

В налоговом учете РФ расходы на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды включаются в состав прочих расходов, расходы, связанные с производством и реализацией (пп. 4 п. 2 ст. 253, пп. 49 п. 1 ст. 264 НК РФ, Письмо Минфина России от 09.11.2011 № 03-03-06/1/736 (п. 1)).

В настоящее время нормативно правовая база по ведению учета не содержит международного стандарта учета и финансовой отчетности, посвященного только непосредственно учету расходов и доходов в сфере экологической деятельности и экологической безопасности, что, безусловно свидетельствует о недостаточности внимания к вопросам организации учета и контроля в данной сфере на международном уровне. Интересной с точки зрения методологии бухгалтерского учета является практика некоторых зарубежных стран по отражению хозяйственных операций, связанных с расходами на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды. Согласно принятой практике в первоначальную стоимость объектов основных средств включаются:

- покупная цена актива, уплаченная по договору контрагенту;
- таможенные пошлины, уплаченные в соответствии с заключенным внешнеэкономическим контрактом;
- невозмещаемые налоги на покупку (акцизы, НДС и т.п.);
- все затраты, непосредственно связанные с приобретением объекта и необходимые для приведения объекта в состояние готовности к эксплуатации;

- затраты (предполагаемые) на демонтаж и восстановление окружающей среды.

Действующие правила предполагают дисконтирование затрат на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в течение всего срока эксплуатации объекта основных средств [12]. Такой подход безусловно стимулирует руководство хозяйствующего субъекта осуществлять дополнительные расходы на обеспечение экологической безопасности, природоохранной деятельности и восстановление окружающей среды, выгода хозяйствующего субъекта заключается в увеличении производственной себестоимости и как следствие сокращение налогооблагаемой прибыли за счет произведенных экологических расходов, скорректированных на уровень инфляции в стране. Недостатком с точки зрения методологии бухгалтерского учета, по мнению авторов, является то, что первоначальная стоимость объектов основных средств не пересматривается, а экологические расходы списываются за счет финансового результата деятельности компаний напрямую без учета экономической выгоды, приносимой объектом основных средств, что нарушает, в том числе критериальные признаки отнесения объектов к основным средствам, установленным, действующими стандартами бухгалтерского учета.

В международных стандартах по ведению учета на сегодняшний момент не прописана методика определения планируемых дисконтируемых затрат на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды, расчет планируемых затрат осуществляется компаниями самостоятельно, исходя из особенностей условий хозяйствования или сложившейся действующей практике оценки в конкретной стране. Принятая методика оценка дисконтируемых затрат может утверждаться в учетной политике компании.

Представим схематично на рисунке 1 данный вариант отражения расходов на обеспечение экологической безопасности и восстановление окружающей среды.

Следующий возможный вариант принятия к учету расходов на обеспечение экологической безопасности, природоохранной деятельности и восстановление окружающей среды предполагает ежегодный пересмотр первоначальной (переоценённой) стоимости объекта основных средств за счет включения дисконтированной величины данных расходов и постепенное списание расходов за счет начисления ежемесячной амортизации. Данный подход с методологической точки зрения, по мнению авторов, является более действенным, так как он позволяет списывать равными долями расходы на себестоимость продукции в течение всего срока эксплуатации основных средств. Таким образом, происходит привязка расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды к эксплуатации конкретных объектов основных средств. Схематично данная модель может быть представлена на рисунке 2.

