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 16 № 1 2021

ISSN 1992-1098
e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ:
ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.16 no. 1 2021

SOUTH OF RUSSIA:
ECOLOGY, DEVELOPMENT

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
Шестопалов Александр Михайлович, 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 Нухкади Ибрагимович, Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Махачкала, Россия)

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

Ответственные секретари
Гасангаджиева Азиза Гусейновна, кафедра биологии и биоразнообразия, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)
Гусейнова Надира Орджоникидзевна, 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

© ООО Издательский дом «Камертон», 2021
© Оформление: Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, 2021
Периодичность издания четыре раза в год. Выходит с 2006 года

© Limited Liability Company Publishing House «Kamerton», 2021
© Design: Institute of Ecology and Sustainable Development, DSU, 2021
Published four times annually since 2006

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

Сопредседатели
Гутенев В.В., Российская академия государственной службы при Президенте РФ (Москва, Россия)
Залиханов М.Ч., Высокогорный геофизический институт (Нальчик, Россия)
Магомедов М.Д., лаборатория животных, Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Махачкала, Россия)
Матишов Г.Г., Южный научный центр Российской академии наук (Ростов-на-Дону, Россия)

Члены редакционного совета
Алекперов И.Х., Институт Зоологии Национальная академия наук Республики Азербайджан (Баку, Азербайджан)
Алексеев А.Ю., лаборатория разработки и испытаний фармакологических средств, Федеральный исследовательский центр Фундаментальной и трансляционной медицины (Новосибирск, Россия)
Асхабов А.М., Коми научный центр Российской академии наук (Сыктывкар, Россия)
Зайцев В.Ф., Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)
Замотайлов А.С., кафедра фитопатологии, энтомологии и защиты растений, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)
Канбетов А.Ш., Каспийский исследовательский институт НАО «Атырауский университет нефти и газа» (Атырау, Казахстан)
Касимов Н.С., Географический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
Клюшин П.В., Государственный университет по землеустройству (Москва, Россия)
Крооненберг С.Б., Дельфтский технологический университет (Дельфт, Нидерланды)
Миноранский В.А., кафедра зоологии, Южный Федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)
Онипченко В.Г., кафедра геоботаники, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
Рабаданов М.Х., Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)
Салманов М.А., Институт Микробиологии Национальная академия наук Республики Азербайджан (Баку, Азербайджан)
Трифонова Т.А., кафедра экологии, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)
Фолк Хатманн, Университет Аляски в Фербенксе (Аляска, США)

Шхагапсоев С.Х., кафедра ботаники, Кабардино-Балкарский государственный университет (Нальчик, Россия)
Яковенко Н.В., кафедра социально-экономической географии и регионоведения, Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия)

EDITORIAL COUNCIL

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

Co-Chairs
Vladimir V. Gutenev, Russian Academy of State Service under the President of the Russian Federation (Moscow, Russia)
Mikhail Ch. Zalikhanov, High Mountain Geophysical Institute (Nalchik, Russia)
Magomedrasul D. Magomedov, Animals Laboratory, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)
Gennady G. Matishov, Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, Russia)

Editorial Council Members
Ilham Kh. Alakbarov, Institute of Zoology, National Academy of Sciences, Republic of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan)
Alexander Yu. Alekseev, Laboratory for Development and Testing of Pharmacological Agents, Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine (Novosibirsk, Russia)
Askhab M. Askhabov, Komi Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russia)
Vyacheslav F. Zaitsev, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)
Aleksandr S. Zamotailov, Department of Phytopathology, Entomology and Plant Protection, Kuban State Agrarian University (Astrakhan, Russia)
Assylbek Sh. Kanbetov, Caspian Research Institute, Atyrau University of Oil and Gas (Atyrau, Kazakhstan)
Nikolay S. Kasimov, Faculty of Geography, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Pavel V. Klyushin, State University of Land Use Planning (Moscow, Russia)
Salomon B. Kroonenberg, Delft University of Technology (Delft, Netherlands)
Victor A. Minoranskii, Department of Zoology, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)
Vladimir G. Onipchenko, Department of Geobotany, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
Murtazali Kh. Rabadanov, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)
Mamed A. Salmanov, Institute of Microbiology, National Academy of Sciences, Republic of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan)
Tatyana A. Trifonova, Department of Ecology, Vladimir State University (Vladimir, Russia)

Falk Huettmann, Institute of Arctic Biology, University of Alaska Fairbanks (Alaska, USA)
Safarbi Kh. Shkhagapsoev, Department of Botany, Kabardino-Balkaria State University (Nalchik, Russia)
Nataliya V. Yakovenko, Department of Social and Economic Geography and Regional Studies, Voronezh State University (Voronezh, Russia)

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Клименко Н.И., Потапенко И.Л., Клименко О.Е.
Летнецветущие деревья и кустарники в озеленении Юго-восточного берега Крыма.....6-16
Габибуллаева Л.А.
Продолжительность фаз развития и вегетационного периода *Nigella sativa* L.
вдоль высотного градиента (на примере Дагестана).....17-25
Савченко О.М., Бабаева Е.Ю.
Изучение фенологии и семенной продуктивности растений родиолы розовой
в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ.....26-35
Кравченко И.В., Моисеева Е.А., Устинова М.В., Шепелева Л.Ф.
Динамика накопления аскорбиновой кислоты в надземной фитомассе *Galega orientalis* Lam. 36-44

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Ли С., Дубовицкий Н.А., Дёрко А.А., Глущенко А.В., Соболев И.А., Друзяка А.В.,
Меджидова М.М., Мусинова Э.М., Шаршов К.А., Шестопалов А.М.
Биологические свойства вируса гриппа H6N8-субтипа, выделенного от диких птиц
на юге Западной Сибири.....45-52
Домрачева Л.И., Скугорева С.Г., Фокина А.И., Загоскин М.А., Ашихмина Т.Я.
Участие цианобактерий в снижении концентрации фузариотоксинов и ионов
тяжелых металлов в водных растворах.....53-60

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Колесников С.И., Цепина Н.И., Минникова Т.В., Судьина Л.В., Казеев К.Ш.
Биодиагностика устойчивости почв юга России к загрязнению серебром.....61-75
Мячина К.В., Краснов Е.В.
Пути оптимизации степных ландшафтов в условиях добычи нефти и газа.....76-86
Яковенко Н.В., Тен Р.В., Комов И.В., Диденко О.В.
Устойчивость социально-экономического развития муниципальных
образований Воронежской области.....87-97
Гаджиев Н.Г., Мурзак Н.А., Митенкова А.Е., Скрипкина О.В.,
Коноваленко С.А., Гаджиева У.А., Исмаилова О.С.
Оценка перспектив устойчивого развития в условиях пандемии.....98-109
Ахмедова Л.Ш.
Мощность солнечной радиации и ее распределение в высотно-широтных
интервалах территории Дагестана.....110-116

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Волков С.Н., Савинова С.В., Черкашина Е.В., Шаповалов Д.А., Братков В.В., Клюшин П.В.
Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья
для целей прогнозирования урожайности озимой пшеницы.....117-127
Хамируев Т.Н., Базарон Б.З., Волков И.В., Дашинимаев С.М., Черных В.Г.
Двигательная активность овец на пастбище в условиях Восточной Сибири.....128-137

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Kenzhegaliev A., Kanbetov A.Sh., Abilgazieva A.A., Sakhmanova A.K., Kulbatyrov D.K.
The state of hydrobionts in the Tyub-Karagan Bay structure, Kazakhstan.....138-150
Сигачева Т.Б., Чеснокова И.И., Гостюхина О.Л., Холодкевич С.В., Кузнецова Т.В.,
Андреенко Т.И., Ковригина Н.П., Гаврюсева Т.В., Кирин М.П., Куракин А.С.
Оценка рекреационного потенциала некоторых бухт города Севастополя
с использованием методов биоиндикации.....151-167

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....168

ECOLOGY OF PLANTS

Klimenko N.I., Potapenko I.L., Klimenko O.E.
Summer-flowering trees and shrubs in landscaping for the south-eastern coast of the Crimea.....6-16
Gabibullaeva L.A.
The length of the development phases and the growing season of *Nigella sativa* L.
along altitude gradients (the example of Dagestan).....17-25
Savchenko O.M., Babaeva E.Yu.
Study of the phenology and seed productivity of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop.) in the Central region
of the Non-chernozem zone of the Russian Federation.....26-35
Kravchenko I.V., Moiseeva E.A., Ustinova M.V., Shepeleva L.F.
Dynamics of ascorbic acid accumulation in the aboveground phytomass of *Galega orientalis* Lam. 36-44

ECOLOGY OF MICROORGANIZMS

Li X., Dubovitskiy N.A., Derko A.A., Glushchenko A.V., Sobolev I.A., Druzyaka A.V.,
Medzhidova M.M., Musinova E.M., Sharshov K.A., Shestopalov A.M.
Biological characteristics of influenza virus subtype H6N8 isolated from wild birds
in the south of Western Siberia.....45-52
Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Fokina A.I., Zagoskin M.A., Ashikhmina T.Ya.
The participation of cyanobacteria in reducing the concentration of fusariotoxins and
heavy metal ions in aqueous solutions (model experiments).....53-60

GEOECOLOGY

Kolesnikov S.I., Tsepina N.I., Minnikova T.V., Sudina L.V., Kazeev K.Sh.
Biodiagnostics of stability of soils of southern Russia to silver pollution.....61-75
Myachina K.V., Krasnov E.V.
Ways to optimize steppe under of oil and gas production.....76-86
Yakovenko N.V., Ten R.V., Komov I.V., Didenko O.V.
Sustainability of social and economic development of municipalities in the Voronezh Region, Russia.....87-97
Gadzhiev N.G., Murzak N.A., Mitenkova A.E., Skripkina O.V.,
Konovalenko S.A., Gadzhieva U.A., Ismailova O.S.
Assessing the prospects for sustainable development in the context of a pandemic.....98-109
Akhmedova L.Sh.
Solar radiation power and its distribution in altitude-latitude intervals of the territory of Dagestan, Russia.....110-116

AGRICULTURAL ECOLOGY

Volkov S.N., Savinova S.V., Cherkashina E.V., Shapovalov D.A., Bratkov V.V., Klyushin P.V.
Assessment of current climate conditions changes in the territory of Ciscaucasia
for the purposes of forecasting winter wheat yield.....117-127
Khamiruev T.N., Bazaron B.Z., Volkov I.V., Dashinimaev S.M., Chernykh V.G.
Motor activity of sheep on pasture in the conditions of Eastern Siberia, Russia.....128-137

GENERAL PROBLEMS

Kenzhegaliev A., Kanbetov A.Sh., Abilgazieva A.A., Sakhmanova A.K., Kulbatyrov D.K.
The state of hydrobionts in the Tyub-Karagan Bay structure, Kazakhstan.....138-150
Sigacheva T.B., Chesnokova I.I., Gostyukhina O.L., Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V.,
Andreenko T.I., Kovrigina N.P., Gavruseva T.V., Kirin M.P., Kurakin A.S.
Assessment of recreational potential of Sevastopol bays using bioindication methods.....151-167

CONTACT INFORMATION.....168

Оригинальная статья / Original article
УДК 635.925:477.75
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-6-16

Летнецветущие деревья и кустарники в озеленении Юго-восточного берега Крыма

Николай И. Клименко[1], Ирина Л. Потапенко[2], Ольга Е. Клименко[1]
[1]Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, Россия
[2]Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южный морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия, пгт. Курортное, Россия

Контактное лицо
Николай И. Клименко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, лаборатория дендрологии, парковедения и ландшафтной архитектуры, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН; 296648 Россия, г. Ялта, пгт Никта, спуск Никитский, 52.
Тел. +79787585198
Email klimenko.gnbs@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0305-8924

Формат цитирования
Клименко Н.И., Потапенко И.Л., Клименко О.Е. Летнецветущие деревья и кустарники в озеленении Юго-восточного берега Крыма // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 6-16. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-6-16

Получена 22 июля 2020 г.
Прошла рецензирование 11 октября 2020 г.
Принята 5 ноября 2020 г.

Резюме

Цель. Изучить видовой состав, формовое разнообразие, биоэкологические особенности летнецветущих деревьев и кустарников в зеленых насаждениях Юго-восточного берега Крыма (ЮВБК) и предложить пути расширения ассортимента.

Материал и методы. Обследованы зеленые насаждения в городах Феодосия, Судак и населенных пунктах: Семидворье, Солнечногорское, Малореченское, Рыбачье, Морское, Новый Свет, Солнечная Долина, Щебетовка, Курортное, Коктебель и Приморский. Биоэкологические и фенологические исследования декоративных деревьев и кустарников проведены по общепринятым методикам.

Результаты. Выявлен видовой состав и формовое разнообразие летнецветущих деревьев и кустарников в зеленых насаждениях ЮВБК. Установлено, что летнецветущие растения составляют почти половину видового состава (48,6%), используемого в озеленении. Однако широко по территории региона распространены только 23 вида, такие как: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Albizia julibrissin* Durazz., *Buddleja davidii* Franch., *Campsis radicans* (L.) Seem., *Elaeagnus angustifolia* L., *Hibiscus syriacus* L. и др. Наибольшее количество видов и форм древесных растений цветет в начале лета, со второй декады июня их количество значительно уменьшается.

Заключение. Предложен ассортимент для увеличения числа красивоцветущих деревьев и кустарников на протяжении лета, учитывающий, как декоративные качества рекомендуемых растений, так и их экологические требования, особенно засухоустойчивость и морозостойкость. Большой интерес представляют виды, цветущие с июня и далее: *Albizia julibrissin*, *Buddleja davidi* и ее формы, *Hydrangea arborescens* L., *Campsis radicans*, *Kerria japonica* f. *plena* C.K. Schneid, *Robinia viscosa* Vent., *Vitex angus-castus* L.

Ключевые слова
Декоративные древесные растения, состав дендрофлоры, летний период цветения, Юго-восточный берег Крыма.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Summer-flowering trees and shrubs in landscaping for the south-eastern coast of the Crimea

Nikolai I. Klimenko[1], Irina L. Potapenko[2] and Olga E. Klimenko[1]
[1]Nikitsky Botanical Gardens, National Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia
[2]T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station, Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences,
Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Kurortnoje, Feodosia, Russia

Principal contact
Nikolai I. Klimenko, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Dendrology, Park Management and Landscape Architecture, Nikitsky Botanical Garden, National Science Centre, Russian Academy of Sciences; 52 Nikitskydescent, Yalta, Russia 296648.
Tel. +79787585198
Email klimenko.gnbs@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0305-8924

How to cite this article
Klimenko N.I., Potapenko I.L., Klimenko O.E. Summer-flowering trees and shrubs in landscaping for the south-eastern coast of the Crimea. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 6-16. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-6-16

Received 22 July 2020
Revised 11 October 2020
Accepted 5 November 2020

Abstract
Aim. To study the species composition, form diversity, bioecological features of summer- flowering trees and shrubs in green spaces of the south-eastern coast of the Crimea and suggest ways to expand the range.
Materials and Methods. The green spaces of Feodosia, Sudak and the localities of Semidvorye, Solnechnogorskoye, Malorechenskoye, Rybachye, Morskoye, Novy Svet, Solnechnaya Dolina, Shchebetovka, Kurortnoye, Koktebel and Primorskiy were investigated. Bioecological and phenological studies of ornamental trees and shrubs were undertaken according to generally accepted methods.
Results. The species composition and shape diversity of summer-flowering trees and shrubs in green plantings of Crimea's south-eastern coast were identified. It was found that summer- flowering plants make up almost half of the species composition (48.6%) used in landscaping. However, only 23 species are widespread throughout the region, such as *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Albizia julibrissin* Durazz., *Buddleja davidii* Franch., *Campsis radicans* (L.) Seem., *Elaeagnus angustifolia* L. etc. The greatest number of species and forms of arboreal plants bloom in early summer, their number decreasing significantly from the second decade of June.
Conclusion. An assortment is proposed for increasing the number of trees and shrubs which flower during the summer, taking into account both their decorative visual appeal and their environmental requirements, especially drought and frost resistance. Of great interest are species that bloom from June onwards, especially those which are highly decorative and have a long flowering period, such as *Albizia julibrissin*, *Buddleja davidi* and forms, *Hydrangea arborescens* L., *Campsis radicans, Kerria japonica* f. *plena* C.K. Schneid, *Robinia viscosa* Vent., *Vitex angus-castus* L.

Key Words
Decorative arboreal plants, dendroflora composition, summer-flowering period, the south-eastern coast of the Crimea.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Район Юго-восточного берега Крыма (ЮВБК) занимает прибрежную полосу (шириной от 2 до 10 км) южного склона Главной гряды Крымских гор к востоку от города Алушта (село Семидворье) до поселка Приморский (Феодосийский городской округ). Климат характеризуется как южнобережный субсредиземноморский слабоконтинентальный, с жарким сухим летом и относительно теплой, влажной зимой. Средняя годовая температура воздуха 11,7–12,3°С. Количество атмосферных осадков невелико как зимой, так и летом и составляет в среднем 300–400 мм/год. В климатическом отношении район неоднороден. С продвижением на восток (особенно за городом Судак) усиливается континентальность климата, вследствие уменьшения высоты гор и ослабления средиземноморского влияния. Абсолютные минимумы температур достигают здесь –20, –24°С, что связано с прорывами холодных воздушных масс через горные коридоры или поступлением их с востока в обход невысоких гор. Наиболее распространены в исследуемом регионе коричневые маломощные сильноскелетные и малогумусные почвы. В восточной части ЮВБК коричневые почвы сменяются серо-коричневыми, а в районе Феодосии постепенно переходят в черноземы южные. С запада на восток идет угасание средиземноморских элементов и нарастание степных и восточных, более ксерофитных элементов флор. В современном трансформированном человеком ландшафте большую роль здесь играют многочисленные парки [1-3].

В настоящее время территория ЮВБК находится в зоне интенсивного рекреационного освоения, поскольку обладает высококачественными рекреационными ресурсами – климатическими, бальнеологическими, пляжными, пейзажными, природно- и культурно-познавательными. Регион перспективен для развития санаторно-курортных комплексов и возделывания ряда теплолюбивых культур. Населенные пункты в таких регионах должны также соответствовать своему функциональному назначению, быть максимально комфортными для отдыха и проживания.

Одной из важнейших экологических и эстетических составляющих курортных территорий являются качественные зеленые насаждения, выполняющие экологические, санитарно-гигиенические, эстетические функции. Большое значение для ландшафтной композиции имеет наличие в ней красивоцветущих растений, как элемента исключительного красочного эффекта. Пик туристического потока в регион приходится на летние месяцы, именно летом зеленые насаждения должны быть максимально привлекательны [4; 5]. В связи с этим разработка ассортимента летнецветущих растений является актуальной для Крыма и южных регионов России.

Цель исследования – изучить видовой состав, формовое разнообразие, биоэкологические особенности летнецветущих деревьев и кустарников в зеленых насаждениях Юго-восточного берега Крыма и предложить пути расширения ассортимента.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования зеленых насаждений региона проводились на территории городов Феодосия и Судак, а также населенных пунктов Семидворье, Солнечногорское, Малореченское, Рыбачье, Морское, Новый Свет, Солнечная Долина, Щебетовка, Курортное, Коктебель, Приморский [6-8]. Обследованы насаждения улиц, городских и сельских парков, скверов, зеленые насаждения на территории школ, детских и медицинских учреждений, промышленных предприятий, а также парки и зеленые зоны рекреационных комплексов. Видовая принадлежность и таксономическая структура дендрофлоры принята по международному электронному ресурсу The Plant List [9], а аборигенных видов – по А.В. Ене [10]. Фенологические наблюдения за декоративными деревьями и кустарниками проводились на территории дендропарка Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (КНС – ПЗ РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ) по методике, предложенной И.В. Голубевой, Р.В. Галушко и А.М. Кормилицыным [11].

Деление года на климатические сезоны проведено по В.А. Бокову, Ю.И. Будашкину и Н.С. Костенко [12]: зима – январь–февраль; весна – от начала марта до 12 мая; лето – от 12 мая до 8 октября; осень – с 8 октября до конца декабря.

Обильность цветения оценивалась по 5-балльной шкале, предложенной А.Т. Гревцовой [13]: 5 баллов – очень обильное (цветки или соцветия явно преобладают над фоном зеленых листьев); 4 – обильное (цветки или соцветия образуют фон, равный фону листьев); 3 – среднее (резко преобладает фон листьев, но цветков или соцветий большое количество); 2 – слабое (цветки или соцветия рассеяны на зеленом фоне кроны в небольшом количестве); 1 – очень слабое (цветки или соцветия на одиночных побегах).

Классификация по размерам цветков и соцветий приведена по А.З. Глухову, О.А. Гридько и Л.В. Хархоте [14]: 1 группа – с весьма крупными цветками (более 10 см); 2 группа – с крупными цветками (5–10 см); 3 группа – с небольшими цветками (2–5 см); 4 группа – с мелкими цветками (до 2 см); 5 группа – с весьма крупными соцветиями (более 20 см); 6 группа – с крупными соцветиями (10–20 см); 7 группа – с мелкими соцветиями (до 10 см).

Общая декоративность цветения оценивалась по разработанной нами шкале: I – цветки (соцветия) мелкие, цвет неяркий (белый, желтоватый), цветение необильное или слабое; II – цветки (соцветия) мелкие или небольшие, чаще ароматные, цвет неяркий, но цветение обильное или очень обильное; III – цветки (соцветия) яркой окраски или оригинальной формы, крупные, цветение среднее или обильное; IV – цветки

(соцветия) отличаются какими-либо выдающимися признаками (крупными размерами, яркой окраской, исключительно оригинальной формой и т.п.). Сила (интенсивность) запаха цветков: «+» – душистые, «++» – очень душистые, «–» – без запаха.

Засухоустойчивость оценивалась визуально по 5-балльной шкале [15]: 0 – растение не повреждается; 1 – повреждается слабо (листья засыхают или теряют тургор, восстанавливающийся после полива); 2 – повреждается сильно (многие листья засыхают (до 10%) и преждевременно опадают, усыхают концы однолетних побегов, растение теряет декоративный вид); 3 – повреждается очень сильно (все листья засыхают и опадают до наступления нормального листопада), имеются засохшие побеги; 4 – надземная часть растения усыхает полностью или частично в течение одного или двух сезонов.

Зимостойкость оценивалась по шкале С.Я. Соколова с некоторыми модификациями Г.В. Куликова [16]: 0 – растения очень зимостойкие, зимуют без видимых повреждений в самые холодные зимы; 1-3 – растения с пониженной зимостойкостью: 1 – подмерзают почки и листья; частично годичные побеги; 2 – полностью вымерзают годичные, частично повреждаются побеги двухгодичные; 3 – полностью вымерзают двухгодичные побеги; 4-5 – малозимостойкие растения: 4 – отмерзает большая часть ветвей и частично повреждается ствол; 5 – отмерзание до корневой шейки с последующим возобновлением порослью; 6 – растения совершенно не зимостойкие (отмерзают с корнем). При подборе ассортимента также учитывались рекомендации других авторов [17; 18].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зеленые насаждения ЮВБК разнообразны по видовому и формовому составу. Здесь нами отмечено 360 видов и форм деревьев и кустарников, включая те, которые встречаются редко или представлены единичными экземплярами. В результате оценки их декоративных качеств установлено, что почти половина из них (175, или 48,6%) являются красивоцветущими. Летом цветет наибольшее количество деревьев и кустарников – 128 видов и форм, но только 23 из них повсеместно используются в озеленении: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Albizia julibrissin* Durazz., *Buddleja davidii* Franch., *Campsis radicans* (L.) Seem., *Cotinus coggygria* Scop. *Elaeagnus angustifolia* L., *Hibiscus syriacus* L., *Prunus laurocerasus* L., *Philadelphus coronarius* L., *Pyracantha coccinea* Roem., *Robinia pseudoacacia* L., *Spiraea* × *vanhouttei* (Briot) Zabel, *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott, *Spartium junceum* L. и др. Они составляют летний аспект цветения и широко распространены по всей территории региона: используются в городских (сельских) зеленых насаждениях общего (парки, скверы, бульвары, обсадки улиц) и ограниченного (детские учреждения, объекты здравоохранения, промышленные предприятия и т.п.) пользования (рис. 1). Другие 105 видов и форм встречаются редко, в основном, в парках и зеленых зонах рекреационных комплексов, например: *Buddleja albiflora* Hemsl., *Hypericum calycinum* L., *Pittosporum heterophyllum* Franch., *P. tobira* (Thunb.) W.T. Aiton, *Rosa banksiae* R.Br., *R. foetida* Herrm., *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.f., *Yucca aloifolia* L., различные виды родов *Berberis*, *Cotoneaster*, *Crataegus*, *Lonicera*.

Как показали исследования, наибольшее количество видов и форм древесных растений цветет во 2–3-й декадах мая – первой декаде июня (рис. 2). В эти сроки заканчивают свое цветение многие деревья и кустарники: *Aesculus hippocastanum* L., *Chaenomeles speciosa* (Sweet) Nakai, *Ch. japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach, *Cercis siliquastrum* L., *Cydonia oblonga* Mill., *Exochorda racemosa* (Lindl.) Rehder, *Lonicera tatarica* L., *Rhodotypus kerrioides* Sieb. et Zucc., *Syringa* × *chinensis* Willd., *S. vulgaris* L., *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl., *Wisteria sinensis* (Sims) Sweet.

Окраска цветков в этот период разнообразная, наблюдается великолепие цветов и оттенков. Это разнообразие и обилие материала позволяет расширить сферу действия ландшафтных архитекторов и садоводов-декораторов. Цветовая гамма первой половины лета разнообразна, и задача ландшафтных архитекторов и озеленителей состоит не столько в добавлении красивоцветущих видов, сколько в их правильном подборе и расположении. Особой привлекательностью обладают растения, относящиеся к III и IV группам декоративности с яркими (иногда махровыми) цветками и обильным цветением: *Aesculus carnea* Hayne, *Cercis siliquastrum*, *Chaenomeles japonica, C. speciosa, Crataegus monogyna* `Rosea-plena`, *Deutzia* × *hybrida* `Strawberry fields`, *D. scabra* `Plena`, *D. s.* `Candidissima`, *Laburnum anagyroides* Medik., *Weigela* × *hybryda* `Brystol Ruby`, *W. florida* (Bunge) A.DC., *Wisteria sinensis*. Но более всего привлекают внимание цветущие растения *Magnolia grandiflora* L.

Вторая половина лета характеризуется высокими дневными температурами, засухой. Со второй декады июня количество красивоцветущих деревьев и кустарников значительно уменьшается. На первый план выступают деревья и кустарники, имеющие яркие привлекательные плоды и декоративную листву. Всё же цветущие растения неизменно привлекают внимание. При этом большое значение имеют размер, окраска и запах цветков (соцветий), а также длительность и обильность цветения. Яркие душистые особенно крупные цветки создают позитивное настроение, вызывают положительные эмоции. Поэтому особый интерес представляют деревья и кустарники, цветущие со второй декады июня. Приводим характеристику некоторых из них, которые широко используются в озеленении региона (табл. 1).