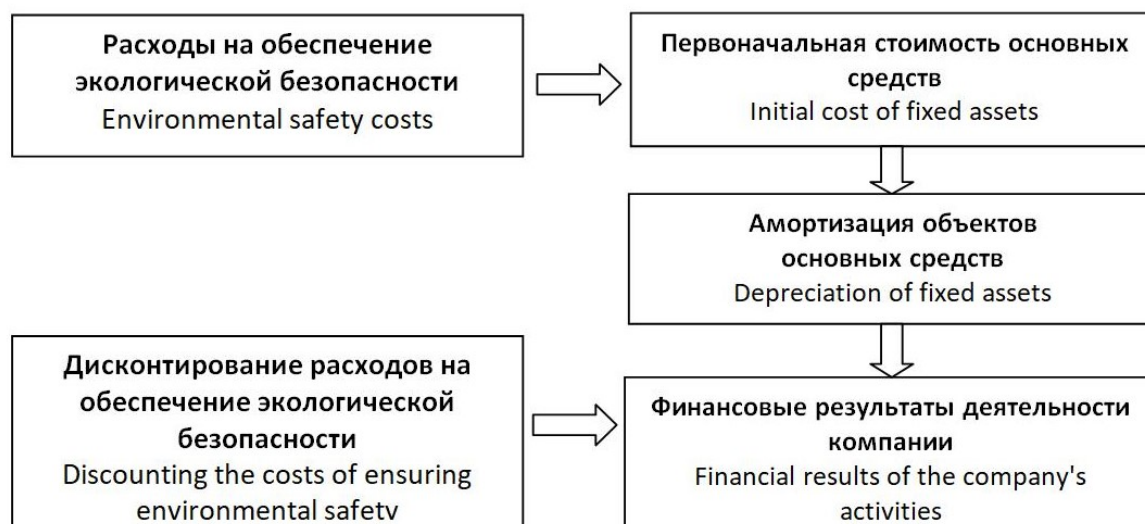


Рисунок 1. Первый методологический вариант отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в бухгалтерском учете

Figure 1. First methodological option for reflecting the costs of environmental safety and environmental restoration in accounting

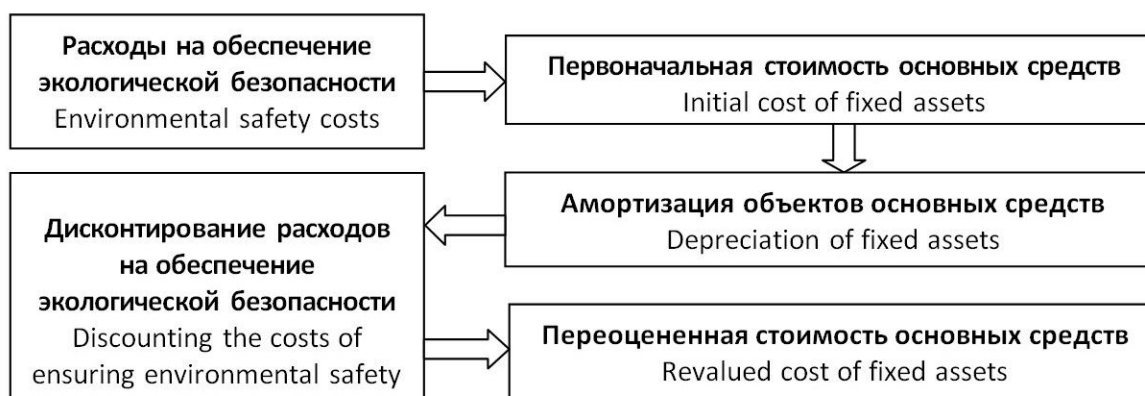


Рисунок 2. Второй методологический вариант отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в бухгалтерском учете

Figure 2. Second methodological option for accounting for the costs of environmental safety and environmental restoration

Безусловно, главным плюсом обоих вариантов является возможность планировать и дисконтировать расходы на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды с учетом прогнозного уровня инфляции, то есть по факту данные расходы будут расти как в абсолютном, так и относительном размере в структуре себестоимости продукции, при этом они будут экономически целесообразными и обоснованными, что обеспечит возможность через инструментарии бухгалтерского учета осуществлять переход к «зеленой экономике» [13]. В обоих представленных вариантах происходит привязка расходов на экологическую деятельность к финансовым результатам компании. Особо важную роль в этих двух моделях играет амортизация основных средств в первой модели она представляет собой константную постоянную величину, во второй модели амортизация будет списываться ускоренными темпами, так как ее величина будет непрерывно

возрастать вследствие пересмотра (переоценки) первоначальной стоимости. Такой вариант подходит, прежде всего, для компаний, занимающихся внедрением дорогостоящих инновационных технологий в сфере экологической деятельности.