Рисунок 1. Дендропарк Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского, цветущее растение *Albizia julibrissin.* Оригинальное фото
Figure 1. Arboretum of Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky, flowering tree *Albizia julibrissin.* Original photo

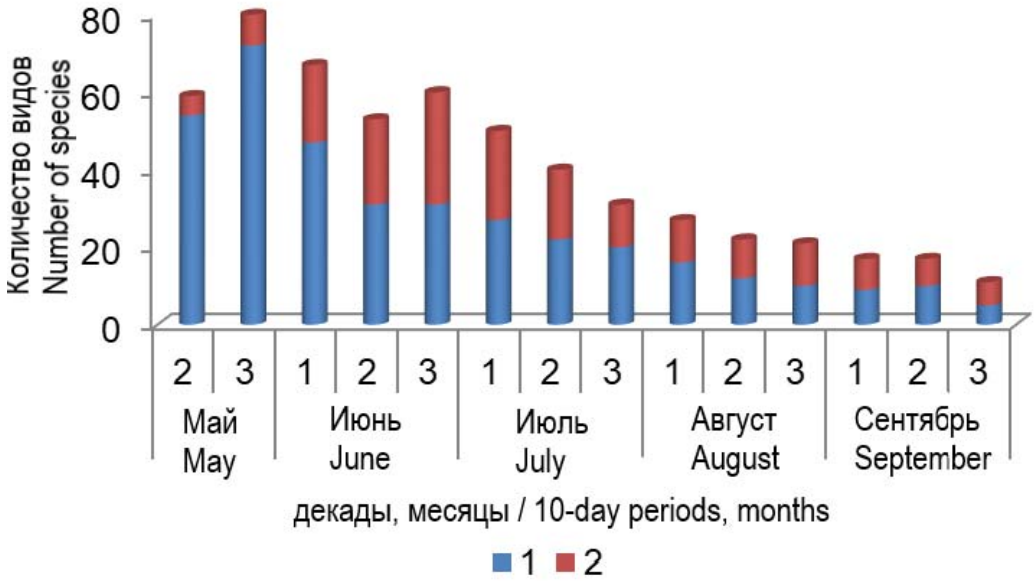


Рисунок 2. Распределение летнецветущих древесных растений: 1– основного и 2 – рекомендуемого ассортиментов в зеленых насаждениях Юго-восточного берега Крыма по срокам цветения (декадам)
Figure 2. Distribution of flowering arboreal plants in green spaces of the south-east coast of Crimea according to flowering periods (10-day periods): 1 – basic assortment; 2 – recommended assortment

Таким образом, ассортимент растений, цветущих во второй половине лета и широко распространенных в зеленых насаждениях исследуемого региона, небольшой. В основном это зимостойкие и засухоустойчивые растения, исключение составляют малозимостойкий *Nerium oleander* L. и с пониженной зимостойкостью *Albizia julibrissin, Campsis radicans, Buddleja davidii* и ее формы, а также слабо повреждающиеся засухой *Catalpa speciosa*, *Hibiscus syriacus*, *Buddleja davidii* и ее формы (табл. 1). На видовом составе используемых в озеленении древесных растений, в том числе красивоцветущих, отражается также климатическая неоднородность района исследований [19]. Например, в зеленых насаждениях западной части повсеместно встречаются *Magnolia grandiflora*, *Nerium oleander*, *Ligustrum lucidum*

W.T. Aiton, *Berberis julianae* C.K. Schneid. Более обширному применению этих растений на востоке района препятствует их низкая морозостойкость. Однако, при удачном выборе места (защита от северных ветров) они успешно растут, цветут и плодоносят, хотя в суровые зимы подмерзают часто до корневой шейки. Так, в дендропарке КНС – ПЗ РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ и в поселке Коктебель (база отдыха «Якорь») произрастают деревья *Magnolia grandiflora*, которые ежегодно обильно цветут, плодоносят и страдают от морозов только в экстремально холодные зимы, но быстро восстанавливают крону. Деревья многоствольные, высота 4,5-5 м, возраст более 30 лет. В восточной части исследуемого района эти виды могут быть использованы в качестве дополнительного ассортимента для зеленых зон рекреационных комплексов.

Таблица 1. Характеристика часто используемых в озеленении древесных растений, цветущих во второй половине лета
Table 1. Characteristics of arboreal plants often used in gardening which bloom in the second half of summer

№	**Название растения** Plant name	**Сроки цветения** Period of flowering	**Декоративные признаки** Decorative features			**Общая декоративность цветения (группа)** General decorative flowering (group)	**Экологические свойства** Ecological properties	
			Обильность цветения (баллы) Flowering abundance (points)	**Величина цветков или соцветий (группа)** Size of flowers or inflorescences (group)	**Аромат (интенсивность)** Aroma (intensity)		**Морозостойкость** Frost resistance	**Засухоустойчивость** Drought tolerance
Листопадное дерево / Deciduous tree								
1.	*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle	1–3 д VI 1–3 d VI	3	6	+	I	0	0
2.	*Albizia julibrissin* Durazz.	3 д VI–3 д VII 3 d VI–3 d VII	4	6	+	IV	1–3	0
3	*Catalpa speciosa* (Warder ex Barney) Warder ex Engelm.	2 д VI –1 д VII 2 d VI –1 d VII	2–3	5	–	III	0	1
4.	*Koelreuteria paniculata* Laxm.	2 д VI–1 д VII 2 d VI–1 d VII	3	5	+	II	0	0
5.	*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott	1 д VII–1 д VIII 1 d VII–1 d VIII	4	5	+	II	0	0
Листопадный кустарник / Deciduous shrub								
1.	*Buddleja davidii* Franch. (and its forms)	3 д VII–3 д VIII 3 d VII–3 d VIII	3	5	++	III	1–2	1
2.	*Hibiscus syriacus* L.	1 д VII–3 д VIII 1 d VII–1 d VIII	3	2	–	III	0	1
3.	*Spartium junceum* L.	1–3 д VI 1–3 d VI	5	3	+	III	0	0
Вечнозеленый кустарник / Evergreen shrub								
1.	*Nerium oleander* L.	3 д V–3 д IX 3 d V–3 d IX	3	1	–	III	2–4	0
2.	*Yucca filamentosa* L.	2 д VI–2 д VII 2 d VI–2 d VII	4	5	–	III	0	0
Листопадная лиана / Deciduous vine								
1.	*Campsis radicans* (L.) Seem.	2 д VI–3 д IX 2 d VI–3 d IX	4	2	–	III	1–2	0

Расширить ассортимент красивоцветущих растений возможно за счет различных сортов чайно-гибридных роз поздно-, длительно- и повторно цветущих. Для озеленения мы рекомендуем сорта, которые прошли испытания в Степном отделении Никитского ботанического сада: `Климентина`, `Black Magic`, `Burgund`, `Norita`, `Folklore`, `Gloria Dei`, `Konrad Henkel`, `Baccara`, `Imperatrice` и предлагаемого ассортимента районированных и перспективных сортов роз для Крыма и юга России [20; 21].

Для зеленого строительства в исследуемом регионе перспективны юкки (*Yucca* L.), которые из-за декоративности, особенно в цветении, открывают широкие возможности в озеленении. Их можно высаживать на сухих каменистых солнечных склонах и участках, составляя декоративные композиции первого плана в сочетании с аборигенными видами.

Для расширения ассортимента летнецветущих древесных растений мы предлагаем те из них, которые испытаны в парке КНС – ПЗ РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ, Степном отделении Никитского ботанического сада, в зеленых насаждениях исследуемого региона (рис. 2, табл. 2).

Таблица 2. Рекомендуемый ассортимент древесных растений, цветущих в летний период (дополнение к существующему)
Table 2. Recommended assortment of arboreal plants which flower in summer (addition to the existing one)

№	**Название растения** Plant name	**Сроки цветения** Terms of flowering	**Декоративные признаки** Decorative features			**Общая декоративность цветения (группа)** General decorative flowering (group)	**Экологические Свойства** Ecological properties	
			Обильность цветения (баллы) Flowering abundance (points)	**Величина цветков или соцветий (группа)** Size of flowers or inflorescences (group)	**Аромат (интенсивность)** Aroma (intensity)		**Морозостойкость** Frost resistance	**Засухоустойчивость** Drought tolerance
			Листопадное дерево / Deciduous tree					
1	*Crataegus orientalis* Pall. ex M. Bieb subs. *pojarkovae* (Kossych) Byatt*	1–3 д VI 1–3 d VI	5	7	++	II	0	0
2	*Crataegus tournefortii* Griseb.*	1–3 д VI 1–3 d VI	5	7	++	II	0	0
3	*Koelreuteria bipinnata* Franch.	3 д VI–1 д VII 3 d VI– 1 d VII	3	5	+	II	0	0–1
4	*Melia azedarach* L.	2–3d VI 2–3d VI	3–4	5	+	II	5	1–2
5	*Punica granatum* L.	1 д VI–3 д VII 1 d VI–3 d VII	3	2	–	IV	0–2	0
6	*Robinia viscosa* Vent.	2 д V–3 д VIII 2 d V–3 d VIII	4–5	6	+	III	0	0
7	*Tilia americana* L.	1 д VI–2 д VII 1 d VI–2 d VII	4	7	+	II	0	0

8	*Tilia begoniifolia* Steven*	3 д VI–2 д VII 3 d VI–2 d VII	3	4	+	II	0	0
9	*Tilia tomentosa* Moench.	3 д VI– 2 д VII 3 d VI–2 d VII	4	7	+	II	0	1
10	*Tilia platyphyllos* Scop.	3 д VI– 2 д VII 3 d VI– 2 d VII	4	7	+	II	0	0
		Листопадный кустарник / Deciduous shrub						
1	*Buddleja alternifolia* Maxim.	1–3 д VI 1–3 d VI	5	4	++	II	0	0–1
2	*Buddleja x weyeriana* `Sungold`	VI–X VI–X	3	6	+	III	0	0–1
3	*Caryopteris incana* (Thunb. ex Houtt.) Miq.	2 д VIII 1 д X 2 d VIII 1 d X	3	7	+	II	0	0–1
4	*Colutea arborescens* L.	3 д V–2 д VII 3 d V– 2 d VII	3	3	–	III	0	0
5	*Colutea cilicica* Boiss. et Balansa*	3 д V– 1 д VII 3 d V– 1 d VII	3	3	–	III	0	0
6	*Cotoneaster multiflorus* Bunge	1–3д VI 1–3d VI	4	4	–	II	0	0
7	*Clematis integrifolia* L.*	2 д V–3 д VIII 2 d V–3 d VIII	3	2	–	III	0	1
8	*Genista hispanica* L.	VI–VII VI–VII	4–5	6	–	III	1	0
9	*Hydrangea arborescens* L.	V–IX V–IX	3	6	–	IV	0	1–2
10	*Kerria japonica* f. plena C.K. Schneid.	2 д IV–3 д XI 2 d IV–3 d XI	4	3	+	III	0	1
11	*Lagerstroemia indica* L.	3 д VII–3 д IX 3 d VII–3 d IX	3–4	6	–	IV	2–3	0–1
12	*Lycium barbatum* L.	1 д VI– 2 д IX 1 d VI– 2 d IX	3	4	–	II	0	0
13	*Philadelphus lemoinei* `Albatre`	3 д V–3 д VI 3 d V–3 d VI	4–5	3	++	III	0	0–1
14	*Paliurus spina-christi* Mill.*	1–3 д VIII 1–3 d VIII	4	4	–	II	0	0
15	*Spiraea bumalda* Burv.	1 д VI–2 д VII 1 d VI– 2 d VII	4–5	7	–	III	0–1	1

16	*Symphoricarpus orbiculatus* Moench	1 д VI– 3 д VII 1 d VI–3 d VII	3–4	4	–	II	0	0
17	*Vitex angus-castus* L. *	VI–X VI–X	3–4	6	+	III	1–2	0
		Полувечнозеленый кустарник / Semi-evergreen shrub						
1	*Hypericum patulum* Thunb.	2 д VI–1 дVIII 2 d VI–1 d VIII	3–4	7	–	III	0–1	0-1
		Вечнозеленый полукустарник / Evergreen subshrub						
1	*Cistus tauricus* J. Presl et C. Presl*	2 д V–1 д VII 2 d V–1 d VII	3–4	2	–	III	1–2	0

*Примечание: *– аборигенные виды*
*Note: *– native species*

Летнецветущие растения, предлагаемые для пополнения ассортимента, зимостойкие и засухоустойчивые, исключение составляют листопадные деревья *Melia azedarach*, *Punica granatum*, листопадный кустарник *Lagerstroemia indica,* и полувечнозеленый и вечнозеленый кустарники *Hypericum patulum* и *Cistus tauricus* соответственно, которые характеризуются пониженной зимостойкостью. Создавать садово-парковые композиции с их участием необходимо в западной части региона от Семидворья до Судака и выбирать места южной экспозиции, защищенные от холодных воздушных масс. Слабо повреждаемые засухой *Hydrangea arborescens, Tilia tomentosa, Spiraea bumalda* и др. нуждаются в орошении (табл. 2). В предлагаемый ассортимент введено 29 видов и форм, включающий 10 деревьев, 19 кустарников, в том числе 8 аборигенных видов.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что 175 (48,6%) видов и форм декоративных деревьев и кустарников в зеленых насаждений Юго-восточного берега Крыма являются красивоцветущими. Летний аспект цветения составляют 125 видов и форм, из них массово в регионе используются 23 вида, которые являются зимо- и засухоустойчивыми. Остальные встречаются редко, представлены единичными экземплярами.

2. Выявлено, что наибольшее количество видов и форм древесных растений цветет во второй-третьей декадах мая и первой декаде июня, при этом пик цветения приходится на последнюю декаду мая. Со второй декады июня значительно уменьшается их число. Большой интерес представляют виды, цветущие с июня и далее, особенно имеющие длительный период цветения, такие как: *Albizia julibrissin*, *Buddleja davidi* и ее формы, *Hydrangea arborescens*, *Campsis radicans*, *Kerria japonica* f. *plena*, *Robinia viscosa*, *Vitex angus-castus*. Эти виды имеют также высокую степень декоративности цветения.

3. Дополнен ассортимент древесных растений, цветущих в летний период. В предлагаемый ассортимент введено 29 видов и форм, включающих 10 деревьев, 19 кустарников, в том числе 8 аборигенных видов. При подборе декоративных деревьев и кустарников для озеленения следует использовать повсеместно засухо- и зимостойкие виды, в том числе аборигенные. Для парков и зеленых зон рекреационных комплексов возможно использование более экологически требовательных красивоцветущих растений при условии регулярного и надлежащего ухода за ними. Предложенные нами виды и формы помогут усилить декоративность культур фитоценозов Юго-восточного берега Крыма в летний период.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках темы госзадания №АААА-А19-119012490044-3.

ACKNOWLEDGMENT

This work was carried out as a part of the subject of state assignment No. AAAA-A19-119012490044-3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багрова Л.А., Боков В.А., Гаркуша Л.Я., Драган Н.А. Крымское субсредиземноморье // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана. Симферополь: Таврия, 2003. Вып. 13. С. 95-105.

2. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / науч. ред. Е.А. Позаченюк. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.

3. Cordova C.E. The Mediterraneanization of Crimea // Mediterranee. 2016. N 126. P. 25-36. URL: https://doi.org/10.4000/mediterranee.8179 (дата обращения 22.01.2020)

4. Potapenko I., Letukhova V., Klimenko N. Ornamental trees and shrubs in green areas of South-East coast of the Crime // XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”. E3S Web of Conferences / D. Rudoy and S. Ignateva (eds.). Rostov-on-Don, Russia, February 26-28, 2020. V. 175, 01005. P. 1-14. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501005

5. Тыщенко Е.Л. К вопросу формирования ассортимента древесно-кустарниковых пород для садов продолжительного цветения на юге России //

Субтропическое и декоративное садоводство. 2019. N 71. С. 122-131. DOI: 10.31360/2225-3068-2019-71-122-131
6. Потапенко И.Л. История и современное состояние зеленых насаждений поселка Коктебель // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского. 2016. N 2. С. 11-18.
7. Потапенко И.Л., Клименко Н.И., Летухова В.Ю. Парки рекреационных комплексов г. Судак // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 3. С. 64-74.
8. Потапенко И.Л., Летухова В.Ю. Декоративные древесные растения пос. Солнечная Долина (Юго-Восточный Крым) // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология, химия. 2017. Т. 3(69). N 4. С. 174-186.
9. The Plant List. 2013. Version 1.1. URL: http://www.theplantlist.org/ (дата обращения: 22.01.2020)
10. Ена А.В. Природная флора Крымского полуострова. Симферополь: Н. Оріанда, 2012. 231 с.
11. Методические указания по фенологическим наблюдениям над деревьями и кустарниками при их интродукции на юге СССР / Состав. И.В. Голубева, Р.В. Галушко, А.М. Кормилицын. Ялта: ГНБС, 1977. 25 с.
12. Боков В.А., Будашкин Ю.И., Костенко Н.С. Климат // Природа Карадага / под ред. А.Л. Морозовой, А.А. Вронского. К.: Наукова думка, 1989. С. 29-40.
13. Гревцова Г.Т. Атлас – Кизильники Cotoneaster (Medic.) Bauhin. К.: Дім, сад, город, 1999. 372 с.
14. Глухов А.З., Гридько О.А., Хархота Л.В. Декоративная дендрология. Донецк: ДонНУ, 2016. 88 с.
15. Григорьев А.Г., Мороз С.А., Ключникова Е.А., Еганова Е.В. Интродукция видов сирени в Северный Крым // Бюллетень государственного Никитского ботанического сада. 1988. Вып. 65. С. 22-26.
16. Куликов Г.В. Результаты интродукции новых для Крыма древесных растений (1970-1980 гг.). Интродукция декоративных деревьев и кустарников на юге СССР // Труды ГНБС. 1980. Т. 82. С. 48-80.
17. Коба В.П., Герасимчук В.Н., Папельбу В.В., Сахно Т.М. Аннотированный каталог дендрологической коллекции Никитского ботанического сада / под общ. ред. чл.-корр. РАН Плугатаря Ю.В. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 304 с.
18. Деревья, кустарники и лианы для озеленения Предгорного Крыма / под общ. ред. А.И. Репецкой. Симферополь: Салта, 2019. 272 с.
19. Антюфеев В.В. Агроклиматический потенциал субтропического садоводства в Крыму // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. N 4(54). С. 185-188.
20. Городняя Е.В. Итоги комплексной сортооценки садовых роз в условиях Предгорной зоны Крыма // Вестник КрасГАУ. 2017. N 3. С. 16-21.
21. Плугатарь С.А. Культивирование чайно-гибридных роз в связи с использованием в ландшафтном дизайне современного сада юга России // Сборник научных трудов ГНБС. 2018. Т. 147. С. 236-238.

REFERENCES

1. Bagrova L.A., Bokov V.A., Garkusha L.Ya., Dragan N.A. [Crimean sub-Mediterranean]. In: *Ekosistemy Kryma, ikh optimizatsiya i okhrana* [Crimean ecosystems, their optimization and protection]. Simferopol, Tavria Publ., 2003, vol. 13, pp. 95-105. (In Russian)
2. Pozachenyuk E.A., ed. *Sovremennye landshafty Kryma i sopredel'nykh akvatorii* [Modern landscapes of Crimea and adjacent waters]. Simferopol, Business Inform Publ., 2009, 672 p. (In Russian)
3. Cordova C.E. The Mediterraneanization of Crimea. *Mediterranee*, 2016, no. 126, pp. 25-36. URL: https://doi.org/10.4000/mediterranee.8179 (accessed 22.01.2020)
4. Potapenko I., Letukhova V., Klimenko N. Ornamental trees and shrubs in green areas of South-East coast of the Crime. *XIII International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020"*, Rostov-on-Don, Russia, February 26-28, 2020, vol. 175, 01005, pp. 1-14. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501005
5. Tyschenko Y.L. To the question of the formation of an assortment of tree and shrub species for continuous flowering gardens in the south of Russia. *Subtropical and ornamental gardening*, 2019, no. 71, pp. 122-131. (In Russian) DOI: 10.31360/2225-3068-2019-71-122-131
6.Potapenko I.L. [History and current status of green spaces of the village of Koktebel]. In: *Trudy Karadagskoi nauchnoi stantsii im. T.I. Vyazemskogo* [Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky]. 2016, no. 2, pp. 11-18. (In Russian)
7. Potapenko I.L., Klimenko I.L., Letukhova V.Yu. Parks of recreational complexes of the city of Sudak. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2017, vol. 12, no. 3, pp. 64-74. (In Russian)
8. Potapenko I.L., Letukhova V.Yu. Ornamental arboreal plants of Solnechnaja dolina township (South-East Crimea). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya, khimiya [Scientific notes of the Crimean Federal University by V.I. Vernadsky. Biology, Chemistry]. 2017, vol. 3 (69), no. 4, pp. 174-184. (In Russian)
9. The Plant List, 2013. Version 1.1. Available at: http://www.theplantlist.org/ (accessed 22.01.2020)
10. Ena A.V. *Prirodnaya flora Krymskogo poluostrova* [Natural flora of the Crimean Peninsula]. Simferopol, N. Orianda Publ., 2012, 231 p. (In Russian)
11. Golubeva I.V., Galushko R.V., Kormilitsyn A.M., comp. *Metodicheskie ukazaniya po fenologicheskim nablyudeniyam nad derev'yamii kustarnikami pri ih introdukcii na yuge SSSR.* [Guidelines for phenological observations of trees and shrubs during their introduction in the south of the USSR]. Yalta, SNBG Publ., 1977, 25 p. (In Russian)
12. Bokov V.A., Budashkin Yu.I., Kostenko N.S. *Klimat* [Climate]. In: *Priroda Karadaga* [Nature of Karadag]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989, pp. 29-40. (In Russian)
13. Grevtsova G.T. *Atlas – Kizil'niki Cotoneaster (Medic.) Bauhin.* [Atlas – Cotoneaster (Medic.) Bauhin.]. Kiev, Dom, sad, gorod Publ., 1999, 372 p. (In Russian)
14. Glukhov A.Z., Gridko O.A., Kharkhota L.V. *Dekorativnaya dendrologiya* [Decorative dendrology]. Donetsk, DonNU Publ., 2016, 88 p. (In Russian)
15. Grigoriev A.G., Moroz S.A., Klyuchnikova E.A., Eganova E.V. The introduction of lilac species in the Northern Crimea. Byulleten' gosudarstvennogo Nikitskogo

botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikitsky botanical gardens]. 1988, iss. 65, pp. 22-26. (In Russian)
16. Kulikov G.V. The results of the introduction of woody plants new to the Crimea (1970-1980). Introduction of ornamental trees and shrubs in the south of the USSR. In: *Trudy GNBS* [Proc. of the State Nikitsky Botanical Garden]. 1980, vol. 82, pp. 48-80. (In Russian)
17. Koba V.P., Gerasimchuk V.N., Papelbu V.V., Sakhno T.M. *Annotirovannyi katalog dendrologicheskoi kollektsii Nikitskogo botanicheskogo sada* [Annotated catalog of the dendrological collection of the Nikitsky Botanical Gardens]. Simferopol, IT "ARIAL" Publ., 2018, 304 p. (In Russian)
18. Repetskaya A.I., ed. *Derev'ya, kustarniki i liany dlya ozeleneniya Predgornogo Kryma* [Trees, shrubs and lianas for landscaping of the foothill Crimea]. Simferopol, Salta Publ., 2019, 272 p. (In Russian)
19. Antyufeev V.V. Agroclimatic potential of subtropical gardening in Crimea. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State Agrarian University]. 2015, no. 4(54), pp. 185-188. (In Russian)
20. Gorodnaya E.V. Final results of complex evaluation of varieties of garden roses in the conditions of foothill zone of the Crimea. Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasSAU]. 2017, no. 3, pp. 16-21. (In Russian)
21. Plugatar S.A. The cultivation of hybrid tea roses in connection with the use in landscape design of modern garden of the south of Russia. Sbornik nauchnyh trudov Nikitskogo botanicheskogo sada [Proc. of the State Nikitsky Botanical Garden]. 2018, vol. 147, pp. 236-238. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Николай И. Клименко проводил полевые обследования, наблюдения за растениями, собирал информацию, анализировал данные. Ирина Л. Потапенко проводила полевые обследования, определяла виды, писала рукопись. Ольга Е. Клименко анализировала данные, писала и оформляла рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nikolai I. Klimenko conducted field surveys and observations of plants, collected information and analysed data. Irina L. Potapenko conducted field surveys, carried out the determination of species, wrote the manuscript. Olga E. Klimenko analyzed the data, wrote and executed the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Николай И. Клименко / Nikolai I. Klimenko https://orcid.org/0000-0002-0305-8924
Ирина Л. Потапенко / Irina L. Potapenko https://orcid.org/0000-0001-7970-426X
Ольга Е. Клименко / Olga E. Klimenko https://orcid.org/0000-0002-9142-521X

Оригинальная статья / Original article
УДК 633.83 (631.524: 575.21)
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-17-25

Продолжительность фаз развития и вегетационного периода *Nigella sativa* L. вдоль высотного градиента (на примере Дагестана)

Лейла А. Габибуллаева
Горный ботанический сад – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо
Лейла А. Габибуллаева, младший научный сотрудник, Горный ботанический сад – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45.
Тел. +79292460758
Email leila.amirova@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-9749-2432

Формат цитирования
Габибуллаева Л.А. Продолжительность фаз развития и вегетационного периода *Nigella sativa* L. вдоль высотного градиента (на примере Дагестана) // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 17-25. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-17-25

Получена 24 мая 2020 г.
Прошла рецензирование 7 сентября 2020 г.
Принята 5 ноября 2020 г.

Резюме

Цель. Изучение продолжительности жизненного цикла и фаз развития растений *Nigella sativa* L. в зависимости от высотного уровня выращивания, качества семян и условия года при проведении интродукционного эксперимента.

Материал и методы. При проведении исследований пользовались общепринятыми методами, описанными в соответствующих руководствах. Материалом послужили образцы *Nigella sativa* L. различного эколого-географического происхождения: Саудовская Аравия, Эфиопия, Сирия, Египет, Азербайджан.

Результаты. Показано, что с увеличением высоты над уровнем моря места произрастания продолжительность жизненного цикла у растений образцов *N. sativa* L. возрастает, а содержание пальмитиновой кислоты в семенах при этом снижается.

Заключение. Основной причиной, с которой связаны указанные выше негативные изменения, является снижение средней суточной температуры с высотой над уровнем моря и как следствие, задержка в накоплении суммы эффективных температур, необходимой для прохождения определенных этапов индивидуального развития и жизненного цикла в целом.

Ключевые слова
Nigella sativa, продолжительность жизненного цикла, жирные кислоты, высота над уровнем моря, Дагестан.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

The length of the development phases and the growing season of *Nigella sativa* L. along altitude gradients (the example of Dagestan)

Leila A. Gabibullaeva
Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact
Leila A. Gabibullaeva, research assistant, Mountain Botanical Garden – a separate division of the Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 45 M. Gadjiev St, Makhachkala, Russia 367000
Tel. +79292460758
Email leila.amirova@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-9749-2432

How to cite this article
Gabibullaeva L.A. The length of the development phases and the growing season of *Nigella sativa* L. along altitude gradients (the example of Dagestan). *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 17-25. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-17-25

Received 24 May 2020
Revised 7 September 2020
Accepted 5 November 2020

Abstract
Aim. To study of the duration life cycle and phenological phases of plants of *Nigella sativa* L. (variability depending on height above sea level, seed quality and climatic conditions of the year).
Material and Methods. Generally accepted methods described in the relevant guidelines were used in conducting the research. Samples of *Nigella sativa* (black cumin) were sourced from various eco-geographical origins: Saudi Arabia, Ethiopia, Syria, Egypt and Azerbaijan.
Results. It was determined that with an increase in height above sea level of the place of growth, the life cycle of plants of *N. sativa* samples is prolonged and their content of palmitic acid decreases.
Conclusion. The main reason for the above-mentioned negative changes is a decrease in the average daily temperature with altitude above sea level and, as a result, a delay in the accumulation of the sum of effective temperatures necessary for the passage of certain stages of individual development and the life cycle as a whole.

Key Words
Nigella sativa, life cycle duration, fatty acids, altitude, Dagestan.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что адаптивный потенциал культурных растений можно выявить по реакции на различные условия среды, что рассматривается как основа для расширения территории их возделывания [1]. При этом важным показателем является последовательность и продолжительность фаз индивидуального развития растений, поскольку их полная реализация обеспечивает высокую биологическую продуктивность.

В настоящее время изучение и освоение нетрадиционных и малораспространенных ресурсных растений с многочисленными полезными свойствами продолжается повсеместно. К таким малоизученным растениям в условиях Дагестана относится и чернушка посевная (*Nigella sativa* L.), в семенах которого содержится до 40 и более % жирного масла и до 1,5% эфирного масла [2].

По литературным данным продолжительность вегетации *N. sativa* в странах Ближнего Востока в зависимости от условий произрастания колеблется в пределах 130-150 дней [3]. Оптимальное прохождение жизненного цикла является основой успешности культивирования данного растения в новых условиях и получения семян. Изучение влияния высотного уровня выращивания, условий года, а также агротехнических приемов возделывания на продолжительность фаз развития растений *N. sativa* и качество семян ранее в Дагестане не проводилось, что и явилось предметом нашего исследования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал для исследований был получен в 2008 году из стран Ближнего Востока, Северо-Восточной Африки и Закавказья: Саудовская Аравия (г. Аль-Касим), Эфиопия (г. Аксум), Сирия (г. Думайр), Египет (г. Гиза), Азербайджан (г. Келлар), представляющий собой местные сортопопуляции. Поскольку, данный вид относится к перекрестноопыляемым культурам, то в целях сохранения чистоты эксперимента исходный семенной материал был сохранен на все три года испытания. Посев семян (по 100 штук каждого образца) осуществлялся в оптимальные для каждого места произрастания сроки ручным способом в метровые делянки. Расстояние между рядами – 20 см, глубина посева – 3-4 см, пункты выращивания – 100, 1100, 1650 метров над уровнем моря. Уход заключался в прополке сорняков. Уборку урожая проводили вручную по мере созревания образцов.

При проведении исследований пользовались общепринятыми методами, описанными в соответствующих руководствах [4], а также специальными руководствами [5-7]. Фенологические наблюдения за развитием образцов *N. sativa*, как проявление периодичности фаз развития в связи с климатическими факторами проводили по известным методикам [8-12]. Дату начала наступления той или иной фазы определяли по появлению характерных внешних признаков у 10-15% растений, а полного наступления – не менее чем у 75% растений. Статистическая обработка данных проводилась по общепринятым методикам [13; 14]. При проведении расчетов использовалась система анализа данных Statistica v. 5.5. Предварительно по признаку «масса ста семян» образцы разделены на крупно-, средне-, и мелкосемянные (рис. 1). К крупным отнесены семена образцов с массой от 290 до 360 мг, к средним – с массой от 230 до 290 мг, к мелким – с массой от 200 до 230 мг. Различия между средними значениями образцов по этому признаку подтверждены по t-критерию Стьюдента.

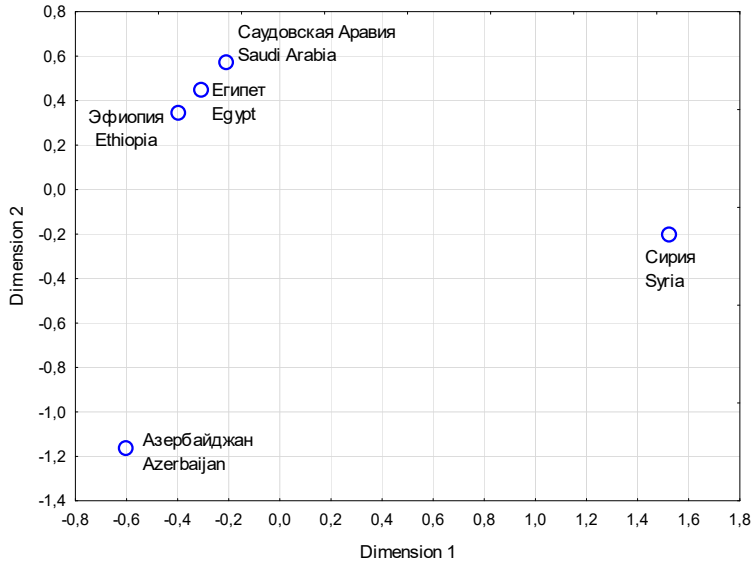


Рисунок 1. Результаты многомерного шкалирования образцов *N. sativa* по признаку «масса ста семян»
Figure 1. Results of multidimensional scaling of *N. sativa* samples on the basis of «weight of one hundred seeds»

Для определения продолжительности межфазных периодов были взяты два образца *N. sativa*, различающиеся по происхождению и исходным размерам семян – из Азербайджана (мелкосемянный образец) и из Сирии (крупносемянный образец). У растений *N. sativa* учитывали следующие межфазные периоды и их продолжительность: «посев-всходы», «всходы-цветение», «цветение-созревание», а также всего жизненного цикла.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам фенологических исследований между двумя образцами, различающимися по размерам семян, выявлены различия и в продолжительности прохождения, как всего жизненного цикла, так и межфазных периодов на всех пунктах выращивания. При этом более продолжительным оказалось развитие растений, выросших из мелких семян, чем из крупных. Развитие первых длилось 84, 101 и 125 дней (рис. 2), а вторых – 75, 88 и 114 дней, при выращивании в условиях 100, 1100 и 1650 м над ур. моря соответственно.

У обоих образцов наблюдалось ускорение развития на низменности и более продолжительное развитие в среднегорье. На высоте 100 м период «цветение-созревание» продолжался дольше по сравнению с периодом «всходы-цветение», тогда как на двух других высотах отмечено обратное соотношение. Т.е. увеличение продолжительности общего жизненного цикла на высоте 1650 м связано со значительным увеличением продолжительности периода «всходы-цветение». Растянутость последнего, на наш взгляд, зависит от температурного режима, особенно ночных температур, опускающихся в горах ниже биологического нуля и неустойчивостью благоприятного диапазона суточных температурных показателей в весенний период.

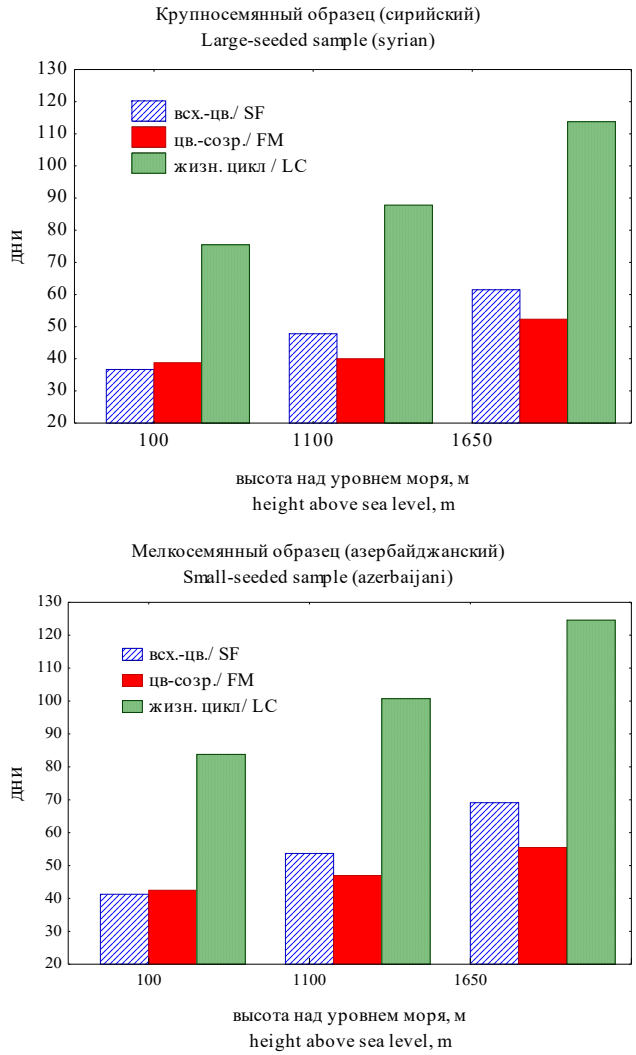


Рисунок 2. Графики средних значений продолжительности жизненного цикла и отдельных межфазных периодов у образцов *N. sativa* вдоль высотного уровня выращивания

Всх.-цв. – всходы-цветение, Цв.-созр. – цветение-созревание, Жизн.цикл – жизненный цикл

Figure 2. Graphs of average values of life cycle duration and individual interphase periods in *N. sativa* samples along the altitudinal level of cultivation

SF – sprouting-flowering, FM – flowering-maturation, LC – life cycle

Длительность периода «цветение-созревание» колеблется в широких пределах на разных высотных уровнях. При этом как у мелкосемянного, так и крупносемянного образцов по мере возрастания высоты над уровнем моря, уровень изменчивости возрастает. В отличие от последнего продолжительность всего жизненного цикла и фазы «всходы-цветение» имеет низкий уровень изменчивости.

Для оценки относительного вклада условий выращивания и происхождения образца в изменение продолжительности межфазных периодов был проведен двухфакторный дисперсионный анализ, результаты которого подтвердили его достоверное влияние (рис. 3).

Высота над уровнем моря места произрастания оказывает значительное влияние на продолжительность периодов «всходы-цветение» (88,5%), «цветение-созревание» (36,6%) и общую продолжительность жизненного цикла (78,1%). Влияние происхождения образцов на эти различия значительно меньше (8,8; 8,8 и 11,2% соответственно), хотя и доказано.

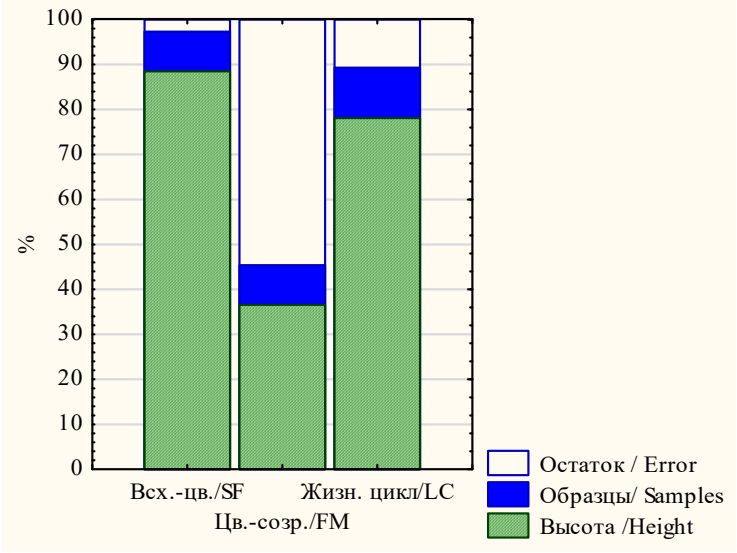


Рисунок 3. Относительные компоненты дисперсии (%) продолжительности межфазных и жизненного цикла по факторам «высота» и «образцы»
Всх.-цв. – всходы-цветение, Цв.-созр. – цветение-созревание, Жизн.цикл – жизненный цикл
Figure 3. Relative components of the dispersion (%) of the interphase and life cycle duration by the factors «height» and «samples»
SF – sprouting-flowering, FM – flowering-maturation, LC – life cycle

Наряду с этим изменчивость изучаемых параметров анализировали с применением двух моделей дисперсионного анализа – однофакторной модели и модели с учетом линейной регрессии по степени влияния высотного градиента. В таблице 1 приведены итоговые результаты, отражающие вклад межгрупповых компонентов дисперсии в общую вариабельность признаков: h^2 – для однофакторной модели и r^2 – для модели с учетом линейной регрессии [16]. У крупносемянного образца между продолжительностью периода «всходы-цветение» и высотным уровнем установлена сильная положительная корреляционная связь (0,94), т.е. по мере увеличения высотного пункта выращивания увеличивается продолжительность этого периода. При этом на влияние высотного фактора приходится 88,9% от общей изменчивости. В то время как сила влияния фактора оказалась сравнительно выше у образца из Азербайджана – 92,8%.

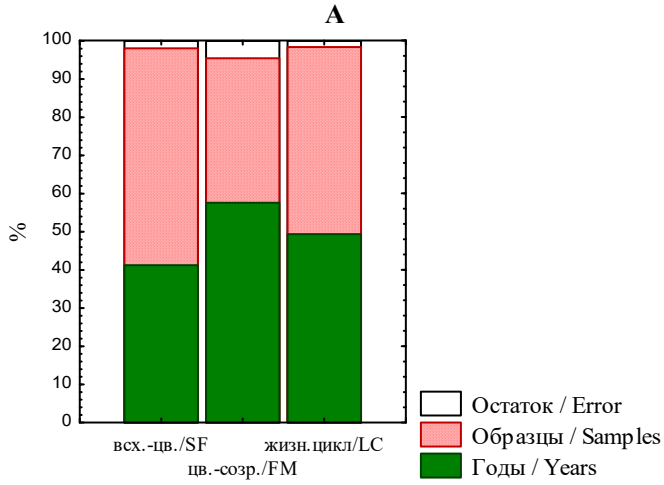
В двухфакторной модели дисперсионного анализа было оценено также влияние условий года и происхождения образца отдельно на каждом участке произрастания. Влияние фактора «образцы» сильнее всего проявляется в период «всходы-цветение», а условий года – в период «цветение-созревание». При этом следует отметить, что продолжительность периода «всходы-цветение» на высоте 1100 м в значительной степени определялась различиями между образцами, в то время как влияние условий года здесь оказалось наименьшим (рис. 4).

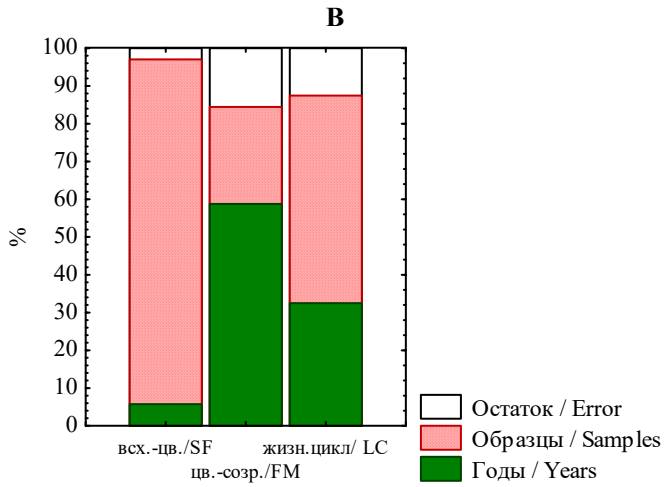
Выявлено, что с возрастанием высоты над уровнем моря влияние фактора «образцы» уменьшается на период «всходы-цветение», а влияние фактора «годы» увеличивается. Вероятней всего, наблюдающийся тренд в распределении влияния факторов обусловлен тем, что различия между образцами ослабевают на поздних стадиях развития, которые в значительной мере зависимы от экологических условий. Как мы уже отметили ранее, с высотой над уровнем моря продолжительность отдельных периодов и жизненного цикла увеличивается, соответственно, влияние экологических факторов усиливается с возрастанием высоты над уровнем моря и на поздних стадиях развития.

Таблица 1. Результаты однофакторного дисперсионного и регрессионного анализа (высотный градиент) для крупносемянного и мелкосемянного образцов
Table 1. Results of univariate variance and regression analysis (altitude gradient) for large-seeded and small-seeded samples

Признаки Indicators	**Крупносемянный образец (сирийский)** Large-seeded sample (Syrian)				**Мелкосемянный образец (азербайджанский)** Small-seedes sample (Azerbaijani)			
	h^2,%	**r^2,%**	**r^2/ h^2x100, %**	**r_{xy}**	**h^2,%**	**r^2,%**	**r^2/ h^2x100, %**	**r_{xy}**
ВЦ (SF)	95,3***	88,9***	93,3	0,94***	98,4***	92,8***	94,3	0,96***
ЦС (FM)	52,1***	30,0***	57,6	0,55***	30,9***	23,2***	75,1	0,48***
ЖЦ (LC)	93,0***	78,7***	84,6	0,89***	83,2***	72,6***	87,3	0,85***

*Примечание: ВЦ – всходы-цветение, ЦС – цветение-созревание, ЖЦ – жизненный цикл; h^2 – сила влияния фактора, %; r_{xy} – коэффициент корреляции между высотным градиентом и признаком; r^2 – коэффициент детерминации, %. * – уровень достоверности на P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001; корреляции представлены в целых числах до сотого значениях, без нуля и запятой*
Note: SF – sprouting-flowering, FM – flowering-maturation, LC – life cycle; h^2 – the strength of the influence of the factor, %; r_x – the correlation coefficient between the altitude gradient and the feature; r^2 – the coefficient of determination.
** – confidence level at P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001;* correlations are presented in whole numbers up to the hundredth value, without zero and comma





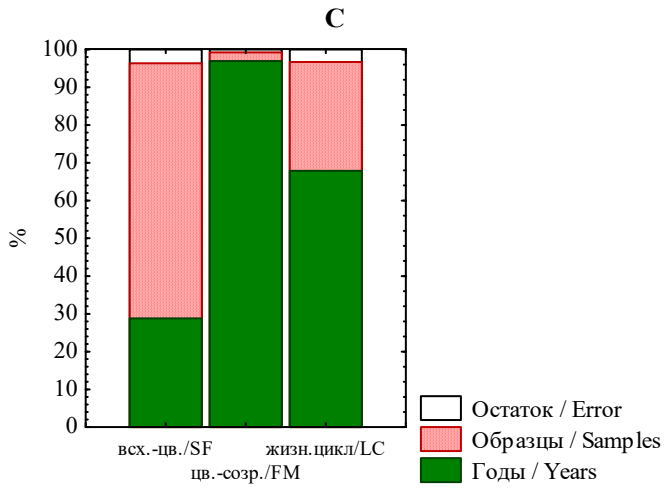


Рисунок 4. Относительные компоненты дисперсии (%) продолжительности межфазных и вегетационных периодов при интродукции на высоте 100 м (A), 1100 м (B), 1650 м (C)
Всх.-цв. – всходы-цветение, Цв.-сщзр. – цветение-созревание, Жизн.цикл – жизненный цикл
Figure 4. Relative components of dispersion (%) by duration of the interphase and vegetation periods at introduction at 100 m (A), 1100 m (B) and 1650 m (C)
SF – sprouting-flowering, FM – flowering-maturation, LC – life cycle

Таким образом, воздействие факторов, связанных с экологическими условиями выращивания, на изменение продолжительности фенопериодов *N. sativa* значительно превосходит факторы «условия года» и «происхождение образцов». При их сравнении выявлены разнонаправленные линейные тренды влияния факторов на фенопериоды. Основной закономерностью является усиление влияния фактора «годы» с высотой над уровнем моря и уменьшением влияния фактора «образцы» для периода «цветение-созревание», что говорит об ослаблении роли генетического контроля и усилении экологического контроля с высотой над уровнем моря от начальных стадий развития к поздним.

Интродукционный анализ и учет фенологических дат показал, что у исследуемых образцов наблюдалась дифференциация не только семенной продуктивности (масса семян на растении), по химическому составу масел, а также по биологическому типу (продолжительность вегетационного периода). Возможно, что в период формирования и созревания семян для накопления жирных кислот наибольшее значение имеют более высокие среднесуточные температуры. В связи с этим, низкие показатели содержания масла у образца азербайджанского происхождения с мелкими семенами мы связываем с более поздними календарными сроками (на 8-12 дней) прохождения вегетационного периода по сравнению с остальными образцами.

В связи с этим выявлены достоверные отрицательные связи между содержанием пальмитиновой, стеариновой и линолевой кислот с продолжительностью вегетационного периода (табл. 2).

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа *N. sativa* между содержанием жирных кислот и общей масличностью
Table 2. Results of correlation analysis between fatty acids content and total oil content of *N. sativa*

Жирная кислота Fatty acid	**Содержание жирного масла (%)** Oil content	**Масса семян на растении** Seed weight per plant	**Продолжительность жизненного цикла** Life cycle duration
C16:0	-	0,72**	-0,80***
C18:0	0,91***	-	-0,68**
C18:1	-0,56*	-0,62**	0,75**
C18:2	-	0,54*	-0,63**

*Примечание: n=16, *– уровень достоверности при P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001*
*Note: n=16, * – confidence level at P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001*

Анализ зависимости их накопления от продолжительности жизненного цикла указывает на то, что снижение температурных показателей и увеличение влажности приводят к снижению синтеза жирных кислот. В то время как с увеличением вегетационного периода содержание олеиновой кислоты возрастает.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований впервые определена зависимость продолжительности фаз развития и жизненного цикла от высотного уровня выращивания.

Продолжительность жизненного цикла *N. sativa* при выращивании на участках, расположенных вдоль

высотного градиента изменялась от 75 до 125 дней. При этом сравнительно скороспелым оказалось развитие образца сирийского происхождения с более крупными семенами на низменности – 100 м над уровнем моря. По мере возрастания высотного уровня выращивания увеличивается продолжительность отдельных фаз развития. В условиях интродукции удалось выявить, что разница в их продолжительности при выращивании на высоте 100 м над уровнем моря менее выражена, чем на высоте 1100 м и 1650 м над уровнем моря. Положительные корреляционные связи между высотным градиентом и продолжительностью фаз развития и жизненного цикла достоверно подтверждают полученные результаты.

2. Влияние факторов, связанных с экологическими условиями выращивания, на изменение продолжительности феноперiодов *N. sativa* значительно превосходит факторы «условия года» и «происхождение образцов». При их сравнении выявлены разнонаправленные линейные тренды влияния факторов на феноперiоды. Основной закономерностью является усиление влияния фактора «годы» с высотой над уровнем моря и уменьшением влияния фактора «образцы» для периода «цветение-созревание», что говорит об ослаблении роли генетического контроля и, усилении экологического контроля с высотой над уровнем моря от начальных стадий развития к поздним.

3. Влияние высотного градиента отразилось и на содержании жирных кислот в семенах *N. sativa.* Выявлены достоверные отрицательные корреляционные связи между содержанием пальмитиновой кислоты и продолжительностью жизненного цикла. Установленные в условиях интродукционного эксперимента зависимости следует учитывать при прогнозировании урожайности и масличности семян *N. sativa.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анатов Д.М., Асадулаев З.М., Османов Р.М., Ахмедова К.И. К вопросу о происхождении культурного сортимента абрикоса в Дагестане по изменчивости морфологических признаков листа // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 3. С. 17-24. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-17-24

2. Мацку Я., Крейча И. Атлас лекарственных растений. Братислава: Изд-во Словацкой АН, 1972. 461 с.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

4. Tonçer Ö., Kizil S. Effect of seed rate on agronomic and technological characters of *Nigella sativa* L. // International Journal of Agriculture & Biology. 2004. V. 3. N 6. P. 529-532.

5. Salea R., Widjojokusumo E., Hartanti A.W., Veriansyah B., Tjandrawinata R.R. Supercritical fluid carbon dioxide extraction of *Nigella sativa* (black cumin) seeds using taguchi method and full factorial design // Biochemical compounds. 2013. V. 1. Iss. 1. P. 1-7. DOI: 10.7243/2052-9341-1-1

6. Khaled A., Haddad N.I., Hattar B.I., Kharallah K. Effect of some agricultural practices on the productivity of black cumin (*Nigella sativa* L.) grown under rainfed semi-arid conditions // Jordan Journal of Agricultural Sciences. 2007. V. 3. N 4. P. 385-397.

7. Abdolrahimi B., Mehdikhani P., Hasanzadeh Gort Tappe A. The effect of harvest index, yield and yield components of three varieties of black seed (*Nigella sativa*) in different planting densities // International Journal of AgriScience. 2012. V. 2. Iss. 1. P. 93-101.

8. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР: сб. ст./ под ред. П.И. Лапина. М.: Изд-во Главного ботанического сада АН СССР, 1972. 135 с.

9. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Методические указания. Новосибирск: Сибирское отделение изд-ва «Наука», 1974. 155 с.

10. Молостов А.С. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1966. 239 с.

11. Руденко А.И. Определение фаз развития сельскохозяйственных растений. М.: МОИП, 1950. 151 с.

12. Методические указания по семеноведению интродуцентов / отв. ред. акад. Н.В. Цицин. М.: Наука, 1980. 64 с.

13. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 343 с.

14. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.

REFERENCES

1. Anatov D.M., Asadulaev Z.M., Osmanov R.M., Ahmedova K.I. To the question of the origin of the cultural assortment of Dagestan apricots through assessing the variability of leaf morphological characteristics. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 17-24. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-17-24

2. Matsku Ya., Kreycha I. *Atlas lekarstvennykh rasteniy* [Atlas of medicinal plants]. Bratislava, Slovatskoy AN Publ., 1972, 461 p. (In Russian)

3. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta*: (*s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy*) [Methods of field experience (with the fundamentals of statistical processing of the results of research)]. Moscow, Kolos Publ., 1979, 416 p. (In Russian)

4. Tonçer Ö., Kizil S. Effect of seed rate on agronomic and technological characters of *Nigella sativa* L. International Journal of Agriculture & Biology. 2004, vol. 3, no. 6, pp. 529-532.

5. Salea R., Widjojokusumo E., Hartanti A.W., Veriansyah B., Tjandrawinata R.R. Supercritical fluid carbon dioxide extraction of *Nigella sativa* (black cumin) seeds using taguchi method and full factorial design. *Biochemical compounds*, 2013, vol. 1, iss. 1, pp. 1-7. DOI: 10.7243/2052-9341-1-1

6. Khaled A., Haddad N.I., Hattar B.I., Kharallah K. Effect of some agricultural practices on the productivity of black cumin (*Nigella sativa* L.) grown under rainfed semi-arid conditions. Jordan Journal of Agricultural Sciences. 2007, vol. 3, no. 4, pp. 385-397.