В национальной учетной парадигме расходы на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды не дисконтируются и не корректируются с учетом официального прогноза уровня инфляции, в результате, величина этих расходов в относительном размере в структуре себестоимости остается неизменной, а в некоторых случаях даже снижается (например в условиях экономических кризисов или жесткой экономии затрат на производстве), такой подход методологически следует считать менее действенным, вследствие чего, необходимо внести соответствующие поправки в базовые нормативно-

правовые акты регламентирующие учет данных расходов.

Приведем практический пример отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в различных системах бухгалтерского учета с использованием отечественного плана счетов бухгалтерского учета.

Пример. Компания приобрела оборудование для переработки сырой нефти на общую стоимость 1589000 усл.ед. Стоимость расходов по доставке и страхованию составила 450000 усл.ед., расходы на регистрацию и сертификацию оборудования составили 42000 усл.ед. После ввода в эксплуатацию для поддержания экологической безопасности района потребовалось осуществление работ

(подрядным способом) по очищению атмосферы от вредных примесей. На общую сумму:

1 год 35000 усл.ед. Коэффициент инфляции 1,025.

2 год 42000 усл.ед. Коэффициент инфляции 1,025.

3 год 15000 усл.ед. Коэффициент инфляции 1,055.

Срок эксплуатации оборудования установлен 10 лет. Необходимо отразить расходы на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в бухгалтерском учете с учетом требований различных подходов, принятых в различных системах бухгалтерского учета.

Классическая концепция расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды с учетом требований Российских правил и требований по ведению бухгалтерского учета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Отражение расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды с учетом требований Российских правил и требований бухгалтерского учета

Table 1. Reflection of expenses for environmental safety and restoration of the environment, taking into account the requirements of Russian regulations and accounting requirements

№	Содержание операций Content of operations	Сумма, усл. ед. Amount, conl. units.	Дебет Debit	Кредит Credit
1	Отражена стоимость оборудования для переработки сырой нефти приобретенная у поставщиков Reflection of cost of crude oil processing equipment purchased from suppliers	1589000	08-4	60
2	Отражены по доставке и страхованию Delivery and insurance services	450000	08-4	76
3	Отражены расходы на регистрацию и сертификацию оборудования Reflection of expenditure on registration and certification of equipment	42000	08-4	76
4	Введено оборудование по первоначальной стоимости Initial cost of introduction of equipment	2081000	01-1	08-4
5	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 1 год Reflection of current expenses for implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 1 year	35000 35000	97 26	76 97
6	Начислена амортизация за 1 год Depreciation accrued for 1 year	208100	26	02
7	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 2 год Reflection of current expenses for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 2 years	42000 42000	97 26	76 97
8	Начислена амортизация за 2 год Depreciation accrued for 2 years	208100	26	02
9	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 3 год Reflection of current expenditures for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 3 years	15000 15000	97 26	76 97
10	Начислена амортизация за 3 год Depreciation accrued for 3 years	208100	26	02

Согласно классической концепции бухгалтерского учета в РФ расходы на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды списываются на расходы по организации производства и управлению

в дебет счета 26 «Общехозяйственные расходы», с последующим отнесением либо в состав производственной себестоимости дебет счета 20 «Основное производство», либо на себестоимость

продаж в дебет счета 90 субсчет «Себестоимость продаж», в зависимости от принятого варианта в учетной политике организации. Недостаток этой модели с методологической точки зрения состоит в отсутствии привязки расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды к фактической эксплуатации объектов основных средств, осуществляющих вредные выбросы и

фактическое загрязнение окружающей среды. При этом данные расходы не дисконтируются с учетом уровня инфляции, а амортизация постоянна [14].