7. Abdolrahimi B., Mehdikhani P., Hasanzadeh Gort Tappe A. The effect of harvest index, yield and yield components of three varieties of black seed (*Nigella sativa*) in different planting densities. International Journal of AgriScience. 2012, vol. 2, iss. 1, pp. 93-101.

8. Lapin P.N., ed. *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh sadakh SSSR* [Method of phenological observations in the botanical gardens of the USSR] Moscow, Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1972, 135 p. (In Russian)
9. Beydeman I.N. *Metodika izucheniya fenologii rasteniy i rastitelnykh soobshchestv* [Methods of studying the phenology of plants and plant communities]. Novosibirsk, Siberian branch Nauka Publ., 1974, 155 p. (In Russian)
10. Molostov A.S. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience] Moscow, Kolos Publ., 1966, 239 p. (In Russian)
11. Rudenko A.I. *Opredelenie faz razvitiya selskokhozyaystvennykh rasteniy* [The definition phase of crops]. Moscow, MOIP Publ., 1950, 151 p. (In Russian)
12. Tsitsin N.V., ed. *Metodicheskie ukazaniya po semenovedeniyu introdutsentov* [Guidelines for Seed of exotic species]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 64 p. (In Russian)
13. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 343 p. (In Russian)
14. Afifi A., Eizen S. *Statisticheskiy analiz. Podkhod s ispolzovaniem EVM* [The approach of using a computer]. Moscow, Mir Publ., 1982, 488 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лейла А. Габибуллаева собрала материал, проводила камеральную обработку, проанализировала данные, написала рукопись и несет ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Leila A. Gabibullaeva collected the material, carried out laboratory processing, analysed data, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Лейла А. Габибуллаева / Leila A. Gabibullaeva https://orcid.org/0000-0001-9749-2432

Оригинальная статья / Original article
УДК: 581.543: 58.056
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-26-35

Изучение фенологии и семенной продуктивности растений родиолы розовой в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ

Ольга М. Савченко, Елена Ю. Бабаева
Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия

Контактное лицо
Ольга М. Савченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений; 117216 Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7
Тел. +74957121027
Email nordfenugreek@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-3054-1719

Формат цитирования
Савченко О.М., Бабаева Е.Ю. Изучение фенологии и семенной продуктивности растений родиолы розовой в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 26-35. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-26-35

Получена 5 апреля 2020 г.
Прошла рецензирование 19 июля 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме
Цель. Изучение фенологии и семенной продуктивности растений родиолы розовой II-IV года жизни в условиях Московской области под влиянием метеорологических условий.
Методы. Объектом исследования являлись растения родиолы розовой из биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР в Москве. Исследования включали полевые и лабораторные опыты, которые проводились в 2016-2019 гг. согласно методикам, принятым в лекарственном растениеводстве. Погодные условия в Московской области в период проведения исследования уточняли на интернет-ресурсе. Семенную продуктивность оценивали по общепринятым методикам. Определение посевных качеств семян проводили по ГОСТ 34221-2017.
Результаты. Впервые изучено влияние погодных условий на прохождение фенологических фаз молодыми растениями родиолы розовой в 2016-2019 гг. в Нечерноземной зоне РФ в условиях полевого опыта. Определена продолжительность фенологических фаз в зависимости от условий года наблюдения. Установлен состав популяции молодых растений родиолы для второго, третьего и четвертого годов вегетации. Выявлены неблагоприятные факторы, снижающие семенную продуктивность и влияющие на качество семян.
Выводы. Благоприятные по метеорологическим характеристикам периоды вегетации способствовали возрастанию массы 1000 шт. семян в среднем на 43 мг, повышению всхожести семян до 82%. Различия качества семян и их продуктивности в зависимости от условий года наблюдения могут свидетельствовать о необходимости проведения мероприятий по адаптации растений к неблагоприятным факторам среды.

Ключевые слова
Sedum roseum (L.) Scop., фенологические фазы, метеорологические условия, год вегетации, семенная продуктивность.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Study of the phenology and seed productivity of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop.) in the Central region of the Non-chernozem zone of the Russian Federation

Olga M. Savchenko and Elena Yu. Babaeva
All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia

Principal contact
Olga M. Savchenko, Candidate of Science (Agriculture), Leading Researcher, Laboratory of Agrobiology; All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants; 7 Grina St, Moscow, Russia 117216.
Tel. +74957121027
Email nordfenugreek@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-3054-1719

How to cite this article
Savchenko O.M., Babaeva E.Yu. Study of the phenology and seed productivity of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop.) in the Central region of the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 26-35. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-26-35

Received 5 April 2020
Revised 19 July 2020
Accepted 21 September 2020

Abstract
Aim. The study of the phenology and seed productivity of golden root plants in the 2nd-4th years of life in the Moscow region under the influence of meteorological conditions.
Methods. The objects of research were plants of golden root from the biocollection of VILAR in Moscow. The studies included field and laboratory experiments, which conducted in 2016-2019 according to methods adopted in medicinal plant production. Weather conditions in the Moscow region during the research period were identified on the Internet. Seed productivity was assessed according to generally accepted methods. Determination of seed sowing qualities was carried out according to National Standard 34221-2017.
Results. The influence of weather conditions on the passage of phenological phases of young golden root plants in 2016-2019 in the Non-chernozem zone of the Russian Federation under experimental field conditions was studied for the first time. The duration of phenological phases depending on conditions in the year of observation was determined. The composition of the population of young golden root plants for the second, third and fourth years of vegetation was established. Adverse factors which reduce seed productivity and affect the quality of seeds were identified.
Conclusion. The favourable meteorological characteristics of the growing season contributed to an increase in the mass of 1000 seeds by an average of 43 mg and increased seed germination to 82%. Differences in seed quality and productivity of seeds depending on the conditions of the year of observation may indicate the necessity for measures for adaptation of the plants to harmful environmental factors.

Key Words
Sedum roseum (L.) Scop., phenological phases, meteorological conditions, vegetation year, seed productivity.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Родиола розовая (*Sedum roseum* (L.) Scop.) – многолетнее травянистое растение из семейства толстянковых (*Crassulaceae*). Лекарственным растительным сырьем являются корневища и корни (*Rhodiolae roseae* rhizomata et radices) [1].

В родиоле розовой содержатся вещества, стимулирующие нервную систему и обладающие адаптогенными свойствами. К ним относятся флавоноиды (кемпферол, астрагалин, трицин, родионин, родиозин, родиолин) [2]. В Государственном реестре лекарственных средств зарегистрированы жидкий и сухой экстракт из корневищ и корней родиолы розовой таблетированный под названием «Родискон» [3].

В настоящее время установлена возможность выращивания родиолы розовой (*Sedum roseum* (L.) Scop.) в условиях Нечерноземной зоны РФ рассадным способом. Данный способ позволяет рационально использовать семена, поскольку почвенно-климатические условия Московской области региона осложняют мероприятия по уходу за сеянцами [4].

Плод родиолы розовой – сухая, апокарпная, многосемянная многолистовка, которая состоит из 4 (редко – 5) сидячих, сросшихся у основания листовок. Семена мелкие, имеют плотную семенную кожуру. Семенам родиолы свойственны малый вес и несмачиваемость водой [5; 6]. Родиола розовая является перекрестноопыляемым двудомным растением [7]. Масса 1000 шт. зрелых, пригодных для посева семян, а также их линейные размеры зависят от экологических условий произрастания растений родиолы, погодных условий в период формирования семян, наличия и активности опылителей [7-9]. Размеры семян и их масса также зависят от числа семян в листовке: чем их количество меньше, тем они крупнее [5-7].

Семенная продуктивность растений определяется следующими показателями: доля генеративных побегов, число листовок в щитке генеративного побега с женским типом цветков и возраст растения [7]. Из литературных источников известно, что неблагоприятные метеорологические условия в период плодоношения (пониженные температуры при высокой относительной влажности воздуха) оказывают отрицательное влияние на посевные качества семян [7; 8].

Интродукционные исследования, включающие фенологические наблюдения и исследования семенной продуктивности, ведутся во многих регионах РФ [9-12]. В условиях Московской области исследования семенной продуктивности проводились без учета неблагоприятных погодных факторов [13].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись растения родиолы розовой из биоколлекции Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР), в Москве. Происхождение растений: Алтай. Культивируется с 1980 г. Исследования включали полевые и лабораторные опыты, которые проводились в 2016-2019 гг. согласно методикам, принятым в лекарственном растениеводстве [14-16].

Почва участка тяжёлая суглинистая: гумус (по Тюрину) – 2,23%, массовая доля азота нитратов – <2,80 млн$^{-1}$, массовая доля соединений фосфора (по Кирсанову) P_2O_5 – 386,28 млн$^{-1}$, сумма поглощенных оснований (по Каппену) – 6,3 ммоль/100 г, pH солевой – 5,15.

Семена родиолы розовой стратифицировались при температуре 0-2°С в течении 40 суток. После проведения стратификации проводился посев семян в условиях защищенного грунта в почвосмесь: почва+песок+торфосмесь в соотношении 1:1:1. Рассада родиолы выращивалась в условиях защищенного грунта в 2015 г. согласно принятым методикам [16].

Весной осуществлялась пересадка растений родиолы розовой (возраст рассады – 1 год) в поле с расстоянием между растениями 30 см при ширине междурядий 60 см. Таким образом, на 1 м² находится по 6 растений родиолы.

При проведении полевых опытов размещение делянок было рендомизированным. Повторность 4-кратная, площадь опытной делянки составляла 24 м². Биометрические показатели определяли в соответствии с методиками, разработанными в ВИЛАРе [17]. Урожайность семян пересчитывали на 1 м^2. Фенологические наблюдения за растениями в опыте проводили по методике И.Н. Бейдеман [18; 19] – систематически отмечали даты начала и массового наступления основных фенологических фаз. Семенную продуктивность оценивали по общепринятым методикам [20]. Определение посевных качеств семян проводили по ГОСТ 34221-2017, статистическую обработку данных – по В.Е. Ещенко [14; 21].

При изучении показателей посевного качества семян родиолы использовались семена растений IV года жизни в связи с недостаточным количеством семян растений II и III года жизни для закладки лабораторных опытов. Размеры семян определялись их линейными измерениями: крупные – длина 1,8-2,2 мм, ширина 0,3-0,4 мм; мелкие семена – длина 1,0-1,7 мм, ширина 0,1-0,2мм.

Погодные условия в Московской области в период проведения исследования уточняли на интернет-ресурсе [22]. Они представлены на рисунках 1 и 2.

Температура воздуха в вегетационные периоды 2016 и 2018 гг. различалась в пределах 2-3°С (рис. 1). В то же время, в 2016 году выпало значительное количество осадков (на 44% выше нормы), особенно в период созревания семян (рис. 2). В 2017 году температура воздуха в течение вегетационного периода в среднем была ниже нормы на 1,3-3,4°С. Осадков выпало выше нормы на 68-75 мм.

Температура в начале вегетации в 2019 г. (май, июнь) составила 16,3-19,6°С. Норма осадков не превысила среднемесячную для этого периода: 55-67 мм. Средняя температура месяца июля по данным наблюдений была 16,8°С, выпало 71 мм осадков. Температура августа составила 16,4°С, выпало 58 мм осадков. Температура сентября по данным наблюдений была 12,3°С, сумма выпавших осадков – 29 мм, что составляет всего 42% от нормы.

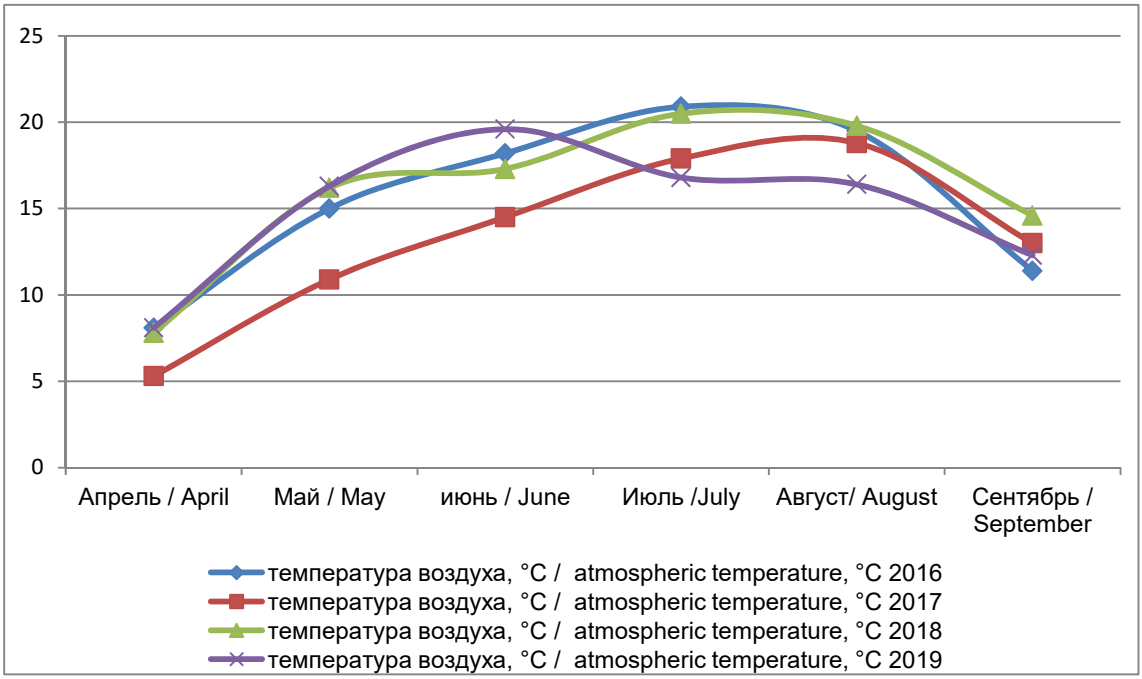


Рисунок 1. Температура воздуха за период вегетации 2016-2019 гг.
Figure 1. Atmospheric temperature during the growing season 2016-2019

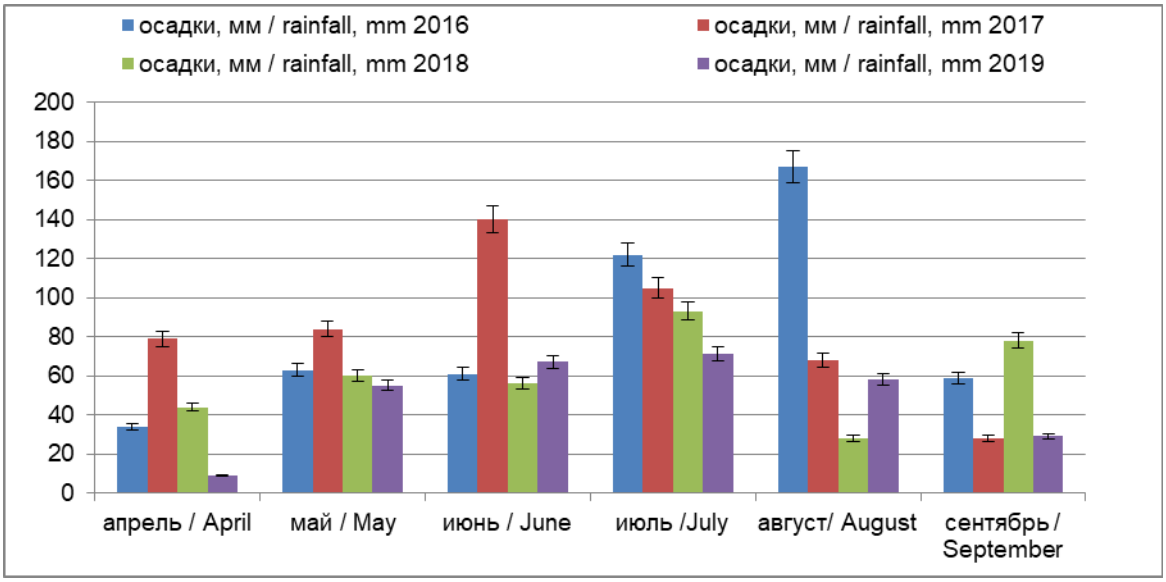


Рисунок 2. Сумма выпавших осадков за период вегетации 2016-2019 гг.
Figure 2. Amount of rainfall during the growing season 2016-2019

В период созревания семян (вторая декада июля) в 2016 году наблюдалось выпадение осадков на 43% выше нормы (121 мм). Этот показатель также превышает остальные данные по осадкам в июле в 2016-2019 гг. В 2017 и 2019 гг. погодные условия июля также отличаются пониженными температурами воздуха: 16,8-17,9°С. Эти показатели ниже среднемесячных на 1,3-2,4°С.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Весеннее отрастание надземных побегов родиолы розовой происходило преимущественно в III декаде апреля, через 15-22 сутки (4-18 мая) – массовая бутонизация; во II-III декаде мая (9-23 мая) – массовое цветение. Начало созревания семян растений родиолы начиналось в третьей декаде июня, в отдельные годы – в начале июля (табл. 1).

В ходе наблюдений за развитием растений родиолы розовой третьего и четвертого года жизни отмечено, что в 2019 г. начало весеннего отрастания началось на 5 суток раньше, чем в предыдущие годы наблюдений. Продолжительность вегетации составляла для растений второго года жизни 130-147 суток, для растений третьего года 158-185 суток, у растений

четвертого года жизни – 191-199 суток. При этом фенологическая фаза «плодоношение» отмечена у растений начиная с третьего года жизни. Длина вегетационного периода этих растений удлиняется по сравнению с таковой у растений II года жизни соответственно длительности фенологических фаз «плодоношение» и «созревание семян».

В зависимости от метеорологических условий года наблюдения, изменялась продолжительность фенологических фаз у растений родиолы розовой (табл. 2).

Таблица 1. Даты наступление фенологических фаз у растений родиолы розовой II-IV года жизни в 2016-2019 гг.
Table 1. The dates of onset of phenological phases of golden root plants in the 2nd-4th years of life in 2016-2019

Фенологическая фаза Phenological phase	**Год жизни** Year of life	**Наступление фенофаз, даты** Dates of onset of phenological phases			
		2016	**2017**	**2018**	**2019**
Весеннее отрастание Spring regrowth	II	28.04.	28.04.	29.04.	26.04.
	III	26.04.	25.04.	26.04.	19.04.
	IV	26.04.	25.04.	25.04.	19.04.
Бутонизация Budding	II	15.05.	18.05.	16.05.	10.05.
	III	11.05.	16.05.	13.05.	07.05.
	IV	11.05.	15.05.	11.05.	04.05.
Массовое цветение Mass blossoming	II	18.05.	23.05.	18.05.	14.05.
	III	14.05.	21.05.	15.05.	12.05.
	IV	14.05.	21.05.	14.05.	09.05.
Плодоношение Fruiting	II	25.05.	02.06.	26.05.	22.05.
	III	21.05.	02.06.	23.05.	24.05.
	IV	22.05.	02.06.	25.05.	20.05.
Созревание семян Maturation of seeds	II	-	-	-	-
	III	20.06.	08.07.	20.06.	17.06.
	IV	20.06.	08.07.	21.06.	14.06.
Окончание вегетации End of growing season	II	14.09.	20.09.	18.09.	19.09.
	III	30.09.	12.10.	10.10.	20.10.
	IV	02.11.	06.11.	06.11.	03.11.

Таблица 2. Продолжительность фенологических фаз у растений родиолы розовой II - IV года жизни в 2016-2019 гг.
Table 2. Duration of phenological phases of golden root plants in the 2nd-4th years of life in 2016-2019

Периоды Periods	**Год жизни** Year of life	**Длительность фенофаз, сутки** Duration of phenological phases, days			
		2016	**2017**	**2018**	**2019**
Весеннее отрастание – Бутонизация Spring regrowth – Budding	II	18	21	18	15
	III	16	22	18	19
	IV	16	21	17	16
Бутонизация – Массовое цветение Budding – Mass blossoming	II	3	5	2	4
	III	3	5	2	5
	IV	3	6	3	5
Массовое цветение – Плодоношение Mass blossoming – Fruiting	II	7	11	8	8
	III	7	9	8	12
	IV	8	9	11	12
Плодоношение – Созревание семян Fruiting – Maturation of seeds	II	0	0	0	0
	III	31	37	29	25
	IV	30	37	28	26
Созревание семян – Окончание вегетации Maturation of seeds – End of the growing season	II	0	0	0	0
	III	24	31	25	24
	IV	28	29	27	28
Окончание вегетации (сумм. длит.) End of the growing season (duration)	II	130	146	143	147
	III	158	171	168	185
	IV	191	196	196	199

Весеннее отрастание у растений II-IV года жизни в среднем отличалось в пределах 2-3 суток. В целом, низкие температуры при прохождении фенологических фаз заметно влияют на их продолжительность. Не зависимо от возраста растений, в 2017 году весеннее отрастание продолжалось на 3-7 суток дольше, чем в этот же период наблюдений в 2016 г. и в 2018 г. В условиях 2010 года весеннее отрастание у растений родиолы II-IV года жизни было на 3-4 суток короче, чем в 2016 г. и в 2018 г., также в 2017 году увеличилась продолжительность периода бутонизации (на 2-3 суток), цветения (на 2-4 суток), плодоношения (до 6 суток). Однако, из-за теплых условий августа, сентября и октября 2019 года вегетационный период растений заметно увеличился (на 4-17 суток для растений II года жизни, до 20 суток для растений III года жизни). Продолжительность вегетационного периода у растений родиолы IV года жизни отличалась по годам меньше всего и составила 191-199 суток.

На рисунке 3 показано изменение состава популяции у растений родиолы розовой II, III и IV года жизни. Молодые растения второго года вегетации имеют преимущественно вегетативные побеги, до 72% от общего числа. На генеративных побегах женских растений семена не завязывались, независимо от условий года наблюдения.

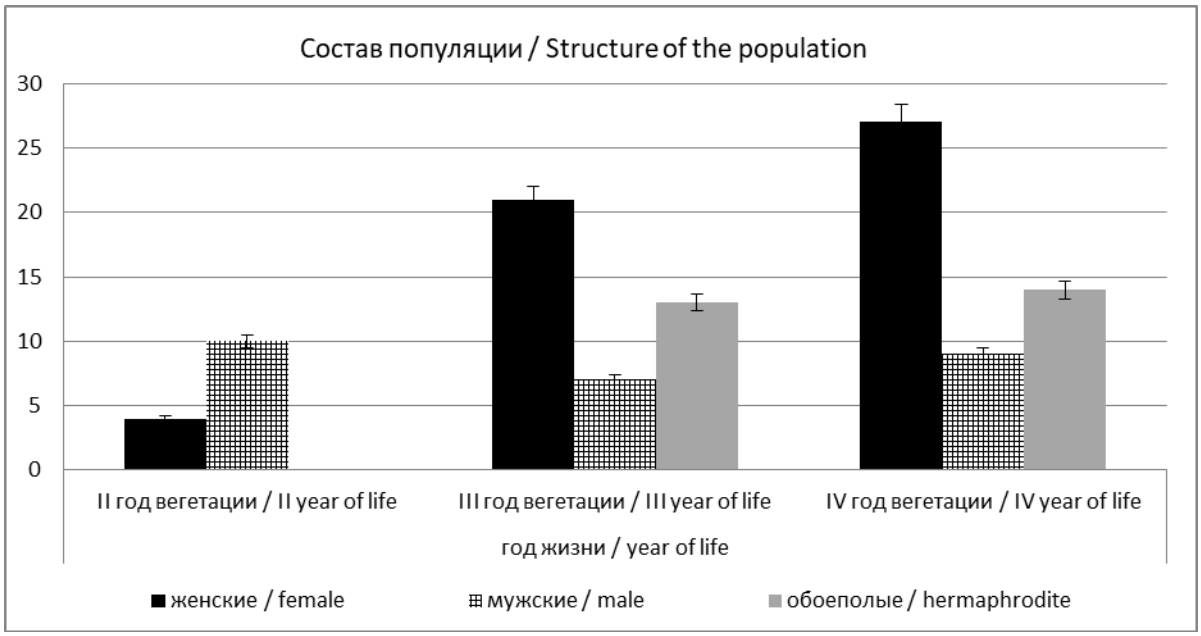


Рисунок 3. Изменение состава популяции у растений родиолы розовой II, III и IV года жизни в 2016-2019 гг.
Figure 3. Modification in population composition of golden root plants in the 2nd, 3rd and 4th years of life in 2016-2019

По мере увеличения возраста популяции доля растений с генеративными побегами постепенно увеличивается. Так, у растений III года жизни доля растений, имеющих только вегетативные побеги, сокращается до 18%. А среди растений родиолы IV года жизни выявлены преимущественно генеративные побеги с женскими цветками (до 54%).

Данные по семенной продуктивности женских растений родиолы III и IV года вегетации за 4 года проведения эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3. Семенная продуктивность растений родиолы розовой на побегах женских особей III и IV года жизни в 2016-2019 гг.
Table 3. Seed productivity of golden root plants on shoots of female plants in the 3rd and 4th years of life in 2016-2019

Год наблюдения Year of observation	**Год жизни** Year of life	**Количество** / Quantity		**Доля выполненных семян, %** Proportion with seeds, %	**Масса 1000 шт. семян, мг** Mass of 1000 seeds, mg
		Цветков, шт. Number of flowers, units	**Плодов, шт.** Number of fruits, units		
2016	III	44,6±4,2	38,0±3,5	54,6	123,0±10,2
	IV	49,3±4,4	41,7±4,1	55,0	123,5±10,7
2017	III	42,6±3,8	37,1±3,2	37,2	82,0±7,5
	IV	43,5±4,1	40,5±4,0	38,3	86,1±8,0
2018	III	45,3±4,4	42,4±4,2	56,8	127,0±11,3
	IV	48,6±4,4	44,7±4,0	57,2	128,0±11,8
2019	III	46,6±4,2	40,3±4,8	49,5	114,7±9,6
	IV	49,2±5,0	43,0±4,7	56,2	120,0±9,8

Установлено, что в зависимости от метеорологических условий года семенная продуктивность и качество семян заметно отличались. Так, в период цветения, формирования и созревания семян в 2016 г. среднемесячная температура воздуха составляла 18,2-20,5°С. Среднемесячное количество осадков колебалось от 63 мм (июнь) до 122 мм (июль). В 2018 г. в фазу цветения и начала плодоношения температура воздуха была относительно невысокой и составляла 16,2-17,3°С. Осадки выпадали в количестве 60 мм. В фазу созревания семян (июль) температура повысилась (до 20,5°С), осадков выпало 93 мм [22]. Согласно данным таблицы 2, погодные условия 2016 и 2018 годов способствовали значимому возрастанию массы 1000 шт. семян в среднем на 43,0 мг и увеличению качественных семян на 19,2% по сравнению с наблюдениями 2017 и 2019 гг., характеризующимися неблагоприятным сочетанием погодных условий в течение вегетационного периода, особенно – в период созревания семян. При этом можно отметить, что на число цветков на растении погодные условия за 4 года проведения опыта влияния не оказали. Число цветков на растение колебалось от 42,6 до 49,2 шт. и значимых отличий по годам не обнаружено.

На рисунке 4 показано изменение семенной продуктивности растений родиолы в зависимости от возраста растений в различные годы наблюдений.

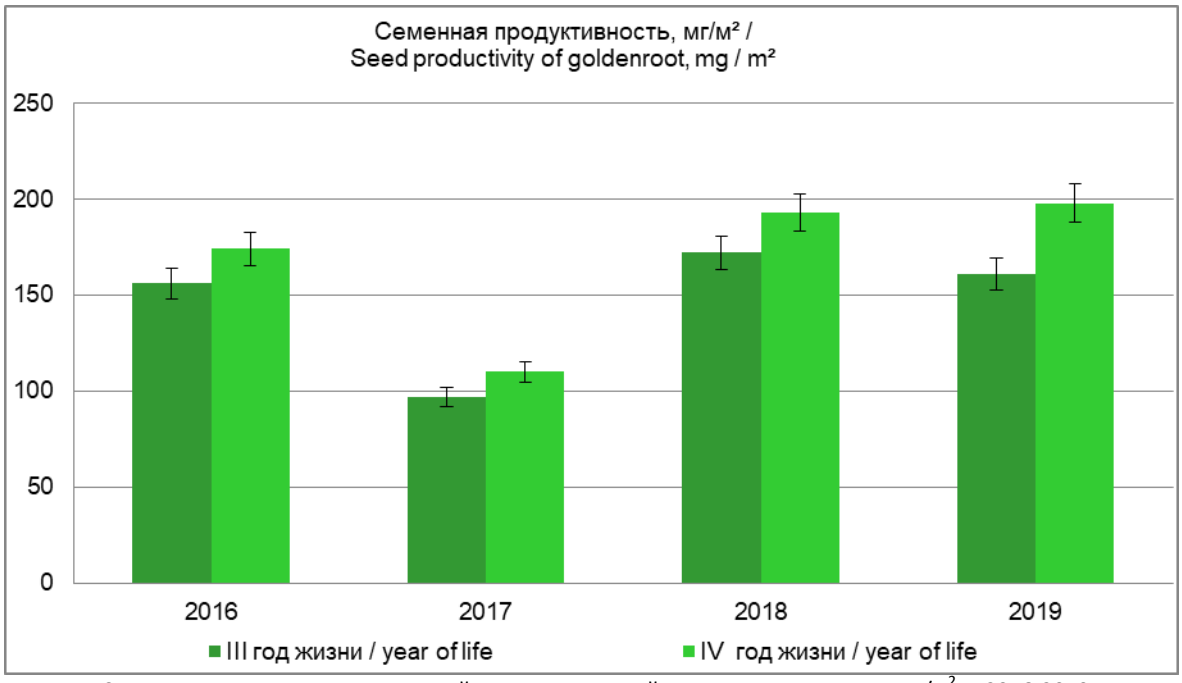


Рисунок 4. Семенная продуктивность растений родиолы розовой III и IV года вегетации, мг/м^2, в 2016-2019 гг.
Figure 4. Seed productivity of golden root plants in the 3rd and 4th years of vegetation, mg/m^2

В ходе исследований, было выявлено, что на семенную продуктивность растений родиолы заметно влияют метеорологические условия сезона наблюдения. Самые низкие показатели продуктивности отмечены в 2017 году, самые высокие – в 2018 и 2019 гг. При этом, продуктивность растений III года жизни в 2018 году была на 6,8% выше, чем в 2019 году. Это может быть связано с жаркими и засушливыми условиями в период начала плодоношения и созревания семян в 2019 году, которые более молодые растения перенесли хуже.

Неблагоприятные условия вегетационного сезона 2017 года оказали заметное отрицательное воздействие. На всхожесть и энергию прорастания как, так и крупных семян. Всхожесть мелких семян понизилась до 12%, а энергия прорастания составляла 28%. У крупных семян эти показатели были соответственно 21% и 36% (рис. 5).

В 2019 году всхожесть мелких семян составляла 60%, энергия прорастания – 72%. У крупных семян, эти показатели были выше, 79% и 80%.

Крупные семена, независимо от условий года сбора, отличались высокой всхожестью и энергией прорастания, возможно благодаря достаточному количеству запасных веществ. Семена, сформировавшиеся в благоприятных условиях, имели энергию прорастания: у крупных семян – до 83% (2016 год), всхожесть – до 82% (2018 год). У мелких семян эти показатели были следующие: энергия прорастания – 72-74%, всхожесть 60-69%.

В целом можно отметить, что всхожесть крупных семян составляла 78-82%, а энергия прорастания – 80-83%. Исключением являлись семена, собранные в 2017 году: у них всхожесть составила 21%, а энергия прорастания – 36%.

Рисунок 5. Показатели всхожести и энергии прорастания разнокачественных семян родиолы розовой IV года жизни, %

Figure 5. Indicators of germination and germination energy of seeds of different quality from golden root in the 4th year of life, %

ВЫВОДЫ

В Центральном районе Нечерноземной зоны РФ в благоприятные по погодным условиям годы основные фенологические фазы у растений родиолы розовой наступали на 2-10 суток раньше, по сравнению с неблагоприятными. Продолжительность вегетации различалась по годам и составляла для растений второго года вегетации 130-147 суток, третьего года вегетации – 158-185 суток, четвертого года вегетации – 191-199 суток.

Благоприятные по метеорологическим характеристикам периоды вегетации способствовали возрастанию массы 1000 шт. семян в среднем на 43 мг, повышению всхожести семян до 82%. Различия качества семян и их продуктивности в зависимости от условий года наблюдения могут свидетельствовать о необходимости проведения мероприятий по адаптации растений к неблагоприятным факторам среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ФС.2.5.0036.15. Государственная фармакопея РФ. XIV издание. Т. 5. URL: http://femb.ru/femb/pharmacopea.php (дата обращения: 15.09.2019)
2. Chiang H., Chen H., Wu C., Wena K. *Rhodiola* plants: chemistry and biological activity // Journal of Food and Drug Analysis. 2015. V 23. Iss. 3. P. 359-369. DOI: 10.1016/j.jfda.2015.04.007
3. Родиолы экстракт жидкий. URL: https://zdravmedinform.ru/grls/reg-r-n003830-01.html (дата обращения: 11.03.2019)
4. Савченко О.М. Эффективность обработки корнеобразователями посадочного материала родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) // Агрохимический вестник. 2018. N 3. С. 56-60. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10014
5. Бачаров Д.С., Атландирова О.А., Далькэ И.В., Володин В.В. Способы повышения всхожести семян *Rhodiola rosea* (*Crassulaceae*) // Растительные ресурсы. 2008. Т. 44. N 2. С. 16-22.
6. Бачаров Д.С., Тарбаева В.М., Далькэ И.В., Головко Т.К. Морфолого-анатомические и физиологические особенности семян *Rhodiola rosea* L. (*Crassulaceae*) // Ботанический журнал. 2004. Т. 89. N 4. С. 625-631.
7. Фролов Ю.М., Полетаева И.И. Родиола розовая на Европейском Северо-Востоке. Екатеринбург: РАН. Урал. отд-ние. Коми науч. центр. Ин-т биологии, 1998. 192 с.
8. Нухимовский Е.Л. Начальные этапы биоморфогенеза *Rhodiola rosea* L., выращиваемой в Московской области // Растительные ресурсы. 1976. Т. 12. N 3. С. 348-355.
9. Ким Е.Ф. Опыт выращивания родиолы розовой в низкогорьях Алтая // Растительные ресурсы. 1976. Т. 12. С. 583-590.
10. Астафьев М.В., Саксонов С.В. Эколого-морфологическое изучение родиолы розовой, произрастающей в Самарской области // Бюллетень Самарская Лука. 2007. Т. 16. N 1-2 (19-20). С. 283-288.
11. Иванова Н.С. Интродукция *Rhodiola rosea* L. в Центральной Якутии // Научный журнал КубГАУ. 2015. N 114 (10). URL: http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/ (дата обращения: 02.09.2019)
12. Шарыгина Ю.М. Опыт выращивания родиолы розовой в ботаническом саду Марийского государственного технического университета // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2004. N 1. С. 14-19.
13. Загуменников В.Б., Нухимовский Е.Л., Климахин Г.И. Возделывание родиолы розовой // Генет. ресурсы лекарств. и аромат. растений. М.: ВИЛАР, 2001. С. 338-339.
14. Ещенко В.Е., Трифонова М.Ф., Копытько П.Г. Основы опытного дела в растениеводстве. М.: Колос, 2009. 268 с.
15. Проведение полевых опытов с лекарственными культурами / Под ред. Хотина А.А. Лекарственное растениеводство: Обзорная информация. М.: ЦБНТИмедпром, 1981. Вып. 1. 55 с.
16. Проведение вегетационных опытов с лекарственными культурами / Под ред. Калымковой

Т.В. Лекарственное растениеводство: Обзорная информация. М.: ЦБНТИмедпром, 1981. N 2. 60 с.
17. Майсурадзе Н.И., Киселев В.П., Черкасов О.А. Методика исследований при интродукции лекарственных растений // Лекарственное растениеводство: Обзорная информация. М.: ЦБНТИмедпром, 1984. N 3. 32 с.
18. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений в растительных сообществах. Методические указания. Новосибирск: Наука СО, 1974. 154 с.
19. Бейдеман И.Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. М., 1954. 128 с.
20. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. 1974. Т. 59. N 6. С. 826-831.
21. ГОСТ 34221-2017 «Семена лекарственных и ароматических культур. Сортовые и посевные качества. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2020. 23 с.
22. Климатический монитор г. Москва. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php (дата обращения: 19.08.2019)

REFERENCES

1.Pharmacopoeia article 2.5.0036.15. In: *Gosudarstvennaya Farmakopeya Rossiiskoi federatsii* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. 2018. XIV ed., vol. 5. Available at: http://femb.ru/femb/pharmacopea.php (accessed 15.09.2019)
2.Chiang H., Chen H., Wu C., Wena K. *Rhodiola* plants: chemistry and biological activity. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2015, vol 23, iss. 3, pp. 359-369. DOI: 10.1016/j.jfda.2015.04.007
3.*Rodioly ekstrakt zhidkii* [Rhodiola extract liquid]. Available at: https://zdravmedinform.ru/grls/reg-r-n003830-01.html (accessed 11.03.2019)
4.Savchenko O. M. The efficiency of processing by root formers the planting material of the Roseroot (*Rhodiola rosea* L.) *Agrochemical Herald*, 2018, no. 3, pp. 56-60. (In Russian) DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10014
5.Bacharov D.S., Atlandirova O.A., Dalke I.V., Volodin V.V. Methods of increasing *Rhodiola Rosea (Crassulaceae*) seeds germination. Rastitel'nye resursy [Plant resources]. 2008, vol. 44, no. 2, pp. 16-22. (In Russian)
6.Bacharov D.S., Tarbaeva V.M., Dalke I.V., Golovko T.K. Morphological, anatomical and physiological characteristics of *Rhodiola rosea* L. (*Crassulaceae*) seeds. Botanicheskii zhurnal [Botanical journal]. 2004, vol. 89, no. 4, pp. 625-631. (In Russian)
7.Frolov Yu.M., Poletaeva I.I. *Rodiola rozovaya na Evropeiskom Severo-Vostoke* [*Rhodiola rosea* in the European northeast]. Ekaterinburg, 1998, 192 p. (In Russian)
8.Nukhimovskii E.L.The primary phases of biomorphogenesis by *Rhodiola rosea* L. grown in the Moscow region. Rastitel'nye resursy [Plant resources]. 1976, vol. 12, no. 3, pp. 348-355. (In Russian)
9.Kim E.F. The experience of growing *Rhodiola rosea* in the Altai lowlands. Rastitel'nye resursy [Plant resources]. 1976, vol. 12, pp. 583-590. (In Russian)
10. Astaf'ev M.V., Saksonov S.V. Ecological and morphological study of *Rhodiola rosea* growing in the Samara region. Byulleten' Samarskaya Luka [Bulletin Samarskaya Luka] 2007, vol. 16, no. 1-2 (19-20), pp. 283-288. (In Russian)
11. Ivanova N.S. [Introduction of *Rhodiola rosea* L. in Central Yakutia]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2015, no. 114 (10). Available at: http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/ (accessed 02.09.2019) (In Russian)
12. Sharygina Yu.M. Experience of growing *Rhodiola rosea* in the botanic garden of Mari state technical university. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal [Russian Forestry Journal]. 2004, no. 1, pp. 14-19. (In Russian)
13. Zagumennikov V.B., Nukhimovskii E.L., Klimakhin G.I. [Cultivation of *Rhodiola rosea*]. In: *Geneticheskie resursy lekarstvennykh i aromaticheskikh rastenii* [Genetic resources of medicinal and aromatic plants]. Moscow, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants Publ., 2001, pp. 338-339. (In Russian)
14. Eshchenko V.E., Trifonova M.F., Kopyt'ko P.G. *Osnovy opytnogo dela v rastenievodstve* [Basics of experimental business in crop production]. Moscow, Kolos Publ., 2009, 268 p. (In Russian)
15. Hotin A.A., ed. [Conducting field experiments with medicinal crops]. In: *Lekarstvennoe rastenievodstvo: Obzornaya informatsiya* [Medicinal Plant Industry: Overview]. Moscow, CBNTImedprom Publ., 1981, vol. 1, 55 p. (In Russian)
16. Kalymkova T.V., ed. [Conduct growing experiments with a medicinal cultures] In: *Lekarstvennoe rastenievodstvo: Obzornaya informatsiya* [Medicinal Plant Industry: Overview]. Moscow, CBNTImedprom Publ., 1981, vol. 2, 60 p. (In Russian)
17. Maisuradze N.I., Kiselev V.P., Cherkasov O.A. [Research methods for the introduction of medicinal plants]. In: *Lekarstvennoe rastenievodstvo: Obzornaya informatsiya* [Medicinal Plant Industry: Overview]. Moscow, CBNTImedprom Publ., 1984, vol. 3, 32 p. (In Russian)
18. Beideman I.N. *Metodika izucheniya fenologii rastenii v rastitel'nykh soobshchestvakh. Metodicheskie ukazaniya* [The method of study of phenology of plants in plant communities. Methodical instructions]. Novosibirsk, Nauka SB Publ., 1974, 154 p. (In Russian)
19. Beideman I.N. *Metodika fenologicheskikh nablyudenii pri geobotanicheskikh issledovaniyakh* [Methods of phenological observations in geobotanical studies]. Moscow, 1954, 128 p. (In Russian)
20. Vainagii I. V. About the methods of study the seed productivity of plants. Botanicheskii zhurnal [Botanical journal]. 1974, vol. 59, no. 6, pp. 826-831. (In Russian)
21. *GOST 34221-2017 «Semena lekarstvennykh i aromaticheskikh kul'tur. Sortovye i posevnye kachestva. Tekhnicheskie usloviya»* [Instead of GOST R 51096-97 “Seeds of medicinal and aromatic cultures. Varietal and sowing qualities. Technical conditions”]. Moscow, Standartinform Publ., 2020, 23 p. (In Russian)
22. *Klimaticheskii monitor g. Moskva* [Climate monitor of Moscow]. Available at: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php (accessed 19.08.2019)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга М. Савченко проводила полевые опыты, изучала фенологию, вместе с Еленой Ю. Бабаевой ежегодно собирали семенной материал. Ольга М. Савченко и Елена Ю. Бабаева проанализировали данные, в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga M. Savchenko conducted field experiments and studied phenology and together with Elena Yu. Babaeva annually collected seed material. Olga M. Savchenko and Elena Yu. Babaeva analysed the data, 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

Ольга М. Савченко / Olga M. Savchenko https://orcid.org/0000-0002-3054-1719
Елена Ю. Бабаева / Elena Yu. Babaeva https://orcid.org/0000-0002-4992-6926

Оригинальная статья / Original article
УДК 582.736:581.22+581.9
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-36-44

Динамика накопления аскорбиновой кислоты в надземной фитомассе *Galega orientalis* Lam.

Инесса В. Кравченко[1], Екатерина А. Моисеева[1], Марина В. Устинова[1], Людмила Ф. Шепелева[2]
[1]Сургутский государственный университет, Сургут, Россия
[2]Томский государственный университет, Томск, Россия

Контактное лицо
Инесса В. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сургутский государственный университет; 628400 Россия, г. Сургут, пр. Ленина, 1.
Тел. +79527067657
Email kravinessa@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-5050-6622

Формат цитирования
Кравченко И.В., Моисеева Е.А., Устинова М.В., Шепелева Л.Ф. Динамика накопления аскорбиновой кислоты в надземной фитомассе *Galega orientalis* Lam. // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 36-44. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-36-44

Получена 6 марта 2020 г.
Прошла рецензирование 5 августа 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Провести анализ закономерностей содержания аскорбиновой кислоты в зелёной массе галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.), сорт Гале, возделываемого в условиях интродукции с целью разработки эффективного метода увеличения кормовой продукции.

Материал и методы. Рассматривалось влияние следующих факторов на накопление аскорбиновой кислоты в растениях: предпосевная подготовка семян, наличие покровной культуры (гороха), условия возделывания, метеорологические факторы и биологический возраст травостоя за трёхлетний период.

Результаты. Установлено, что растительная масса *Galega orientalis* Lam. является источником аскорбиновой кислоты после вступления растений в генеративную фазу развития с преимущественной локализацией витамина в листьях (96%). Выявлены закономерности накопления аскорбиновой кислоты в зелёной фитомассе *Galega orientalis* Lam. в зависимости от среднесуточной температуры вегетационного периода (r= -0,69) и удельной листовой поверхности (r= -0,83-0,88).

Заключение. Полученные данные также свидетельствуют о статистически значимом положительном влиянии микробиологического удобрения Байкал-ЭМ1, используемого для инокуляции семян в период подготовки к посеву, и отрицательном воздействии покровной культуры на накопление аскорбиновой кислоты в растительной массе *Galega orientalis* Lam. в его виргинильный и генеративный периоды развития.

Ключевые слова
Galega orientalis Lam., сорт Гале, галега восточная, аскорбиновая кислота, Байкал-ЭМ1, кормовые растения, интродукция.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Dynamics of ascorbic acid accumulation in the aboveground phytomass of *Galega orientalis* Lam.

Inessa V. Kravchenko[1], Ekaterina A. Moiseeva[1], Marina V. Ustinova[1] and Lyudmila F. Shepeleva[2]
[1]Surgut State University, Surgut, Russia
[2]Tomsk State University, Tomsk, Russia

Principal contact
Inessa V. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Surgut State University; 1 Lenin Ave., Surgut, Russia 628400.
Тел. +79527067657
Email kravinessa@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-5050-6622

How to cite this article
Kravchenko I.V., Moiseeva E.A., Ustinova M.V., Shepeleva L.F. Dynamics of ascorbic acid accumulation in the aboveground phytomass of *Galega orientalis* Lam. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 36-44. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-36-44

Received 6 March 2020
Revised 5 August 2020
Accepted 21 September 2020

Abstract
Aim. To analyse the patterns of ascorbic acid content in the green mass of *Galega orientalis* (*Galega orientalis* Lam.), Gale variety, cultivated under introductory conditions to develop an effective method for increasing feed production.
Material and Methods. The influence of the following factors on the accumulation of ascorbic acid in plants was considered: pre-sowing seed preparation, the presence of a cover crop (pea), cultivation conditions, meteorological factors and the biological age of the grass stand over a three-year period.
Results. It was established that the plant mass of *Galega orientalis* is a source of ascorbic acid after plants enter the generative phase of development with predominant localization of vitamins in the leaves (96%). Patterns were revealed of ascorbic acid accumulation in the green phytomass of *Galega orientalis* depending on average daily temperature during the vegetation period (r = -0.69) and specific leaf surface (r = -0.83-0.88).
Conclusion. The data obtained also indicate a statistically significant positive effect of using Baikal-EM1 microbiological fertilizer for seed inoculation during preparation for sowing, and a negative effect of the cover crop on the accumulation of ascorbic acid in the plant mass of *Galega orientalis* in its virginal and generative periods of development.

Key Words
Galega orientalis Lam., Gale variety, eastern Galega, ascorbic acid, Baikal-EM1, forage plants, introduction.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Галега восточная (*Galega orientalis* Lam.) является довольно перспективным объектом современных исследований и характеризуется высокой продуктивностью [1], лёгкостью получения семян, хорошими медоносными и отличными кормовыми качествами [2]. Кроме того, в литературе отмечены фиторемедиационные свойства *Galega orientalis* по отношению к нефтяным поллютантам, что связано со способностью к азотфиксации и особой микрофлорой ризосферы этого вида растений [3]. Как показали предыдущие исследования, *Galega orientalis* имеет большой потенциал и высокие адаптивные возможности для выращивания в условиях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [3] и Заполярья [4].

Одним из показателей успешности интродукции растений в северных условиях может служить показатель содержания аскорбиновой кислоты (АК), являющейся неферментативным антиоксидантом, способствующим удалению активных форм кислорода и формированию стрессоустойчивости растений [5]. Имеются данные о влиянии АК на повышение выживаемости молодых растений и диазотрофной эффективности азотфиксирующих растений в условиях стресса [6]. В современных генетических исследованиях показано положительное влияние АК и ферментов системы АК на холодоустойчивость [7] и морозостойкость растений [8]. Аскорбиновая кислота, благодаря её способности обратимо окисляться и восстанавливаться, входит в антиоксидантную систему защиты растений. Показано, что введение экзогенной АК в опыте с токсическим действием тяжёлых металлов (Pb), уменьшало окислительное повреждение за счет усиления активности антиоксидантных ферментов, подавляло действие малонового диальдегида и перекиси, способствовало улучшению ростовых характеристик и замедляло деградацию хлорофилла [9]. Однако, некоторые исследователи указывают на возможное ингибирующее действие высоких концентраций экзогенной АК [10].

На динамику образования витамина С в растениях большое влияние оказывает рост и развитие самого растения. В целом можно сказать, что ход накопления витамина С в растениях определяется многими одновременно идущими процессами.

Как известно, полноценность корма для животных характеризуется наличием не только белков, жиров и углеводов, но и содержанием в нем витаминов. Растения рода *Galega* характеризуются полноценными кормовыми качествами, и содержит в своём составе значительные количества белков, флавоноидов, витаминов, фенольных соединений, микроэлементов (Mn, Cu, Se) [11; 12].

Аскорбиновая кислота, благодаря ее способности обратимо окисляться и восстанавливаться, входит в антиоксидантную систему защиты растений, предохраняя клетки от активных форм кислорода, образующихся в результате окислительного стресса [13]. Поэтому, особый интерес при исследовании степени адаптации *Galega orientalis* при введении его в культуру вызывает изучение его системы аскорбиновой кислоты как антистрессового фактора растения.

Цель: провести анализ закономерностей содержания аскорбиновой кислоты в зелёной массе *Galega orientalis,* возделываемого в условиях интродукции с целью разработки эффективного метода увеличения кормовой продукции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужила галега восточная (*Galega orientalis*) сорта Гале. Этот сорт выведен во Всесоюзном НИИ кормов им. В.Р. Вильямса и Эстонском НИИ земледелия и мелиорации массовым отбором из естественной флоры и интродукцией диких популяций. В «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» включен в 1998 по всем регионам Российской Федерации. Семена приобретены в ООО АФ «Семена Приобья» в Новосибирской области, г. Новосибирск, категории РС1 (1 репродукция) в 2013 году.

Изучали динамику накопления АК в её листьях и стеблях в зависимости от предпосевной подготовки семян и покровной культуры, условий возделывания, метеорологических факторов, возраста травостоя.

Влияние указанных факторов на накопление АК у растений *Galega orientalis* изучались на территории опытной площадки Сургутского района, Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (п. Барсово) в течение трех лет (2013-2015 гг.) Территория опытной площадки характеризуется прохладным климатом со значительным увлажнением и песчаной подзолистой окультуренной почвой.

Опыт был заложен по методике Б.А. Доспехова [14], площадь учетной делянки составляла 0,25 м^2, со случайным размещением вариантов.

Схема опыта:

1. Посев неинокулированных семян (Контроль);
2. Посев инокулированных Байкалом-ЭМ1 семян;
3. Посев неинокулированных семян галеги под покров гороха.

Мелко деляночный полевой опыт закладывался в 4-х кратной повторности методом рендомизированных организованных повторений в два яруса. Площадь учетной делянки 1,5 м^2, Площадь одного варианта 6 м^2. Общая учетная площадь 18 м^2. Исследования проводились в течение 3-х лет (2013-2015 гг.), в 3-х последовательных по времени закладках в 2013, 2014 и 2015 гг.

Скарифицировали и высевали семена вручную. Норма высева 2,8 млн всхожих семян/га. Предпосевную инокуляцию семян микробиологическим удобрением Байкал-ЭМ1 проводили согласно рекомендации по применению препарата. Производитель Байкал-ЭМ1 – республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ООО НПО ЭМ-Центр.

Анализ аскорбиновой кислоты проводили по методу E.J. Hewitt and G.J. Dickes [15] в модификации Г.Н. Чупахиной [16].

Работа выполнена на кафедре биологии и биотехнологии института Естественных и технических наук и в Научно-образовательном центре Сургутского государственного университета.

Исследования проведены при финансовой поддержке Департамента образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа –

Югры в рамках проекта «Технология выращивания и извлечения биологически активных соединений северных ягодных культур и лекарственных трав (ЮграБиоФарм)».

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью пакета программ «Microsoft Office Excel 2016» и пакета программ «STATISTICA 6.0». При статистическом анализе вычисляли среднее арифметическое анализируемых параметров и стандартную ошибку ($X \pm S_x$) [14]. Для определения уровня изменчивости признаков вычисляли коэффициент вариации (V, %). Достоверность различий определяли по критерию существенности различий (*t – критерию Стьюдента*) при числе степеней свободы $n' = (n_1 + n_2)-2 = 4$ и уровне значимости p = 0,05.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате наших исследований установлено, что в надземной части (листья и стебли) *Galega orientalis* содержится витамин С и динамика его накопления зависит от возраста травостоя, варианта опыта и метеорологических условий года возделывания.

Так, в среднем за три года исследований, концентрация аскорбиновой кислоты в растительной массе *Galega orientalis* варьировала от 26,2 до 62,45 мг%.

При сравнении показателя содержания витамина С в растительной массе по годам вегетации *Galega orientalis* выяснили, что характер изменения в накоплении аскорбиновой кислоты в значительной степени определялся возрастом травостоя. Так, к третьему году жизни интродуцента среднее содержание АК возросло в 1,6 раз (59,7 мг%) по сравнению с теми же показателями 1 и 2-го годов *Galega orientalis* (36,8 и 39,2 мг% соответственно). Подобная закономерность отмечается также К.Е. Овчаровым [17] в своих работах. Он установил, что содержание витамина С в растениях увеличивается по мере их роста и развития. Как выяснилось, в условиях интродукции только на третий год своего развития *Galega orientalis* вступил в фазу цветения. Известно, что для формирования соцветий необходимо образование питательных веществ и витаминов. В результате ускоренных биосинтетических процессов, происходящих в листьях, АК накапливается более быстрыми темпами. Данный факт объясняет увеличение концентрации АК в растительной массе *Galega orientalis* 3-го года жизни практически в два раза по сравнению с показателями за 1 и 2-й годы вегетации интродуцента.