Концепция отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в первоначальной стоимости основных средств с учетом дисконтирования расходов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Отражение расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды с учетом дисконтирования расходов

Table 2. Reflection of expenditures on environmental safety and restoration of the environment, taking into account the discounting of expenditures

№	Содержание операций Content of operations	Сумма, усл. ед. Amount, conl. units.	Дебет Debit	Кредит Credit
1	Отражена стоимость оборудования для переработки сырой нефти приобретенная у поставщиков Reflection of cost of crude oil processing equipment purchased from suppliers	1589000	08-4	60
2	Отражены по доставке и страхованию Reflection of delivery and insurance services	450000	08-4	76
3	Отражены расходы на регистрацию и сертификацию оборудования Reflection of costs of registration and certification of equipment	42000	08-4	76
4	Введено оборудование по первоначальной стоимости Initial cost of introduction of equipment	2081000	01-1	08-4
5	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 1 год Reflection of current expenses for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 1 year	35875 35875	08-4 01-1	76 08-4
6	Начислена амортизация за 1 год Depreciation accrued for 1 year	208100	26	02
7	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 2 год Reflection of current expenses for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 2 years	43050 43050	08-4 01-1	76 08-4
8	Начислена амортизация за 2 год Depreciation accrued for 2 years	235208	26	02
9	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 3 год Reflection of current expenses for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 3 years	15825 15825	08-4 01-1	76 08-4
10	Начислена амортизация за 3 год Depreciation accrued for 3 years	269990	26	02

Данный вариант предполагает ежегодный пересмотр первоначальной (переоценённой) стоимости объекта основных средств за счет включения дисконтированной величины данных расходов и постепенного списания расходов за счет начисление ежемесячной амортизации. С методологической точки зрения данный вариант является более научно обоснованным, так как позволяет соблюдать экономически обоснованную логическую цепочку основные средства – затраты на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды – финансовые результаты деятельности компании.

Концепция отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды через затратный подход с учетом дисконтирования расходов по прогнозируемому уровню инфляции представлены в таблице 3.

Первоначальная стоимость объектов основных средств не пересматривается, а экологические расходы списываются за счет финансового результата деятельности компаний на прямую с учетом прогнозной инфляции, при этом амортизация объектов основных средств остается постоянной. Такой подход в отражении расходов на

экологическую безопасность и восстановление окружающей среды выгоден прежде всего для компаний, осуществляющих значительные текущие затраты на природоохранные и очистительные мероприятия.

Таблица 3. Отражение расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды через затратный подход с учетом дисконтирования расходов по уровню инфляции

Table 3. Reflection of expenditures on environmental safety and restoration of the environment through the cost approach, taking into account the discount of expenditures by the level of inflation

№	Содержание операций Content of operations	Сумма, усл. ед. Amount, confl. units.	Дебет Debit	Кредит Credit
1	Отражена стоимость оборудования для переработки сырой нефти приобретенная у поставщиков Reflection of cost of crude oil processing equipment purchased from suppliers	1589000	08-4	60
2	Отражены по доставке и страхованию Delivery and insurance services	450000	08-4	76
3	Отражены расходы на регистрацию и сертификацию оборудования Reflection of costs of registration and certification of equipment	42000	08-4	76
4	Введено оборудование по первоначальной стоимости Equipment was introduced at the initial cost	2081000	01-1	08-4
5	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 1 год Reflection of current expenses for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 1 year	35875 35875	97 91-2	76 97
6	Начислена амортизация за 1 год Depreciation accrued for 1 year	208100	26	02
7	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 2 год Reflection of current expenses for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 2 years	43050 43050	97 91-2	76 97
8	Начислена амортизация за 2 год Depreciation accrued for 2 years	208100	26	02
9	Отражены текущие расходы на осуществление работ по очищению атмосферы от вредных примесей в 3 год Reflection of current expenses for the implementation of works on the purification of the atmosphere from harmful impurities in 3 years	43050 43050	97 91-2	76 97
10	Начислена амортизация за 3 год Depreciation accrued for 3 years	208100	26	02

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование методологии бухгалтерского учета расходов, связанных с экологической безопасностью и восстановлением окружающей среды, позволило авторам сделать ряд выводов.

Во-первых, исследование методологии бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды имеет колоссальное значение, прежде всего для определения источников финансирования данных расходов и формирования в будущем необходимых фондов денежных средств для обеспечения приемлемого уровня экологической безопасности. От организации учета затрат зависит формирование общей концепции финансирования данных расходов частными инвесторами и компаниями, развития в будущем необходимой модели экологичной экономики.