Также нами было отмечено, что изучаемые приемы возделывания *Galega orientalis* оказали существенное влияние на увеличение концентрации витамина С в растительной массе интродуцента (табл. 1).

Таблица 1. Содержание аскорбиновой кислоты в растительной массе *Galega orientalis*, сорт Гале, в условиях интродукции (2013-2015 гг.), мг%

Table 1. The content of ascorbic acid in the plant mass of *Galega orientalis*, Gale variety, in conditions of introduction (2013-2015), mg%

Вариант опыта Experimental variant	**Посев неинокулированных семян (Контроль)** Sowing uninoculated seeds (control)					**Посев инокулированных Байкалом-ЭМ1 семян** Sowing seeds inoculated with Baikal-EM1					**Посев неинокулированных семян под покров гороха** Sowing uninoculated seeds under pea cover				
	Листья, Leaves		**Стебли,** Stems		**Всего /** Total	**Листья,** Leaves		**Стебли,** Stems		**Всего** / Total	**Листья,** Leaves		**Стебли,** Stems		**Всего** / Total
Орган Organ	$X \pm S_x$	V, %	$X \pm S_x$	V, %		$X \pm S_x$	V, %	$X \pm S_x$	V, %		$X \pm S_x$	V, %	$X \pm S_x$	V, %	
1 год жизни / 1st year of life															
Посев 2013 Seed 2013	24,1±0,62	7,3	2,1±0,08	11	26,2	25,2±0,46	5,2	1,7±0,04	6,4	26,9	27,04±0,38	4,0	1,7±0,06	10,2	28,74
Посев 2014 Seed 2014	36,4±0,3	2,6	4,6±0,08	5,1	41	43,02±0,5*	2,3	6,9±0,08*	3,5	49,9	42±0,4*	2,8	6±0,11*	5,6	48

Посев 2015 Seed 2015	29±0,5	4,7	1,5±0,15	27,4	30,5	42,2±0,6*	4,1	5,1±0,09*	5,4	47,3	31,1±0,5*	4,4	1,7±0,05	5,6	32,8
2 год жизни / 2nd year of life															
Посев 2013 Seed 2013	40,1±0,05	3,9	3±0,2	19,9	43,1	32,2±0,54*	4,7	2,03±0,37*	24,9	34,23	43,7±0,3*	1,9	1,8±0,06*	10,9	45,5
Посев 2014 Seed 2014	38±0,46	3,4	1,8±0,08	13,3	39,8	29,5±0,62*	5,9	1,5±0,07*	13,4	31	39,7±0,64	4,6	1,6±0,0,5	9,7	41,3
3 год жизни / 3d year of life															
Посев 2013 Seed 2013	61,3±0,37	1,7	1,15±1,12	28,7	62,45	59,3±0,57*	2,7	1,57±0,04*	8,8	60,87	54±1,5*	2,6	1,75±0,05*	8,9	55,75

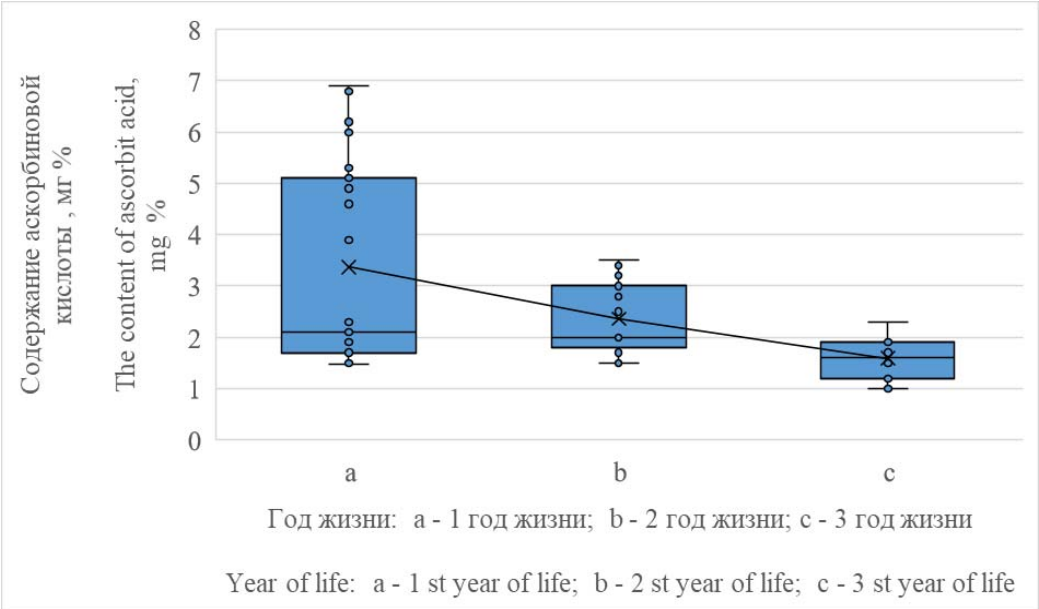
*Примечание: * – достоверность различий показателя содержания аскорбиновой кислоты в опытных и контрольном вариантах (p≤0,05)*
*Note: * – the reliability of the differences in ascorbic acid content in the experimental and control options (p≤0.05)*

Полученные нами данные свидетельствуют о статистически значимом влиянии Байкала-ЭМ1, используемого для инокуляции семян, на накопление витамина С в зелёной массе *Galega orientalis* в его виргинальный период развития. Так, в первый год своего развития концентрация АК в растениях, выращенных из инокулированных семян, увеличилась на 21% (26,9–47,1 ± 3,7 мг%, V = 27,0%) по сравнению с контролем (26,2–43,7 ± 2,4 мг%, V = 22,1%). На второй год своего развития в растениях, выращенных из инокулированных семян, напротив, наблюдалось снижение изучаемого показателя на 21% (30,5–35,8 ± 0,79 мг%, V = 5,9%) по сравнению с контрольными данными (26,2–43,7 ± 2,4 мг%, V = 22,1%). В варианте опыта с бинарным посевом *Galega orientalis* с горохом за два года исследований существенных различий в показателях содержания витамина С в растительной массе по сравнению с результатами контрольных образцов растений, не наблюдалось (26,4–51,4 ± 3,07мг%, V = 25,34% – первый год, 40,2–48,4 ± 0,97 мг%, V = 6,64%- второй год развития). На третий год вегетации *Galega orientalis* концентрация витамина С в растительной массе растений с контрольного варианта опыта и с варианта с применением микробиологического удобрения была идентична и составила 57,4–62,4 ± 0,62 мг%, V = 3,1%. Однако, у растений с третьего варианта опыта, отмечено достоверное снижение содержания аскорбиновой кислоты в растительной массе на 10,7 мг% (55,0–58,4 ± 0,5 мг%, V = 2,8%) по сравнению с контрольными данными (60,4–65,3 ± 0,5 мг%, V = 2,5%).

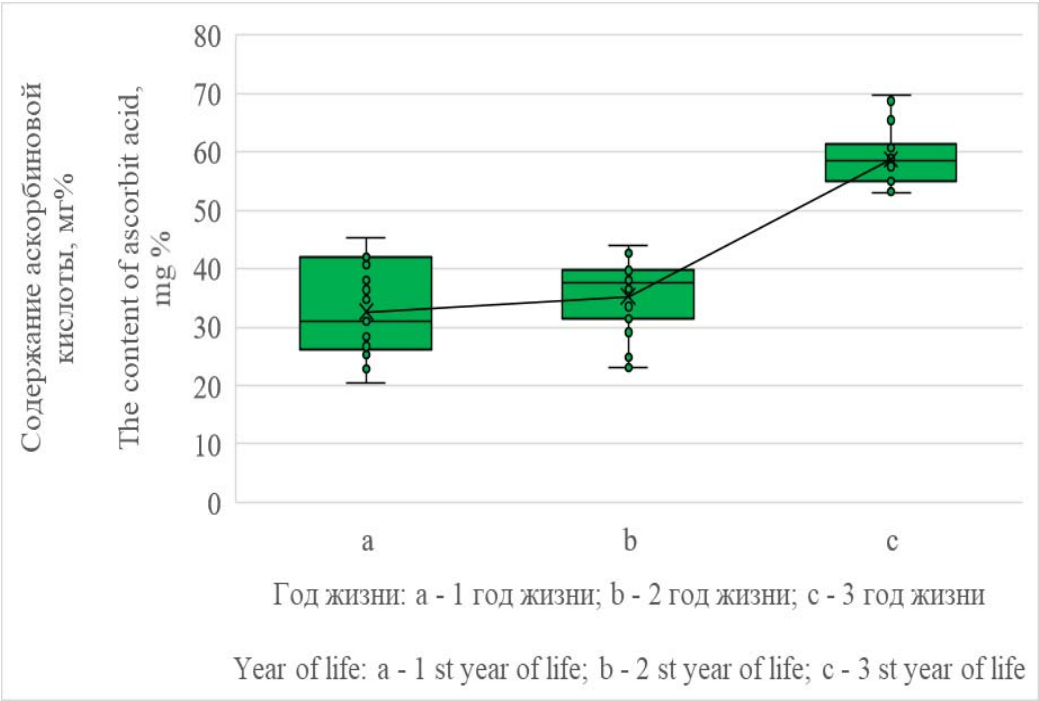
Нами был проведен корреляционный анализ показателей количественного содержания витамина С с удельной листовой поверхностью (УЛПР) *Galega orientalis*. Выявлено наличие высокой отрицательной корреляционной зависимости между АК и УЛПЛ как в первый год исследования (r = - 0,83, r^2 = 0,65, y = 49,77 – 2,46*x), так и на второй год жизни культуры (r = - 0,88, r^2 = 0,77, y = 77,93 – 6,99*x). По-видимому, увеличение освещенности в посевах интродуцента повлекло за собой стрессовое состояние для растений и включение механизмов их защиты, что, в свою очередь, привело к снижению УЛПР и повышению концентрации витамина С в растительной массе *Galega orientalis*. Однако, необходимо отметить, что на третий год вегетации *Galega orientalis* обнаружена очень высокая положительная корреляционная связь между изучаемыми параметрами (r = 0,99, r^2 = 0,98, y = 42,25 + 3,05*x). Как отмечалось нами ранее, снижение УЛПР связано с изреживанием посевов *Galega orientalis*, но за счет роста сорной растительности наблюдалось снижение освещенности культуры и, как следствие этого, снижение содержания витамина С.

Для более полного анализа накопления витамина С в растениях *Galega orientalis* мы изучили содержание АК в надземных органах интродуцента. В ходе исследований нами выявлено, что основным местом локализации витамина являются листья (табл. 1, рис. 1).

Как известно, биосинтез витамина С связан с фотосинтетической деятельностью растения. Исходя из этого, содержание АК различно в разных частях одного и того же растения. Максимальное накопление витамина С приходится на наиболее активные части растений – на листовую пластинку и завязь [18]. Данная закономерность нашла отражение в наших исследованиях.



А



Б

Рисунок 1. Среднее содержание витамина С в надземных органах *Galega orientalis*, сорт Гале, в зависимости от года жизни интродуцента (2013-2015 гг.) мг%:
А – в стеблях, Б – в листовой пластинке

Figure 1. The average content of vitamin C in the aerial organs of *Galega orientalis*, Gale variety, depending on the year of life of the introduced species (2013-2015), (mg %):
A – in the stalk, B – in the leaf blade

В среднем, за годы исследований в листьях *Galega orientalis* локализуется до 96% витамина С от общего содержания в растительной массе. На долю стеблей приходится всего 4%. При этом, с увеличением возраста травостоя, наблюдается снижение концентрации АК в стебле и отток ее в листья (рис. 1). Концентрация витамина С в листовой пластинке растений 1-го года жизни варьировала в пределах 33,3 ± 2,02 мг% (V=10,5%) и достоверно возрастала (p≤0,05) со второго года вегетации с 37,2 ± 3,3 мг% (V=15,1%) до 58,2 ± 2,1 мг% (V=6,5%) у растений 3-го года. В динамике накопления аскорбиновой кислоты в стеблях соответственно отмечена обратная тенденция. Содержание АК в зависимости от возраста интродуцента достоверно (p≤0,05) снижалось с 3,4 ± 0,6 мг% (V=28,9%) до 1,9 ± 0,2 мг% (V=19,3%) и 1,5 ± 0,2 мг% (V=20,7%) (1, 2-й и 3-й года жизни, соответственно).

Исследования многих авторов доказывают, что на содержание витамина С большое влияние оказывают условия произрастания растения. В

частности, установлено, что растения, произрастающие в южных и долинных районах, накапливают аскорбиновой кислоты меньше чем растения, произрастающие в северных и горных районах. Данную закономерность связывают с благоприятным действием низких температур на усиление биосинтеза витамина С и, как следствие этого, повышение устойчивости растений к воздействию пониженных температур. Подобная закономерность нашла отражение и в нашей работе. С понижением среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период на 1,1°С в 2014 году по сравнению с данными за 2013 и 2015 гг., отмечено увеличение содержания витамина С в растительной массе *Galega orientalis* (рис. 2).

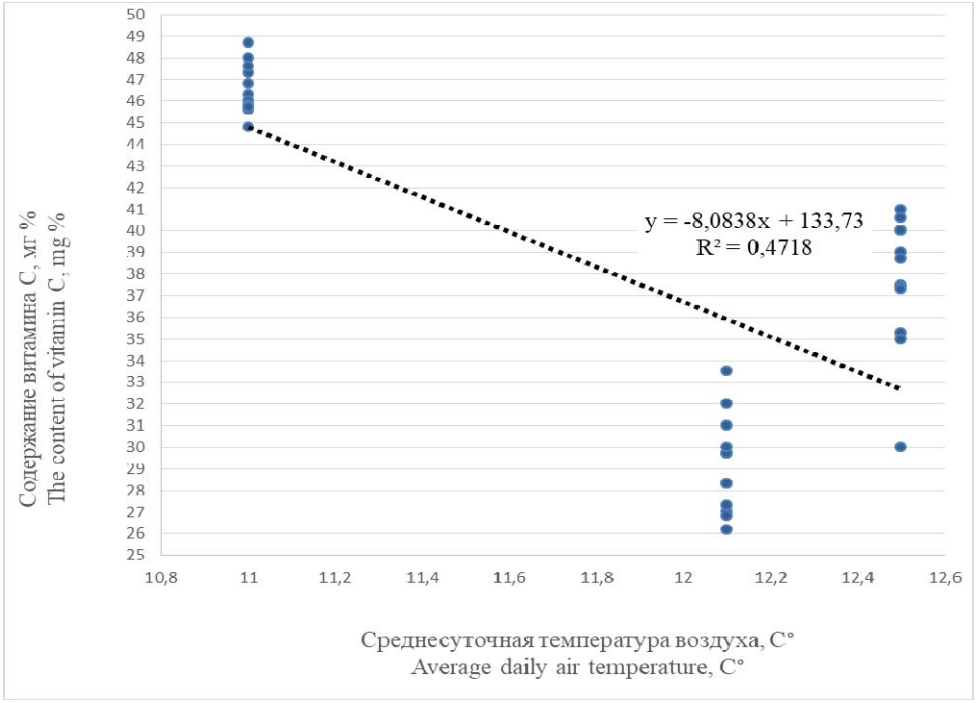


Рисунок 2. Содержание витамина С в растительном сырье *Galega orientalis*, сорт Гале, 1-го года вегетации в зависимости от среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период
Figure 2. Vitamin C content in plant raw materials of *Galega orientalis*, Gale variety, in the 1st year of vegetation, depending on average daily air temperature during the vegetation season

В результате исследований нами установлена высокая обратная корреляционная связь между содержанием витамина С в растительной массе *Galega orientalis* и среднесуточной температурой воздуха за вегетационный период (r = -0,69). Уравнение регрессии имеет следующий вид: Y = 13,92 – 0,06*x, где Y – концентрация витамина С (в диапазоне 26,2 – 48,7 мг%); x – среднесуточная температура воздуха (в интервале 11–12,5°С). Коэффициент корреляции составил -0,69, коэффициент детерминации = 0,47, уравнение парной линейной регрессии: y = 13,92 – 0,06*x. Наши выводы также подтверждаются работами А.Д. Егорова [18] и Г.В. Читановой [19], которые установили, что накопление витамина С интенсивнее происходит при пониженных температурах, а увеличение содержания АК в растениях является приспособительной реакцией.

ВЫВОДЫ

В результате наших исследований установлено, что основная локализация концентрации АК приходится на листовую пластинку растений и зависит от возраста возделывания козлятника восточного и среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период. Содержание витамина С в растении можно рассматривать как неспецифическую реакцию в механизме защиты растений на этапе адаптации в новых условиях. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования по динамике накопления АК в онтогенезе интродуцента. Проведённые исследования расширяют представления об адаптационных возможностях козлятника восточного при интродукции в северных условиях произрастания, выявлении оптимальных условий выращивания этого вида растений. Полученные данные могут быть использованы для оценки успешности интродукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вагунин Д.А., Капсамун А.Д., Иванова Н.Н. Агрофитоценозы козлятника восточного сенокосного использования на основе новых перспективных сортов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Ч. 5. N 6 (48). С. 165-167. DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.091
2. Шайкова Т.В., Баева В.С. Технологические особенности возделывания перспективных сортообразцов козлятника восточного селекции Псковского НИИСХ // АгроЭкоИнженерия. 2017. Вып. 93. С. 89-94.
3. Моисеева Е.А., Бордей Р.Х. Эколого-биологическая оценка козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) как перспективной культуры для интродукции в

условиях г. Сургута // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. N 10. С. 140-147.
4. Михайлова И.В., Ахтулова Е.М. Перспективы возделывания козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) в условиях Кольского полуострова // Агрохимия. 2013. N 7. С. 49-55.
5. Wang J., Huang R. Modulation of ethylene and ascorbic acid on reactive oxygen species scavenging in plant salt response // Frontiers in plant science. 2019. V. 10. N 319. DOI: 10.3389/fpls.2019.00319
6. Kumar U., Kaviraj M., Panneerselvam P., Priya H., Chakraborty K., Swain P., Chatterjee S.N., Sharma S.G., Nayak P.K., Nayak A.K. Ascorbic acid formulation for survivability and diazotrophic efficacy of azotobacter chroococcum Avi2 (MCC 3432) under hydrogen peroxide stress and its role in plant-growth promotion in rice (*Oryza sativa* L.) // Plant physiology and biochemistry. 2019. V. 139. P. 419-427. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.04.003
7. Xing C.H., Liu Y., Zhao L.Y., Zhang S.L., Huang X.S. A novel MYB transcription factor regulates ascorbic acid synthesis and affects cold tolerance // Plant, cell and environment. 2019. V. 42. Iss. 3. P. 832-845. DOI: 10.1111/pce.13387
8. Janmohammadi M., Sabaghnia N., Mahfoozi S. Frost tolerance and metabolite changes of rye (*Secale cereale*) during the cold hardening and overwintering // Acta physiologiae plantarum. 2018. V. 40. Iss. 3. Article number 42. DOI: 10.1007/s11738-018-2620-0
9. Alamri S.A., Siddiqui M.H., Al-Khaishany M.YY., Khan M.N., Ali H.M., Alaraidh I.A., Alsahli A.A., Al-Rabiah H., Mateen M. Ascorbic acid improves the tolerance of wheat plants to lead toxicity // Journal of plant interactions. 2018. V. 13. Iss. 1. P. 409-419. DOI: 10.1080/17429145.2018.1491067
10. Heidari-Zefreh A.A., Shariatpanahi M.E., Mousavi A., Kalatejari S. Enhancement of microspore embryogenesis induction and plantlet regeneration of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) using putrescine and ascorbic acid // Protoplasma. 2019. V. 256. Iss. 1. P. 13-24. DOI: 10.1007/s00709-018-1268-3
11. Barchuk O.Z., Lysiuk R.M., Denys A.I., Zaliska O.M., Smalyuh O.G., Nester M.I. Experimental study of goat's rue (*Galega Officinalis* L.) herb and its liquid extracts // *The Pharma Innovation Journal*. 2017. V. 6. Iss. 11. P. 393-397. URL: https://www.researchgate.net/publication/321168035_Experimental_study_of_goat's_rue_Galega_Officinalis_L_herb_and_its_liquid_extracts. (дата обращения: 16.12.2019)
12. Darmohray L.M., Sedilo G.M., Gutyj B.V. Conceptual framework for the assessment of the nutritional and biological value of the plant *Galega orientalis* (LAM) // Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences. 2017. V. 19. N 79. P. 9-12. DOI: 10.15421/nvlvet7902
13. Akram N.A., Shafiq F., Ashraf M. Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance // Frontiers in plant science. 2017. V. 8. N 613. DOI: 10.3389/fpls.2017.00613
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
15. Hewitt E.J., Dickes G.J. Spectrophotometric measurements on ascorbic acid and their use for the estimation of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in plant tissues // Biochemical Journal. 1961. V. 78. N 2. P. 384-391. DOI: 10.1042/bj0780384
16. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум. Калининград, 2000. 59 с.
17. Овчаров К.Е. Витамины растений. Москва: Колос, 1969. 328 с.
18.Егоров А.Д. Витамин "С" и каротин в растительности Якутии. Москва: Академии наук СССР, 1954. 248 с.
19.Читанова Г.В. Динамика содержания аскорбиновой кислоты в листьях эвкалипта // Тр. Сухум. Ботан. Сада. 1982. N 27. С. 49-56.

REFERENCES

1. Vagunin D.A., Kapsamun A.D., Ivanova N.N. Agrophytocenosis Galega orientalis Hay use based on new promising varieties. *International Scientific Journal*, 2016, part 5, no. 6 (48), pp. 165-167. (In Russian) DOI: 10.18454 / IRJ.2016.48.091
2. Shaikova T.V., Baeva V.S. Technological features of the cultivation of Galega orientalis perspective species selection of the Pskov Research Institute of Agriculture. AgroEkoInzheneriya [AgroEcoEngineering]. 2017, iss. 93, pp. 89-94. (In Russian)
3. Moiseeva E.A., Bordey R.Kh. Ecological and biological assessment of eastern galega (*Galega Orientalis* Lam.) as a prospective crop for introduction under the conditions of the city of Surgut. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2017, no. 10, pp. 140-147. (In Russian)
4. Mikhailova I.V., Akhtulova E.M. Prospects for cultivating eastern galega (*Galega Orientalis* Lam.) in the Kola peninsula. Agrokhimiya [Agrochemistry]. 2013, no. 7, pp. 49-55. (In Russian)
5. Wang J., Huang R. Modulation of ethylene and ascorbic acid on reactive oxygen species scavenging in plant salt response. *Frontiers in plant science*, 2019, vol. 10, no. 319. DOI: 10.3389/fpls.2019.00319
6. Kumar U., Kaviraj M., Panneerselvam P., Priya H., Chakraborty K., Swain P., Chatterjee S.N., Sharma S.G., Nayak P.K., Nayak A.K. Ascorbic acid formulation for survivability and diazotrophic efficacy of azotobacter chroococcum Avi2 (MCC 3432) under hydrogen peroxide stress and its role in plant-growth promotion in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant physiology and biochemistry*, 2019, vol. 139, pp. 419-427. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.04.003
7. Xing C.H., Liu Y., Zhao L.Y., Zhang S.L., Huang X.S. A novel MYB transcription factor regulates ascorbic acid synthesis and affects cold tolerance. *Plant, cell and environment*, 2019, vol. 42, iss. 3, pp. 832-845. DOI: 10.1111/pce.13387
8. Janmohammadi M., Sabaghnia N., Mahfoozi S. Frost tolerance and metabolite changes of rye (*Secale cereale*) during the cold hardening and overwintering. *Acta physiologiae plantarum*, 2018, vol. 40, iss. 3, article number 42. DOI: 10.1007/s11738-018-2620-0
9. Alamri S.A., Siddiqui M.H., Al-Khaishany M.YY., Khan M.N., Ali H.M., Alaraidh I.A., Alsahli A.A., Al-Rabiah H., Mateen M. Ascorbic acid improves the tolerance of wheat plants to lead toxicity. *Journal of plant interactions*, 2018,

vol. 13, iss. 1, pp. 409-419. DOI: 10.1080/17429145.2018.1491067
10. Heidari-Zefreh A.A., Shariatpanahi M.E., Mousavi A., Kalatejari S. Enhancement of microspore embryogenesis induction and plantlet regeneration of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) using putrescine and ascorbic acid. *Protoplasma*, 2019, vol. 256, iss. 1, pp. 13-24. DOI: 10.1007/s00709-018-1268-3
11. Barchuk O.Z., Lysiuk R.M., Denys A.I., Zaliska O.M., Smalyuh O.G., Nester M.I. Experimental study of goat's rue (*Galega Officinalis* L.) herb and its liquid extracts. *The Pharma Innovation Journal*, 2017, vol. 6, iss. 11, pp. 393-397. Available at: https://www.researchgate.net/publication/321168035_Experimental_study_of_goat's_rue_Galega_Officinalis_L_herb_and_its_liquid_extracts (accessed 16.12.2019)
12. Darmohray L.M., Sedilo G.M., Gutyj B.V. Conceptual framework for the assessment of the nutritional and biological value of the plant *Galega orientalis* (LAM). *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 2017, vol. 19. no. 79, pp. 9-12. DOI: 10.15421/nvlvet7902
13. Akram N.A., Shafiq F., Ashraf M. Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 2017, vol. 8, no. 613. DOI: 10.3389/fpls.2017.00613
14. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Book on Demand Publ., 2012, 352 p. (In Russian)
15. Hewitt E.J., Dickes G.J. Spectrophotometric measurements on ascorbic acid and their use for the estimation of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in plant tissues. *Biochemical Journal*, 1961, vol. 78, no. 2, pp. 384-391. DOI: 10.1042/bj0780384
16. Chupakhina G.N. *Fiziologicheskie i biokhimicheskie metody analiza rastenii* [Physiological and biochemical methods of plant analysis]. Kaliningrad, 2000, 59 p. (In Russian)
17. Ovcharov K.E. *Vitaminy rastenii* [Vitamins of plants]. Moscow, Kolos Publ., 1969, 328 p. (In Russian)
18. Egorov A.D. *Vitamin "S" i karotin v rastitel'nosti Yakutii* [Vitamin "C" and carotene in the vegetation of Yakutia]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1954, 248 p. (In Russian)
19. Chitanova G.V. Dynamics of the content of ascorbic acid in eucalyptus leaves. Trudy Suhumskogo Botanicheskogo sada [Works of the Sukhumi Botanical Garden]. 1982, no. 27, p. 49-56. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Инесса В. Кравченко проводила определение аскорбиновой кислоты в растительном материале, анализировала данные, работала с иностранной литературой. Марина В. Устинова проводила определение аскорбиновой кислоты в растительном материале, анализировала данные, строила рисунки и таблицу, работала с иностранной литературой. Екатерина А. Моисеева заложила опыт, собрала растительный материал, подготовила его к химическому анализу, выполнила статистическую обработку результатов. Людмила Ф. Шепелева проанализировала полученные данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Inessa V. Kravchenko carried out the determination of ascorbic acid in plant material, analysed the data and worked with foreign literature. Marina V. Ustinova carried out the determination of ascorbic acid in plant material, analysed the data, compiled the drawings and the table and worked with foreign literature. Ekaterina A. Moiseeva conducted the experiment, collected plant material, prepared it for chemical analysis and performed statistical processing of the results. Lyudmila F. Shepeleva analysed the data obtained. All authors participated equally 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

Инесса В. Кравченко / Inessa V. Kravchenko https://orcid.org/0000-0001-5050-6622
Екатерина А. Моисеева / Ekaterina A. Moiseeva https://orcid.org/0000-0002-4892-3600
Мариана В. Устинова / Marina V. Ustinova https://orcid.org/0000-0002-2576-2736
Людмила Ф. Шепелева / Lyudmila F. Shepeleva https://orcid.org/0000-0002-8805-469X

Оригинальная статья / Original article
УДК 578.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-45-52

Биологические свойства вируса гриппа H6N8-субтипа, выделенного от диких птиц на юге Западной Сибири

Синьсинь Ли[1,2], Никита А. Дубовицкий[1], Анастасия А. Дёрко[1,2], Александра В. Глущенко[1], Иван А. Соболев[1], Алексей В. Друзяка[3], Марьям М. Меджидова[4], Эльмира М. Мусинова[4], Кирилл А. Шаршов[1], Александр М. Шестопалов[1,5]

[1]Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия
[3]Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия
[4]Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, Россия
[5]Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо
Синьсинь Ли, аспирант, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; 630090 Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2.
Тел. +79232210977
Email xinxinli@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1855-8646

Формат цитирования
Ли С., Дубовицкий Н.А., Дёрко А.А., Глущенко А.В., Соболев И.А., Друзяка А.В., Меджидова М.М., Мусинова Э.М., Шаршов К.А., Шестопалов А.М. Биологические свойства вируса гриппа H6N8-субтипа, выделенного от диких птиц на юге Западной Сибири // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 45-52. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-45-52

Получена 16 декабря 2020 г.
Прошла рецензирование 11 января 2021 г.
Принята 23 января 2021 г.

Резюме

Цель. Исследовать молекулярно-биологические свойства вируса гриппа H6N8-субтипа.

Материал и методы. В 2016 году на юге Западной Сибири был проведён ежегодный сбор биологического материала от диких водоплавающих птиц. Культивирование вирусов гриппа А из клоакальных смывов птиц проводили в системе развивающихся куриных эмбрионов (РКЭ) путем 3 последовательных пассажей. Наличие вируса в аллантоисной жидкости определяли в реакции гемагглютинации (РГА). Первичную идентификацию вируса гриппа осуществляли методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР). Субтипирование проводили при помощи массового параллельного секвенирования.

Результаты. Впервые в России выделен вирус гриппа H6N8-субтипа. Филогенетический анализ генов гемагглютинина (HA) и нейраминидазы (NA) штамма A/gadwall/Chany/97/2016(H6N8), полученного в ходе исследования, показал его принадлежность к Евразийским генетическим линиям вируса птичьего гриппа. В результате филогенетического анализа гена HA было установлено, что полученный изолят является близкородственным штамму A/duck/Bangladesh/25767/2015(H6N1), выделенному от утки в Бангладеш.

Заключение. Штамм A/gadwall/Chany/97/2016(H6N8) был выделенный от серой утки (*Anas strepera*) в водных угодьях юга Западной Сибири, которые находятся на путях миграции и гнездования многих видов птиц. Субтип H6N8 способен распространяться между дикими водоплавающими и домашними птицами, увеличивая вероятность рекомбинации и передачи. В этой связи усиление эпизоотологического надзора за птичьим гриппом субтипа H6 среди диких птиц на территории юга Западной Сибири остается принципиально важным.

Ключевые слова
Вирус гриппа А, субтип H6N8, дикие птицы, ген HA, юг Западной Сибири, штамм.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Biological characteristics of influenza virus subtype H6N8 isolated from wild birds in the south of Western Siberia

Xinxin Li[1,2], Nikita A. Dubovitskiy[1], Anastasiya A. Derko[1,2], Alexandra V. Glushchenko[1], Ivan A. Sobolev[1], Aleksey V. Druzyaka[3], Maryam M. Medzhidova[4], Elmira M. Musinova[4], Kirill A. Sharshov[1] and Alexander M. Shestopalov[1,5]

[1]Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
[3]Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
[4]Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia
[5]Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact
Xinxin Li, graduate student, Novosibirsk State University; 2 Pirogova St, Novosibirsk, Russia 630090.
Tel. +79232210977
Email xinxinli@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1855-8646

How to cite this article
Li X., Dubovitskiy N.A., Derko A.A., Glushchenko A.V., Sobolev I.A., Druzyaka A.V., Medzhidova M.M., Musinova E.M., Sharshov K.A., Shestopalov A.M. Biological characteristics of influenza virus subtype H6N8 isolated from wild birds in the south of Western Siberia. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 45-52. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-45-52

Received 16 December 2020
Revised 11 January 2021
Accepted 23 January 2021

Abstract

Aim. The aim is to explore the molecular and biological characteristics of influenza virus subtype H6N8.

Material and Methods. Regular collecting of biological samples from wild birds was carried out in 2016 in the south of Western Siberia. Isolation of avian influenza virus strains from birds' cloacal swabs was performed using three passages in embryonated chicken eggs. Hemagglutination assay was used to detect viruses in the allantoic fluid. Type and subtype of influenza viruses were identified using reverse transcription PCR (RT-PCR).

Results. This is the first time the avian influenza virus H6N8 subtype has been isolated in Russia. Phylogenetic analysis revealed that hemagglutinin (HA) and neuraminidase (NA) segments of A/gadwall/Chany/97/2016(H6N8) strain genome belonged to the Eurasian lineages of avian influenza viruses. Phylogenetic analysis showed that the HA sequence of the strain was closely related to the strain isolated from a duck in Bangladesh in 2015 (A/duck/Bangladesh/25767/2015(H6N1).

Conclusion. Avian influenza viruses subtype H6N8 have the ability to circulate among wild waterfowl and poultry, increasing the chance of reassortment and transmission of H6 virus strains among birds. For this reason, it is of crucial importance to strengthen surveillance for avian influenza H6 subtype among wild birds in the south of Western Siberia.

Key Words
Influenza A virus, subtype H6N8, wild birds, HA gene, the south of the Western Siberia, strain.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Вирусы гриппа относятся к семейству *Orthomyxoviridae*. На основании антигенных различий в нуклеопротеидном (NP) и матричном (M) белках вирус гриппа разделяется на три типа: A, B и C [1]. Естественным хозяином вируса гриппа A (ВГА) в основном являются дикие водоплавающие птицы. Восприимчивыми к вирусу гриппа могут быть домашние птицы, млекопитающие (таких как тюлени, тигры, кошки, лошади, свиньи, собаки) и люди [2; 3]. Именно ВГА является возбудителем, который вызывает пандемии гриппа человека и сезонные эпидемии. ВГА подразделяются на субтипы на основании различий в поверхностных гликопротеинах – гемагглютинина (HA) и нейроминидазы (NA) [4]. В соответствии с уровнем патогенности выделяют высокопатогенный грипп птиц (ВПГП) и низкопатогенный грипп птиц (НПГП). ВПГП у домашних птиц характеризуется высокой смертностью и большим экономическим ущербом для промышленного птицеводства.

ВГА имеет широкий спектр возможностей в формировании многообразных «антигенных формул». К настоящему моменту среди птиц обнаружено 16 субтипов гемагглютинина и 9 субтипов нейраминидазы. Кроме того, два новых субтипа ВГА (H17N10 и H18N11) были выделены у летучих мышей в 2012-2013 гг. [5; 6]. Одной из основных причин широкого распространения ВГА среди птиц является массовая миграция диких водоплавающих птиц, численность которых в местах гнездования максимальна [7; 8]. Поскольку дикие водоплавающие птицы являются основными носителями вируса птичьего гриппа, это создает благоприятную основу для горизонтального распространения вируса.

Множество рек и озёр на юге Западной Сибири (долины рек Оби и Иртыша, Обь-Иртышское междуречье) находятся на путях миграции многих видов птиц. Данный район является гнездовым ареалом большого числа видов, экологически связанных с водоёмами [9]. Полученные нами ранее данные показывают, что у диких птиц, обитающих на этой территории, выделялись вирусы гриппа различных субтипов, но изоляты H6-субтипа не выявлялись. Более того, анализ доступной литературы показал, что вирус гриппа H6N8 субтипа ранее в России не выделялся. При этом вирусы гриппа с гемагглютинином H6 достаточно широко распространены в мире. Так он был впервые выделен у индейки в США в 1965 году, а затем и у диких птиц [10-14]. Позднее вирусы этого субтипа выделялись в Европе и Азии, и было показано, что они являются актуальными в системе эпизоотологического надзора [15; 16].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор материала. Сбор биологического материала (клоакальные смывы и фрагменты кишечника) осуществляли в рамках проведения мониторинга за вирусом гриппа A на территории Сибири. Материал был собран в осенние периоды 2016-2018 гг. Клоакальные смывы и фрагменты кишечника собирались в пробирки объёмом 2 мл с транспортной средой, содержащей антибиотики [17]. Пробы транспортировали в сосудах Дьюара с жидким азотом [18].

Изоляция вируса. Все работы с полученным биологическим материалом были проведены в лабораториях 2-го уровня биологической безопасности (biosafety level-2). Выделение вируса проводили по стандартной методике путем инокуляции проб в аллантоисную полость 10-дневных развивающихся куриных эмбрионов (РКЭ) [18].

Наличие вируса гриппа птиц в аллантоисной жидкости определяли с помощью реакции гемагглютинации (РГА) [17] и методом ОТ-ПЦР в реальном времени со специфическими олигонуклеотидами [11].

Патогенность полученных изолятов определяли при помощи внутривенного теста патогенности (IVPI) на 6-ти недельных цыплятах [18]. Оценка результатов проводилась по стандартной методике, рекомендованной международным эпизоотическим бюро (OIE): штаммы с индексом близким к 2 считаются высокопатогенными, а штаммы с индексом близким к 0 - апатогенными.

ОТ-ПЦР. Вирусная РНК выделялась из вирус-содержащей аллантоисной жидкости. Первичная идентификация вируса гриппа осуществлялась методом ОТ-ПЦР с детекцией в режиме реального времени с использованием олигонуклеотидов и зонда, специфичных к консервативным участкам M-гена вируса гриппа, согласно [19].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя результаты мониторинга вируса гриппа у диких водоплавающих птиц в 2016 году нами был выделено 12 различных изолятов вируса гриппа типа A. Анализ выделенных изолятов при помощи ОТ-ПЦР и секвенирования нового поколения (NGS) показал, что вирус, выделенный от серой утки (*Anas strepera*), имел H6 гемагглютинин. Ранее выделенные на Тайване вирусы субтипа H6N1 привели к гибели домашних птиц и заболеванию нескольких людей. Для оценки патогенности полученного нами штамма был проведён тест внутривенной патогенности (IVPI) для 6 недельных цыплят. Результаты теста показали, что за все время наблюдения (14 дней) ни одна птица не заболела и не погибла. Выделенный вирус был не патогенным и в соответствии с классификацией международного эпизоотологического бюро индекс патогенности был равен нулю (IVPI=0).

По результатам полногеномного секвенирования было установлено, что полученный штамм имеет антигенную формулу H6N8. Проведенный анализ литературных данных показал, что на территории Российской Федерации подобные субтипы вируса гриппа A ранее не выделялись.

Филогенетический анализ нуклеотидной последовательности штамма ВГА субтипа H6N8, позволил понять происхождение, эволюцию, рекомбинации и распространение данного субтипа в России, а также его потенциальную эпизоотологическую и эпидемиологическую роль. Последовательности восьми сегментов генома штамма A/gadwall/Chany/97/2016(H6N8) сравнивались с последовательностями ВГА из международной базы данных GenBank. Результаты показали, что все сегменты содержат полные открытые рамки считывания и имеют высокую идентичность со штаммами, выделенными в Монголии, Нидерландах, Бангладеш, Китае и Грузии (табл. 1).

Согласно международной базе данных GISAID субтип H6N8 вируса гриппа птиц встречается редко. Из более чем 51 тыс. штаммов вируса гриппа A, представленных в базе данных, лишь 352 относятся к

субтипу H6N8. Кроме того, в базе данных, помимо описанного в этой работе штамма A/gadwall/Chany/97/2016, отсутствуют геномы изолятов этого субтипа вируса гриппа, обнаруженные на территории РФ. Таким образом, на данный момент штамм A/gadwall/Chany/97/2016 является единственным выявленным на территории Российской Федерации генетическим вариантом вируса гриппа А субтипа H6N8, для которого определены и представлены в международную базу данных полные нуклеотидные последовательности всех восьми сегментов генома.

Таблица 1. Идентичность сегментов изолята A/gadwall/Chany/97/2016(H6N8) и штаммов вируса гриппа А из базы данных GenBank
Table 1. Identity of segments of the isolate A/gadwall/Chany/97/2016(H6N8) and strains of influenza A virus from the GenBank

Регистрационный номер NCBI Accession NCBI	**Название штаммов в GenBank** Strain names in GenBank	**Ген** Gene	**Идентичность** Identity
LC121449	A/duck/Mongolia/769/2015(H4N6)	PB2	98.9%
KX979830	A/mallard duck/Netherlands/20/2011(H6N8)	PB1	98.5%
KY635496	A/black-tailed godwit/Bangladesh/24734/2015(H7N5)	PA	99.0%
KU143276	A/wild bird/Wuhan/CDHN15/2015(H6N2)	HA	98.1%
KX978311	A/mallard duck/Netherlands/7/2014（H6N2)	NP	98.6%
KX978560	A/mallard duck/Netherlands/17/2011（H3N8)	NA	98.1%
MF682900	A/mallard duck/Georgia/1/2014(H10N7)	M	98.9%
MF147859	A/mallard duck/Georgia/11/2011(H1N1)	NS	99.1%

Результаты филогенетического анализа нуклеотидной последовательности сегмента НА штамма A/gadwall/Chany/97/2016 (H6N8) указывают на его принадлежность к Евразийской генетической линии. Сегмент данного штамма оказался филогенетически близок сегменту НА вируса штамма A/duck/Bangladesh/25767/2015 (H6N1), выделенного в 2015 г. в Бангладеш (рис. 1).

Согласно филогенетическому анализу по сегменту NA исследованный штамм находится в одной кладе со штаммами A/Duck/China/R095/2014 (H6N8) и A/mallard/Jiangxi/G98/2014 (H3N8) из Китая (рис. 2).

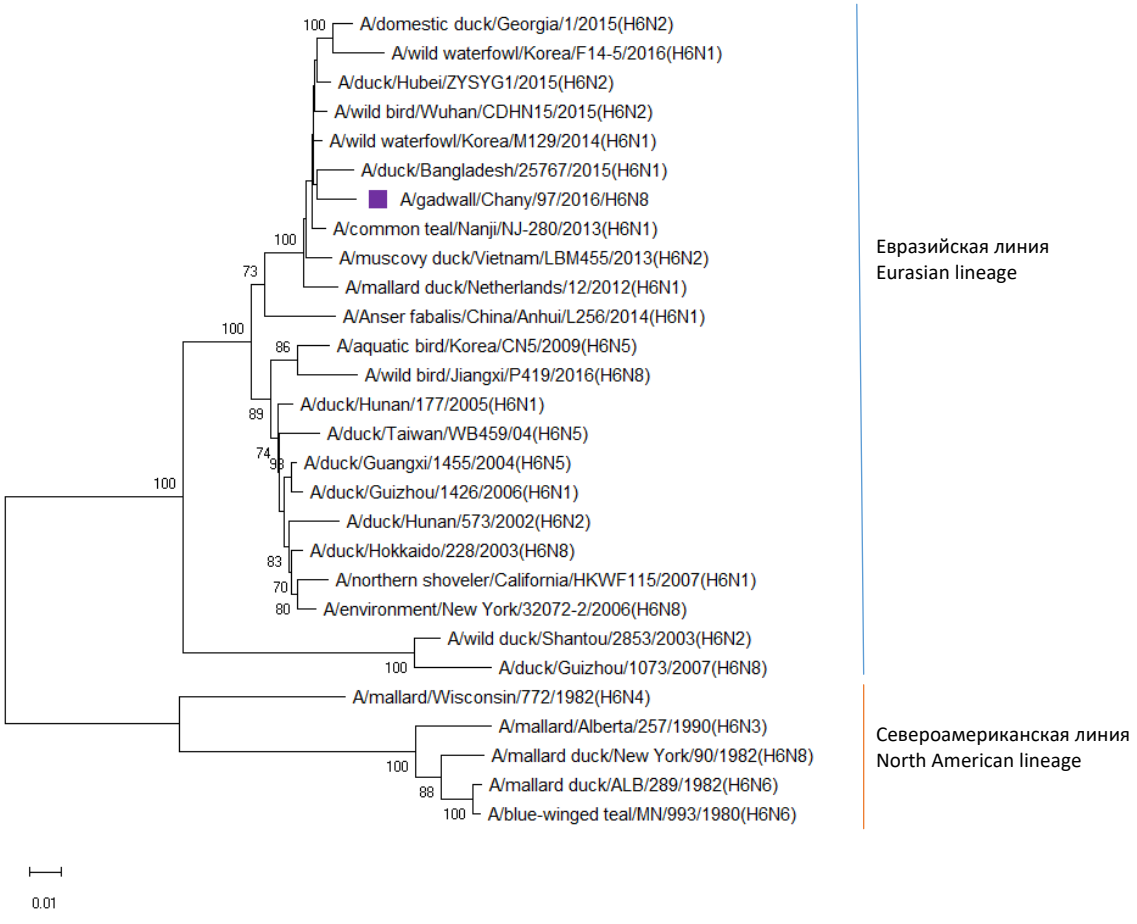


Рисунок 1. Филогенетическое дерево гена НА субтипа Н6 вируса гриппа А (■- штамм, полученный в ходе исследования)
Figure 1. Phylogenetic tree of the HA gene of the H6 subtype of the influenza A virus (■- strain obtained in the course of the study)

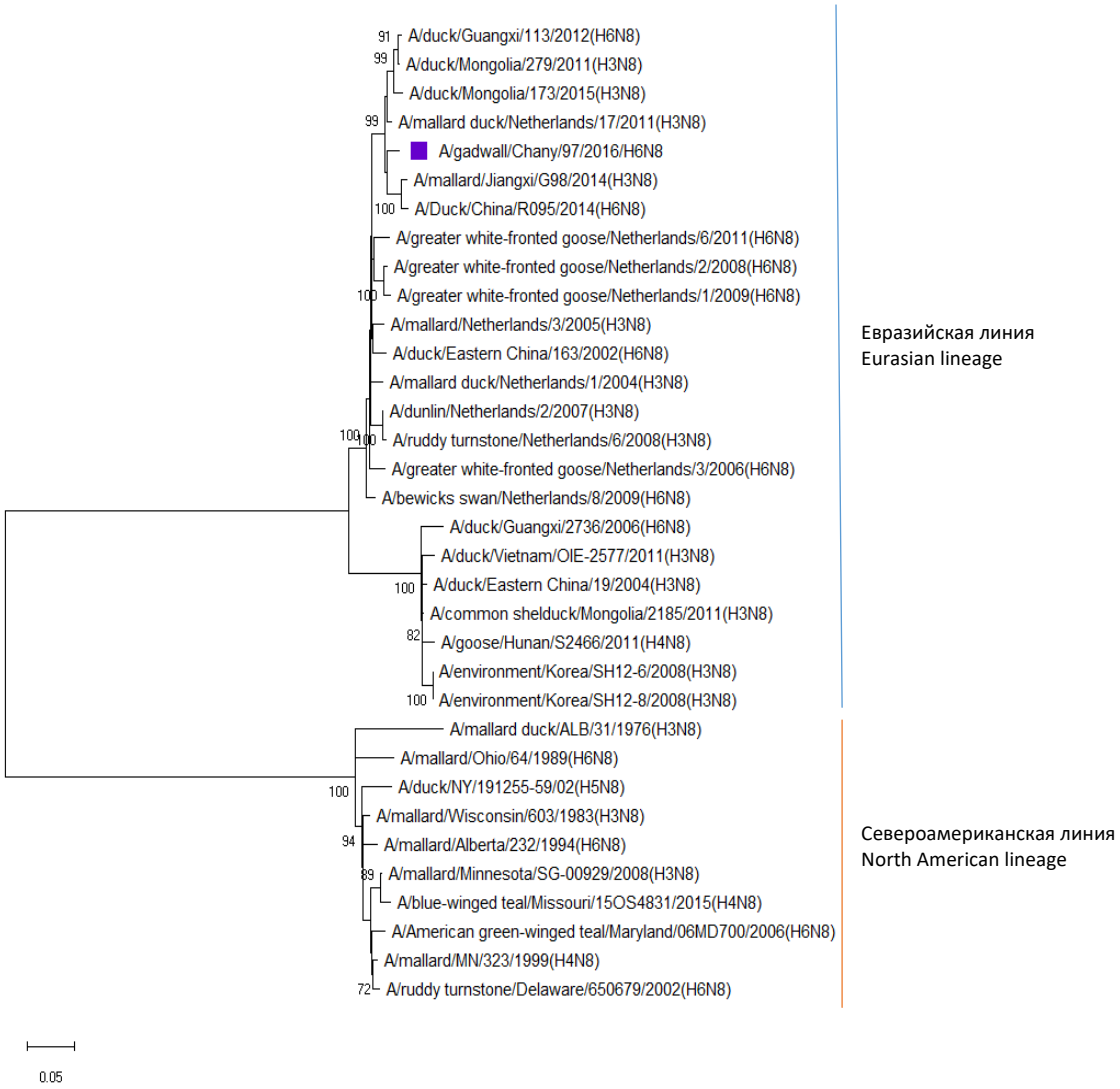


Рисунок 2. Филогенетическое дерево сегмента NA субтипа N8 вируса гриппа А
(■- штамм, полученный в ходе исследования)
Figure 2. Phylogenetic tree of the NA gene of the N8 subtype of the influenza A virus
(■- strain obtained in the course of the study)

Филогенетический анализ сегментов генома штамма A/gadwall/Chany/97/2016 (H6N8), кодирующих внутренние белки, показал принадлежность всех сегментов к евразийской генетической линии вирусов гриппа птиц.

Аминокислотная последовательность гемагглютинина исследованного штамма содержит одноосновный сайт расщепления PQIETR↓GLF, что является молекулярной характеристикой низкопатогенного вируса гриппа птиц. Домен HA1 белка HA в рецептор-связывающих сайтах имеет аминокислотные остатки Q226 и G228, которые, по данным литературы, связываются с рецепторами SA-α 2,3 птиц. Аминокислотная последовательность нейраминидазы не содержит известных замен, приводящих к снижению чувствительности вируса к ингибиторам нейраминидазы (занамивир, осельтамивир).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при проведении планового мониторинга вирусов гриппа А на юге Западной Сибири нами был выделен и охарактеризован уникальный (единственный) для России вариант гриппа птиц – субтип H6N8. Выделенный штамм был задепонирован в базу данных GISAID под номером EPI_ISL_250238 (A/gadwall/Chany/97/2016(H6N8)). Выделенный вирус оказался непатогенным. Филогенетический анализ генов, кодирующих гемагглютинин и нейраминидазу показал, что они близки к вариантам вирусов H6N8, которые циркулируют на территории Азии (Китай, Бангладеш, Тайланд). Филогенетический анализ сегментов генома, кодирующих внутренние белки, показал принадлежность всех сегментов к евразийской генетической линии вирусов гриппа А.