Во-вторых, в отечественной системе бухгалтерского учета превалирует затратный подход, основывающийся на включении этой группировки расходов в производственную себестоимость продукции (работ, услуг) без дисконтирования данных затрат с учетом инфляционных ожиданий. Недостаток этой модели с методологической точки зрения является в отсутствии привязки расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды к фактической эксплуатации объектов основных средств, осуществляющих вредные выбросы и фактическое загрязнение окружающей среды, это в свою очередь приводит к формированию неэффективной и научно-необоснованной концепции покрытия данных расходов в экономике.

В-третьих, в зарубежных системах бухгалтерского учета преобладает два подхода. Первый

основывается на концепции отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в первоначальной стоимости основных средств с учетом дисконтирования расходов [15]. Такой подход, по нашему мнению, является более научно обоснованным, так как позволяет соблюдать экономически обоснованную логическую цепочку основных средства – затраты на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды – финансовые результаты деятельности компании.

Второй подход основывается на концепции отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды через затратный подход с учетом дисконтирования расходов. Плюсом данного подхода является то, что, главным источником покрытия расходов на экологическую безопасность становятся финансовые результаты деятельности компании, а сами расходы корректируются с учетом уровня инфляции и являются экономически оправданными. Недостатком с точки зрения методологии бухгалтерского учета, по нашему мнению, является то, что первоначальная стоимость объектов основных средств не пересматривается, а экологические расходы списываются за счет финансового результата деятельности компаний на прямую без учета экономической выгоды приносимой объектом основных средств, что нарушает в том числе критериальные признаки отнесения объектов к основным средствам установленные действующими стандартами бухгалтерского учета. В связи с этим требуется проведения тщательного исследования каждой из концепций отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в системах бухгалтерского учета с целью формирования эффективной модели «зеленой экономики».

В-четвертых, сегодня в международных стандартах учета и финансовой отчетности нет персонального стандарт, посвященного учету расходов и доходов в сфере экологической деятельности и экологической безопасности, что безусловно свидетельствует о недостаточности внимания к вопросам организации учета и контроля в данной сфере на международном уровне и формированию научно-обоснованных концепций покрытия финансирования данных затрат характерных для новых типов экономических систем – «зеленой экономике».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В научной статье с позиции методологии бухгалтерского учета рассмотрены особенности функционирования трех основных концепций отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды. В частности, в рамках отечественной школы бухгалтерского учета изучена классическая концепция расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды с учетом требований Российских правил и требований бухгалтерского учета. С учетом зарубежной практики бухгалтерского учета раскрыты

особенности применения двух концепций: концепции отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в первоначальной стоимости основных средств с учетом дисконтирования расходов; и концепция отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды через затратный подход с учетом дисконтирования расходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисенко Г.В., Худяева Т.В. Учет экологических вопросов в финансовой отчетности // Учет, анализ и аудит: проблемы теории и практики. 2013. N 11. С. 22-28.
2. Губайдуллина И.Н., Ишмеева А.С. Экологический учет как фактор экономической безопасности хозяйствующего субъекта // Современные проблемы науки и образования. 2015. N 1-1. С. 657-657.
3. Moorthy K., Yacob P. Green Accounting: Cost Measures // Open Journal of Accounting. 2013. V. 2. N 1. P. 4-7. DOI: 10.4236/ojacct.2013.21002
4. Slabinskaya I.A., Tkachenko J.A., Benderskaya O.B., Slabinskiy D.V. Internal controls organization: a methodology approach // World Applied Sciences Journal. 2014. V. 30. N 10. P. 1205-1207. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.30.10.14110
5. Зильберштейн О.Б., Невструев К.В., Шкляр Т.Л., Юрковский А.В. Особенности использования инструментов контроллинга при реализации социальных проектов бизнеса: российская практика // Экономика и предпринимательство. 2016. N 4-2. С. 1163-1171.
6. Сапожникова Н. Г., Бурхан Э., Кхухур М. Информация об экологической деятельности в корпоративном учете и отчетности // Международный бухгалтерский учет. 2014. N 15(309). С. 22-29.
7. Иванова М. Д. Классификация природоохранных затрат в системе бухгалтерского учета // Международный бухгалтерский учет. 2017. Т. 20. N 12(426). С. 721-732. DOI:10.24891/ia.20.12.721
8. Ерохина В.Н., Лесина Т.В. Экологические затраты. Актуальные вопросы учета и анализа // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. N 4(29). С. 15. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/87EVN415.pdf> (дата обращения: 18.01.2022) DOI: 10.15862/87EVN415
9. Alekseeva I.V., Evstafieva E.M., Mosentseva V.A., Charaeva M.V. Trajectories of the internal control system in the management of agricultural organizations // International Journal of Economics and Business Administration. 2019. V. 7. Special issue 1. P. 521-534. DOI: 10.35808/ijeba/298
10. 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 // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 4. С. 137-144. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-137-144
11. Гоголева Т.Н. Экологический учет в системе видов учета // Международный бухгалтерский учет. 2016. N 12(402). С. 52-66.
12. Сафронова М.И. Нормативное регулирование бухгалтерского учета объектов основных средств в коммерческих организациях // Colloquium-journal. 2019. N 5-5(29). С. 51-59.
13. Lutz C., Zieschank R. and Drosdowski T. Measuring Germany's Transition to a Green Economy // Low Carbon Economy. 2017. V. 8. P. 1-19. DOI: 10.4236/lce.2017.81001

14. Алексеева Г.И. Учет основных средств в условиях стандартизации российского бухгалтерского учета // Международный бухгалтерский учет. 2019. Т. 22. N 6(456). С. 618-635. DOI: 10.24891/ia.22.6.618
15. Федорова О.С., Харалгина О.Л. Учетная политика предприятия для целей бухгалтерского учета // Налоги и финансовое право. 2018. N 3. С. 8-191.

REFERENCES

1. Denisenko G.V., Khudyaeva T.V. Accounting of environmental issues in financial statements. Uchet, analiz i audit: problemy teorii i praktiki [Accounting, analysis and audit: problems of theory and practice]. 2013, no. 11, pp. 22-28. (In Russian)
2. Gubaidullina I.N., Ishmeeva A.S. Environmental accounting as a factor of economic security of an economic entity. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2015, no. 1-1, pp. 657-657. (In Russian)
3. Moorthy K., Yacob P. "Green Accounting: Cost Measures". *Open Journal of Accounting*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 4-7. DOI: 10.4236/ojacct.2013.21002
4. Slabinskaya I.A., Tkachenko J.A., Benderskaya O.B., Slabinskiy D.V. Internal controls organization: a methodology approach. *World Applied Sciences Journal*, 2014, vol. 30, no. 10, pp. 1205-1207. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.30.10.14110
5. Zil'bershtein O.B., Nevstruev K.V., Shklyar T.L., Yurkovskii A.V. Features of using controlling tools in the implementation of social business projects: Russian practice. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship]. 2016, no. 4-2, pp. 1163-1171. (In Russian)
6. Sapozhnikova N.G., Burkhan E., Kkhudkhur M. Information about environmental activities in corporate accounting and reporting. *Mezhdunarodnyi bukhgalterskii uchet* [International accounting]. 2014, no. 15(309), pp. 22-29. (In Russian)
7. Ivanova M.D. Classification of environmental costs in the accounting system. *International accounting*, 2017, vol. 20,

no. 12(426), pp. 721-732. (In Russian) DOI:

10.24891/ia.20.12.721

8. Erokhina V.N., Lesina T.V. Environmental costs. Current issues of accounting and analysis. *Internet-zhurnal Naukovedenie* [Online Journal of Science Studies]. 2015, vol. 7, no. 4(29), pp. 15. (In Russian) Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/87EVN415.pdf> (accessed 18.01.2022) DOI: 10.15862/87EVN415
9. Alekseeva I.V., Evstafieva E.M., Mosentseva V.A., Charaeva M.V. Trajectories of the internal control system in the management of agricultural organizations. *International Journal of Economics and Business Administration*, 2019, vol. 7, special issue 1, pp. 521-534. (In Russian) DOI: 10.35808/ijeba/298
10. Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Akhmedova Kh.G., Gadzhidadaev M.Z., Gadzhieva U.A. Theoretical aspects of the effectiveness of the application of economic damage assessment in the field of environmental audit: 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
11. Gogoleva T.N. Environmental accounting in the system of types of accounting.-*Mezhdunarodnyi bukhgalterskii uchet* [International accounting]. 2016, no. 12(402), pp. 52-66. (In Russian)
12. Safronova M.I. Regulatory regulation of accounting of fixed assets in commercial organizations. *Colloquium-journal*, 2019, no. 5-5(29), pp. 51-59. (In Russian)
13. Lutz C., Zieschank R., Drosowski T. Measuring Germany's Transition to a Green Economy. *Low Carbon Economy*, 2017, vol. 8, pp. 1-19. DOI: 10.4236/lce.2017.81001
14. Alekseeva G.I. Accounting of fixed assets in the conditions of standardization of Russian accounting. *International accounting*, 2019, vol. 22, no. 6(456), pp. 618-635. (In Russian) DOI: 10.24891/ia.22.6.618
15. Fedorova O.S., Kharalgina O.L. Accounting policy of the company for accounting purposes. *Nalogi i finansovoe pravo* [Taxes and financial law]. 2018, no. 3, pp. 8-191. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Назирхан Г. Гаджиев рассмотрел действующие нормативное правовое регулирование бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды. Рассмотрел классическую концепцию расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды с учетом требований Российских правил и требований бухгалтерского учета. Сергей А. Коноваленко рассмотрел концепцию отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды в первоначальной стоимости основных средств с учетом дисконтирования расходов. Сформулировал выводы и предложения по результатам исследования. Михаил Н. Трофимов рассмотрел концепцию отражения расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды через затратный подход с учетом дисконтирования расходов. Рабадан М. Рабаданов рассмотрел действующую классификацию и группировку затрат, расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды. Раскрыл особенности раскрытия информации о расходах на восстановление окружающей среды в системе бухгалтерского учета и финансовой отчетности. Все

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nazirkhan G. Gadzhiev reviewed the current regulatory legal regulation of accounting for expenditures on environmental safety and environmental restoration and considered the classical concept of expenses for environmental safety and environmental restoration, taking into account the requirements of Russian regulations and accounting requirements. Sergey A. Konovalenko considered the concept of reflecting the costs of environmental safety and environmental restoration in the original cost of fixed assets, taking into account the discounting of costs and formulated conclusions and suggestions based on the results of the study. Mikhail N. Trofimov considered the concept of reflecting the costs of environmental safety and environmental restoration through a cost-based approach, taking into account the discounting of costs. Rabadan M. Rabadanov reviewed the current classification and grouping of costs, costs for environmental safety and environmental restoration and disclosed the specifics of disclosure of information on environmental restoration costs in the accounting and financial reporting system. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are

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

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

Назирхан Г. Гаджиев / Nazirkhan G. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-6321-3543>

Сергей А. Коноваленко / Sergey A. Konovalenko <https://orcid.org/0000-0001-9696-942X>

Михаил Н. Трофимов / Mikhail N. Trofimov <https://orcid.org/0000-0002-7194-0468>

Рабадан М. Рабаданов / Rabadan M. Rabadanov <https://orcid.org/0000-0003-4230-1752>

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»

можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

**По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала
по контактам:**

Гусейнова Надира Орджоникидзена, к.б.н., доцент, Email dagecolog@mail.ru
моб. тел. +79285375323

Иванушенко Юлия Юрьевна, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

Адрес редакции: 367001, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, тел./факс: +7(8722) 56-21-40

Учредитель (соучредители) журнала:

ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate
Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Yuliya Yu. Ivanushenko, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
tel. / fax: +7 (8722) 56-21-40

Founders of journal:

The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Издание зарегистрировано Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.

Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.

Подписано в печать 31.03.2022
Объем 21,75. Тираж 100. Заказ № 50.
Формат 70х90%. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е