БЛАГОДАРНОСТЬ
Работа поддержана грантом РНФ 20-44-07001 «Распространение РНК-вирусов птиц в Северной Азии и Азиатско-Тихоокеанском регионе: генетическое разнообразие, патогенный потенциал и прогнозирование влияния на птицеводство» и грантом РФФИ № 19-54-55004 «Циркуляция и распространение высокопатогенного вируса гриппа птиц А и других вирусов птиц между Россией и Китаем».
ACKNOWLEDGMENT
The work was supported by RNF grant 20-44-07001 "Distribution of avian RNA viruses in North Asia and the Asia-Pacific region: genetic diversity, pathogenic potential and predicting the impact on poultry farming" and RFBR grant No. 19-54-55004 "Circulation and distribution of highly pathogenic avian influenza A virus and other avian viruses between Russia and China".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК
1.Lamb R.A., Krug R.M. *Orthomyxoviridae*: the viruses and their replication // Fields virology / Eds.: P.M. Howley, B.M. Fields. Philadelphia: Lippincott-Raven. 1996. P. 1353-1395.
2.Harder T.C., Vahlenkamp T.C. Influenza virus infections in dogs and cats // Veterinary immunology and immunopathology. 2010. V. 134. Iss. 1-2. P. 54-60. DOI: 10.1016/j.vetimm.2009.10.009
3.Webster R.G., Bean W.J., Gorman O.T., Chambers T.M., Kawaoka Y. Evolution and ecology of influenza A viruses // Microbiological reviews. 1992. V. 56. Iss. 1. P. 152-179.
4.Gamblin S.J., Skehel J.J. Influenza hemagglutinin and neuraminidase membrane glycoproteins // Journal of biological chemistry. 2010. V. 285. Iss. 37. P. 28403-28409. DOI: 10.1074/jbc.R110.129809
5.Tong S., Li Y., Rivailler P., Conrardy C., Castillo D.A., Chen L.M., Recuenco S., Ellison J.A., Davis C.T., York I.A., Turmelle A.S., Moran D., Rogers S., Shi M., Tao Y., Weil M.R., Tang K., Rowe L.A., Sammons S., Xu X., Frace M., Lindblade K.A., Cox N.J., Anderson L.J., Rupprecht C.E., Donis R.O. A distinct lineage of influenza A virus from bats // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. V. 109. Iss. 11. P. 4269-4274. DOI: 10.1073/pnas.1116200109
6.Tong S., Zhu X., Li Y., Shi M., Zhang J., Bourgeois M., Yang H., Chen X., Recuenco S., Gomez J., Chen L.M., Johnson A., Tao Y., Dreyfus C., Yu W., McBride R., Carney P.J., Gilbert A.T., Chang J., Guo Z., Davis C.T., Paulson J.C., Stevens J., Rupprecht C.E., Holmes E.C., Wilson I.A., Donis R.O. New world bats harbor diverse influenza A viruses // PLOS Pathogens. 2013. V. 9. Iss. 10. e1003657. DOI: 10.1371/journal.ppat.1003657
7.Campitelli L., Ciccozzi M., Salemi M. H5N1 influenza virus evolution: a comparison of different epidemics in birds and humans (1997-2004) // Journal of General Virology. 2006. V. 87. Iss. 4. P. 955-960. DOI: 10.1099/vir.0.81397-0
8.Smith G.J.D., Naipospos T.S.P., Nguyen T.D., Vijaykrishna D., Usman T.B., Hassan S.S., Nguyen T.V., Dao T.V., Bui N.A. Evolution and adaptation of H5N1 influenza virus in avian and human hosts in Indonesia and Vietnam // Virology. 2006. V. 350. Iss. 2. P. 258-268. DOI: 10.1016/j.virol.2006.03.048
9.Юрлов К.Т. Миграции птиц в Азии. Новосибирск: Наука, 1977. 284 с.
10. Abolnik C., Bisschop S., Gerdes T., Olivier A., Horner R. Outbreaks of avian influenza H6N2 viruses in chickens arose by a reassortment of H6N8 and H9N2 ostrich viruses // Virus Genes. 2007. V. 34. P. 37-45. DOI: 10.1007/s11262-006-0007-6
11. Choi Y.K., Seo S.H., Kim J.A., Webby R.J., Webster R.G. Avian influenza viruses in Korean live poultry markets and their pathogenic potential // Virology. 2005. V. 332. Iss. 2. P. 529-537. DOI: 10.1016/j.virol.2004.12.002
12. Wang C.W., Wang C.H. Experimental selection of virus derivatives with variations in virulence from a single low-pathogenicity H6N1 avian influenza virus field isolate // Avian diseases. 2003. V. 47. Iss. 4. P. 1416-1422. DOI: 10.1637/6093
13. Woolcock P.R., Suarez D.L., Kuney D. Low-pathogenicity avian influenza virus (H6N2) in chickens in California, 2000-2002 // Avian diseases. 2003. V. 47. Iss. S3. P. 872-881. DOI: 10.1637/0005-2086-47.s3.872
14. Chin P.S., Hoffmann E., Webby R., Guan Y., Peiris M., Shortridge K.F. Molecular evolution of H6 influenza viruses from poultry in Southeastern China: prevalence of H6N1 influenza viruses possessing seven A/Hong Kong/156/97 (H5N1)-like genes in poultry // Journal of virology. 2002. V. 76. Iss. 2. P. 507-516. DOI: 10.1128/jvi.76.2.507-516.2002
15. Munster V.J., Baas C., Lexmond P., Waldenström J., Wallensten A., Fransson T., Rimmelzwaan G.F., Beyer W.E., Schutten M., Olsen B., Osterhaus A., Fouchier R.A. Spatial, temporal, and species variation in prevalence of influenza A viruses in wild migratory birds // PLoS Pathog. 2007. V. 3. Iss. 5. P. e61. DOI: 10.1371/journal.ppat.0030061
16. Everest H., Hill S.C., Daines R., Sealy J.E., James J., Hansen R., Iqbal M. The Evolution, Spread and Global Threat of H6Nx Avian Influenza Viruses // Viruses. 2020. V. 12. N 6. P. 673. DOI: 10.3390/v12060673
17. OIE. World Organization for Animal Health. Avian influenza. URL: http://www.oie.int/animal-health-in-the-world/web-portal-on-avianinfluenza/ (дата обращения: 15.12.2020)
18. The National Training Course on Animal Influenza Diagnosis and Surveillance. 2001. Text. Harbin, China (May 20-26, 2001). Harbin. pp. 25-27.
19. Khan S.U., Gurley E.S., Gerloff N., Rahman M.Z., Simpson N., Rahman M., Haider N., Chowdhury S., Balish A., Zaman R.U., Nasreen S., Chandra Das B., Azziz-Baumgartner E., Sturm-Ramirez K., Davis C.T., Donis R.O., Luby S.P. Avian influenza surveillance in domestic waterfowl and environment of live bird markets in Bangladesh, 2007-2012 // Scientific reports. 2018. V. 8. N 1. Article number: 9396. DOI: 10.1038/s41598-018-27515-w

REFERENCES
1.Lamb R.A., Krug R.M. *Orthomyxoviridae*: the viruses and their replication. In: Fields virology. Eds.: P.M. Howley, B.M. Fields. Philadelphia, Lippincott-Raven, 1996, pp. 1353-1395.
2.Harder T.C., Vahlenkamp T.C. Influenza virus infections in dogs and cats. *Veterinary immunology and immunopathology*, 2010, vol. 134, iss. 1-2, pp. 54-60. DOI: 10.1016/j.vetimm.2009.10.009
3.Webster R.G., Bean W.J., Gorman O.T., Chambers T.M., Kawaoka Y. Evolution and ecology of influenza A viruses. Microbiological reviews. 1992, vol. 56, iss. 1, pp. 152-179.
4.Gamblin S.J., Skehel J.J. Influenza hemagglutinin and neuraminidase membrane glycoproteins. *Journal of*

biological chemistry, 2010, vol. 285, iss. 37, pp. 28403-28409. DOI: 10.1074/jbc.R110.129809
5.Tong S., Li Y., Rivailler P., Conrardy C., Castillo D.A., Chen L.M., Recuenco S., Ellison J.A., Davis C.T., York I.A., Turmelle A.S., Moran D., Rogers S., Shi M., Tao Y., Weil M.R., Tang K., Rowe L.A., Sammons S., Xu X., Frace M., Lindblade K.A., Cox N.J., Anderson L.J., Rupprecht C.E., Donis R.O. A distinct lineage of influenza A virus from bats. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, vol. 109, no. 11, pp. 4269-4274. DOI: 10.1073/pnas.1116200109
6.Tong S., Zhu X., Li Y., Shi M., Zhang J., Bourgeois M., Yang H., Chen X., Recuenco S., Gomez J., Chen L.M., Johnson A., Tao Y., Dreyfus C., Yu W., McBride R., Carney P.J., Gilbert A.T., Chang J., Guo Z., Davis C.T., Paulson J.C., Stevens J., Rupprecht C.E., Holmes E.C., Wilson I.A., Donis R.O. New world bats harbor diverse influenza A viruses. *PLOS Pathogens*, 2013, vol. 9, no. 10, e1003657. DOI: 10.1371/journal.ppat.1003657
7.Campitelli L., Ciccozzi M., Salemi M. H5N1 influenza virus evolution: a comparison of different epidemics in birds and humans (1997-2004). *Journal of General Virology*, 2006, vol. 87, iss. 4, pp. 955-960. DOI: 10.1099/vir.0.81397-0
8.Smith G.J.D., Naipospos T.S.P., Nguyen T.D., Vijaykrishna D., Usman T.B., Hassan S.S., Nguyen T.V., Dao T.V., Bui N.A. Evolution and adaptation of H5N1 influenza virus in avian and human hosts in Indonesia and Vietnam. *Virology*, 2006, vol. 350, iss. 2, pp. 258-268. DOI: 10.1016/j.virol.2006.03.048
9.Yurlov K.T. *Migratsii ptits v Azii* [Migrations of birds in Asia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, 284 p. (In Russian)
10. Abolnik C., Bisschop S., Gerdes T., Olivier A., Horner R. Outbreaks of avian influenza H6N2 viruses in chickens arose by a reassortment of H6N8 and H9N2 ostrich viruses. *Virus Genes*, 2007, vol. 34, pp. 37-45. DOI: 10.1007/s11262-006-0007-6
11. Choi Y.K., Seo S.H., Kim J.A., Webby R.J., Webster R.G. Avian influenza viruses in Korean live poultry markets and their pathogenic potential. *Virology*, 2005, vol. 332, iss. 2, pp. 529-537. DOI: 10.1016/j.virol.2004.12.002
12. Wang C.W., Wang C.H. Experimental selection of virus derivatives with variations in virulence from a single low-pathogenicity H6N1 avian influenza virus field isolate. *Avian diseases*, 2003, vol. 47, iss. 4, pp. 1416-1422. DOI: 10.1637/6093
13. Woolcock P.R., Suarez D.L., Kuney D. Low-pathogenicity avian influenza virus (H6N2) in chickens in California, 2000-2002. *Avian diseases*, 2003, vol. 47, iss. S3, pp. 872-881. DOI: 10.1637/0005-2086-47.s3.872
14. Chin P.S., Hoffmann E., Webby R., Guan Y., Peiris M., Shortridge K.F. Molecular evolution of H6 influenza viruses from poultry in Southeastern China: prevalence of H6N1 influenza viruses possessing seven A/Hong Kong/156/97 (H5N1)-like genes in poultry. *Journal of virology*, 2002, vol. 76, iss. 2, pp. 507-516. DOI: 10.1128/jvi.76.2.507-516.2002
15. Munster V.J., Baas C., Lexmond P., Waldenström J., Wallensten A., Fransson T., Rimmelzwaan G.F., Beyer W.E., Schutten M., Olsen B., Osterhaus A., Fouchier R.A. Spatial, temporal, and species variation in prevalence of influenza A viruses in wild migratory birds. *PLOS Pathogens*, 2007, vol. 3, iss. 5, e61. DOI: 10.1371/journal.ppat.0030061
16. Everest H., Hill S.C., Daines R., Sealy J.E., James J., Hansen R., Iqbal M. The Evolution, Spread and Global Threat of H6Nx Avian Influenza Viruses. *Viruses*, 2020, vol. 12, no. 6, pp. 673. DOI: 10.3390/v12060673
17. OIE. World Organization for Animal Health. Avian influenza. Available at: http://www.oie.int/animal-health-in-the-world/web-portal-on-avianinfluenza/ (accessed 15.12.2020)
18. The National Training Course on Animal Influenza Diagnosis and Surveillance, Harbin, 20-26 May 2001. Harbin, 2001, pp. 25-27.
19. Khan S.U., Gurley E.S., Gerloff N., Rahman M.Z., Simpson N., Rahman M., Haider N., Chowdhury S., Balish A., Zaman R.U., Nasreen S., Chandra Das B., Azziz-Baumgartner E., Sturm-Ramirez K., Davis C.T., Donis R.O., Luby S.P. Avian influenza surveillance in domestic waterfowl and environment of live bird markets in Bangladesh, 2007-2012. *Scientific reports*, 2018, vol. 8, no. 1, article number: 9396 9396. DOI: 10.1038/s41598-018-27515-w

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Кирилл А. Шаршов, Синьсинь Ли, Алексей В. Друзяка и Марьям М. Меджидова собирали биологический материал. Синьсинь Ли, Никита А. Дубовицкий и Эльмира М. Мусинова проводили наработку изолятов вируса, субтипирование и анализ. Синьсинь Ли, Никита А. Дубовицкий, Анастасия А. Дерко и Александр В. Глущенко вели вирусологические работы по выявлению изолятов, проводили постановку тестов реакции гемагглютинации и реакции торможения гемагглютинации. Иван А. Соболев проводил моделирование пространственных структур HA и NA и анализ данных сиквенса. Александр М. Шестопалов планировал исследование, подготавливал рукопись для подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Kirill A. Sharshov, Xinxin Li, Aleksey V. Druzyaka and Maryam M. Medzhidova collected biological material. Xinxin Li, Nikita A. Dubovitskiy and Elmira M. Musinova conducted the cultivation of isolates, subtyping and analysis. Xinxin Li, Nikita A. Dubovitskiy, Anastasiya A. Derko and Alexandra V. Glushchenko carried out work to detect viral isolates using hemagglutination assay and hemagglutination inhibition test. Ivan A. Sobolev accomplished modeling of HA and NA structure and whole-genome sequencing. Alexander M. Shestopalov corrected the manuscript prior to submission to the editor. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Синьсинь Ли / Xinxin Li https://orcid.org/0000-0003-1855-8646
Никита А. Дубовицкий / Nikita A. Dubovitskiy https://orcid.org/0000-0002-7780-1485
Анастасия А. Дерко / Anastasiya A. Derko https://orcid.org/0000-0002-5984-0819
Александра В. Глущенко / Alexandra V. Glushchenko https://orcid.org/0000-0002-5784-0073
Иван А. Соболев / Ivan A. Sobolev https://orcid.org/0000-0002-4561-6517
Алексей В. Друзяка / Aleksey V. Druzyaka https://orcid.org/0000-0002-3597-1283
Марьям М. Меджидова / Maryam M. Medzhidova https://orcid.org/0000-0002-7353-0497
Эльмира М. Мусинова / Elmira M. Musinova https://orcid.org/0000-0001-8241-9013
Кирилл А. Шаршов / Kirill A. Sharshov https://orcid.org/0000-0002-3946-9872
Александр М. Шестопалов / Alexander M. Shestopalov https://orcid.org/0000-0002-9734-0620

Оригинальная статья / Original article
УДК 579.264; 544.723
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-53-60

Участие цианобактерий в снижении концентрации фузариотоксинов и ионов тяжелых металлов в водных растворах

Людмила И. Домрачева[1,2], Светлана Г. Скугорева[2], Анна И. Фокина[3], Максим А. Загоскин[3], Тамара Я. Ашихмина[2,3]
[1]Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров, Россия
[2]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
[3]Вятский государственный университет, Киров, Россия

Контактное лицо
Светлана Г. Скугорева, кандидат биологических наук, научный сотрудник, лаборатория биомониторинга, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28.
Тел. +79539412061
Email skugoreva@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-2371-4949

Формат цитирования
Домрачева Л.И., Скугорева С.Г., Фокина А.И., Загоскин М.А., Ашихмина Т.Я. Участие цианобактерий в снижении концентрации фузариотоксинов и ионов тяжелых металлов в водных растворах // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 53-60. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-53-60

Получена 10 июня 2020 г.
Прошла рецензирование 8 августа 2020 г.
Принята 5 ноября 2020 г.

Резюме

Цель – установить влияние почвенных цианобактерий (ЦБ) *Fischerella muscicola*, *Nostoc paludosum* и *Nostoc linckia* на изменение концентрации ионов тяжелых металлов (ТМ) и фузариотоксинов в водных средах.

Материал и методы. Для построения кривых кинетики сорбции сухой биомассой ЦБ *Fischerella muscicola* и *Nostoc paludosum* ионов меди(II), свинца(II) и кадмия из растворов с концентрацией 10^{-4} моль/л использовали метод потенциометрии с ионоселективными электродами. Методом ВЭЖХ определили концентрацию фузариотоксинов в фильтрате среды контактирования ЦБ *Fischerella muscicola* и *Nostoc linckia* с *F. culmorum*.

Результаты. Кинетику сорбции ионов ТМ сухой биомассой ЦБ наилучшим образом описывает модифицированная модель второго порядка. Согласно модели, процесс сорбции лимитирует реакция ионного обмена. В присутствии ЦБ *Fischerella muscicola* и *Nostoc linckia* с титром $1{,}8*10^6$ кл./мл (разведение 1:100) происходит снижение в среде Т-2 токсина и ликомаразмина. Однако при этом увеличиваются концентрации фузариевой кислоты и дезоксиниваленола. В варианте, где титр ЦБ равен $1{,}8*10^7$ кл./мл, значимо снижается концентрация ликомаразмина, при этом не происходит изменений концентрации иных фузариотоксинов.

Заключение. Сухая биомасса ЦБ, обладая высоким бисорбционным потенциалом, может выступать в качестве хорошего биосорбента по отношению к ионам меди(II), свинца(II) и кадмия. Снижение концентрации фузариотоксинов указывает на возможность выделить активные вещества ЦБ, способные подавлять биосинтез определенных токсинов микромицетов рода *Fusarium*, снижая как фитотоксичность сред произрастания растений, так и повышать безопасность продукции растениеводства.

Ключевые слова
Цианобактерии, *F. culmorum*, фузариотоксины, биосорбция, кинетика сорбции, тяжелые металлы, скорость и емкость сорбции.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

The participation of cyanobacteria in reducing the concentration of fusariotoxins and heavy metal ions in aqueous solutions (model experiments)

Lyudmila I. Domracheva[1,2], Svetlana G. Skugoreva[2], Anna I. Fokina[3], Maksim A. Zagoskin[3] and Tamara Ya. Ashikhmina[2,3]

[1]Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia
[2]Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Division, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia
[3]Vyatka State University, Kirov, Russia

Principal Contact
Svetlana G. Skugoreva, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Biomonitoring Laboratory, Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Division, Russian Academy of Sciences; 28, Kommunisticheskaya St, Syktyvkar, Russia 167982.
Tel. +79539412061
Email skugoreva@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-2371-4949

How to cite this article
Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Fokina A.I., Zagoskin M.A., Ashikhmina T.Ya. The participation of cyanobacteria in reducing the concentration of fusariotoxins and heavy metal ions in aqueous solutions (model experiments). *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 53-60. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-53-60

Received 10 June 2020
Revised 8 August 2020
Accepted 5 November 2020

Abstract

Aim. The goal was to establish the effect of soil cyanobacteria (CB) *Fischerella muscicola*, *Nostoc paludosum* and *Nostoc linckia* on change in the concentration of heavy metal ions (HM) and fusariotoxins in aqueous media.

Material and Methods. In order to plot the kinetics of sorption by dry biomass of CB *Fischerella muscicola* and *Nostoc paludosum* of copper(II), lead(II) and cadmium ions from solutions with a concentration of 10^{-4} mol/L, the method of potentiometry with ion-selective electrodes was used. The concentration of fusariotoxins in the filtrate of the contact medium of *Fischerella muscicola* CB and *Nostoc linckia* with *F. culmorum* was determined by HPLC.

Results. The kinetics of sorption of TM ions by dry biomass of the CB is best described by a modified second-order model. According to the model, the sorption process limits the ion exchange reaction. In the presence of CB *Fischerella muscicola* and *Nostoc linckia* with a titer of $1.8 \cdot 10^6$ cells/mL (1:100 dilution), a decrease in toxin and lycomarasmin in T-2 medium occurs. However, this increases the concentration of fusaric acid and deoxynivalenol. In the variant where the titer of CB is equal to $1.8 \cdot 10^7$ cells/mL, the concentration of lycomarasmin is significantly reduced, while there is no change in the concentration of other fusariotoxins.

Conclusion. Dry biomass of CB, having a high bisorption potential, can act as a good biosorbent with respect to copper(II), lead(II) and cadmium ions. A decrease in the concentration of fusariotoxins indicates the possibility of isolating active CB substances that can inhibit the biosynthesis of certain toxins of micromycetes of the genus *Fusarium*, reducing both the phytotoxicity of plant growth media and increasing the safety of crop production.

Key Words
Cyanobacteria, *F. culmorum*, fusariotoxins, biosorption, sorption kinetics, heavy metals, sorption speed and capacity.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Fusarium culmorum обладает высокой фитотоксичностью. Вызывает нежелательные изменения в биохимических процессах у растений и, как следствие, поражение тканей и органов [1; 2]. Влияние микромицетов выражается не только в угнетении растений, но и в качестве получаемого из последних сырья для различных целей [3; 4]. Установлено, что развитию фитопатогена способствует загрязнение среды тяжелыми металлами (ТМ), в том числе солями свинца, меди, цинка и т. д. [5]. В таких условиях фитотоксичность среды формируется за счет ее загрязнения метаболитами микромицетов и соединениями ТМ [6]. Многие виды полезной для растений микрофлоры в таких условиях исчезают. Однако установлено, что некоторые виды цианобактерий (ЦБ) способны при этом не только расти, но и подавлять развитие микромицета рода *Fusarium* [7]. Существуют данные о том, что экстракты ЦБ способны разрушать биопленки бактерий и грибов и снижать выработку микотоксинов [4; 8].

При поражении грибами рода *Fusarium*, опасность для растений обусловлена в основном вырабатываемыми фузариотоксинами [9]. По литературным данным известно несколько механизмов снижения фитотоксичности: уменьшение концентрации фузариотоксинов (сорбция, угнетение биосинтеза фузариотоксинов и его продуцента в целом) [4; 10]; продуктов токсического процесса, обусловленных попаданием фузариотоксинов в организм (например, активных форм кислорода) [11]; повышение собственной стрессоустойчивости (продукция веществ, защищающих структуры клеток, у злаков происходит увеличение выработки нуклезидфосфат киназы, связанной с МАРК-опосредованной H_2O_2 передачей сигналов, подавляющей выработку активных форм кислорода и повышающей стрессоустойчивость [9]. Данные механизмы могут быть реализованы как самими растениями, так и их симбионтами, в том числе ЦБ [9; 12].

Цианобактерии занимают особое положение среди микроорганизмов не только благодаря своим уникальным структурным свойствам, но и высокому сорбционному потенциалу по отношению к ТМ [13; 14]. Основным механизмом биосорбции ТМ у ЦБ является ионный обмен с участием различных функциональных групп (амино-, гидроксогруппы, карбоксильные, карбонильные), присутствующих на поверхности клетки [14-16].

Измеряя концентрацию токсикантов в растворе после их контакта с ЦБ, можно оценить потенциал этих микроорганизмов для снижения фитотоксичности среды. Однако данные об эффективности снижения концентрации фузариотоксинов и концентрации ионов ТМ некоторыми достаточно распространенными в почвах видами ЦБ, в частности *Fischerella muscicola*, *Nostoc paludosum* и *Nostoc linckia* отсутствуют. Поэтому *целью работы* было установить влияние данных видов почвенных ЦБ на изменение концентрации ионов ТМ и фузариотоксинов в водных средах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение кинетики сорбции ионов тяжелых металлов цианобактериями Fischerella muscicola и Nostoc paludosum. Цианобактерии культивировали в течение трех месяцев на среде Громова без азота, затем биомассу ЦБ тщательно отмывали от питательной среды дистиллированной водой, высушивали до постоянной массы и измельчали. В стакан наливали 50 мл раствора нитрата меди(II), свинца(II) или кадмия с концентрацией 10^{-4} моль/л. В раствор погружали магнит, ионоселективный электрод, pH-электрод и двухключевой электрод сравнения. Включали магнитную мешалку, запускали программу приема данных для иономера «Эксперт-001», быстро вносили в стакан с раствором 50,0 мг сухой биомассы ЦБ [17].

При описании кинетики сорбции использовали модели псевдо-первого и псевдо-второго порядков, модифицированную модель второго порядка и модель Еловича [18; 19]. Подбор модели кинетики сорбции осуществляли по наибольшему значению коэффициента детерминации r^2 [17]. Значения параметров кинетических моделей были найдены методом наименьших квадратов при помощи надстройки «Поиск решения» программного пакета Microsoft Office Excel.

Исследование влияния цианобактерий Fischerella muscicola и Nostoc linckia на концентрацию фузариотоксинов в фильтрате среды их контактирования с F. culmorum. Готовили суспензии 4-х месячных культур ЦБ *Fischerella muscicola* и *Nostoc linckia,* выращенных на среде Громова без азота, разбавлением суспензии ЦБ родниковой водой 1:10 и 1:100. В неразбавленную суспензию (титр – $1{,}8 \cdot 10^8$ кл./мл) и разбавленные варианты помещали высечки (d=7 мм) из газона микромицета на среде Чапека. Через шесть суток экспозиции (режим – 24 °С, день/ночь = 16/8 ч) в фильтрате определяли токсины методом ВЭЖХ на хроматографе Shimadzu LC-20 (Япония).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кинетика сорбции ионов тяжелых металлов сухой биомассой цианобактерий Fischerella muscicola и Nostoc paludosum. Для описания кинетики сорбции ионов ТМ наиболее приемлемой оказалась модель псевдо-второго порядка и модифицированная модель второго порядка, по которым получены высокие и максимальные значения коэффициента детерминации (r^2 = 0,9305-0,9891) (табл. 1). Данные модели предполагают, что процесс сорбции лимитирует реакция ионного обмена. Модель псевдо-первого порядка (r^2 = 0,8533-0,9970) и модель Еловича (r^2 = 0,5015-0,8147) в меньшей степени подходят для описания кинетики сорбции ТМ.

Емкость сорбента характеризует такой параметр модели как равновесная (предельная) удельная масса сорбата, которая для разных ионов и видов ЦБ различалась не сильно, варьируя в пределах от 93,57 до 108,66 ммоль/г сорбента (табл. 2).

Значения кинетического коэффициента сорбции, который характеризует скорость сорбции, варьировали в более широких пределах от 2,3 до 11,1 мин$^{-1}$.

Наименьшие значения коэффициента были рассчитаны для ионов кадмия; в 1,9-2,6 раза выше была скорость сорбции ионов свинца и меди. Скорость сорбции ТМ *F. muscicola* была в 1,4-1,9 раза выше, чем *N. paludosum*.

Таблица 1. Результаты обработки (r^2) кинетических кривых сорбции ионов ТМ моделями химической кинетики
Table 1. Results of processing (r^2) kinetic curves of sorption of HM ions by chemical kinetics models

Ион Ion	**Сорбент** Sorbent	**Модель псевдо-первого порядка** Pseudo-first order model	**Модель псевдо-второго порядка** Pseudo-second order model	**Модифицированная модель второго порядка** Modified second-order model	**Модель Еловича** Elovich's model
Cu^{2+}	*F. muscicola*	**0,9695**	0,9682	0,9682	0,5201
	N. paludosum	0,9522	**0,9800**	**0,9800**	0,6215
Pb^{2+}	*F. muscicola*	**0,9854**	0,9492	0,9492	0,5015
	N. paludosum	**0,9970**	0,9305	0,9305	0,5041
Cd^{2+}	*F. muscicola*	0,8533	**0,9851**	**0,9891**	0,8147
	N. paludosum	0,9421	**0,9634**	**0,9634**	0,7522

Примечание: жирным шрифтом выделены наибольшие значения
Note: the highest values are in bold

Для того чтобы понять насколько быстро идет сорбция ТМ, использовали время достижения 95% от значения равновесной удельной масса сорбата ($t_{95\%}$) [20]. Согласно расчетам, сорбция происходит быстро, $t_{95\%}$ варьирует от 103 до 490 с (1,7-8,3 мин), что характерно для хемосорбции, которая обычно длится 5-10 мин [14]. Если сопоставить полученные результаты по ЦБ с данными по сухому мицелию грибов рода *Fusarium* [20], то значения скоростей и емкостей сорбции ТМ очень близки. По сравнению с традиционным сорбентом, активированным углем, емкость сорбции ионов меди(II) ЦБ в 1,3 раза, скорость – в 15-26 раз выше [17].

В ходе сорбции, наряду со снижением концентрации ионов ТМ в растворе, происходило снижение концентрации протонов (r = 0,9250-0,9884), то есть отмечали рост pH раствора (табл. 3). Более значительное увеличение pH (на 1,29-1,76 ед. pH) происходило при сорбции *F. muscicola*, чем при сорбции *N. paludosum* (на 0,41-0,72 ед. pH). Данный факт отмечен нами и ранее [20] и может быть обусловлен ионнообменным механизмом сорбции ТМ, что хорошо согласуется с литературными данными [14].

Таблица 2. Параметры модифицированной модели второго порядка для различных сорбентов
Table 2. Parameters of the modified second-order model for various sorbents

Параметр модели / Model parameter	**Сорбент** / Sorbent	**Cu^{2+}**	**Pb^{2+}**	**Cd^{2+}**
Равновесная удельная масса сорбата, ммоль/г	*F. muscicola*	100,6	102,4	108,7
Equilibrium specific gravity of the sorbate, mmol/g	*N. paludosum*	101,0	101,6	93,6
Константа скорости сорбции, мин$^{-1}$	*F. muscicola*	11,1	8,4	4,38
Sorption rate constant, min^{-1}	*N. paludosum*	6,18	6,12	2,34
Время $t_{95\%}$, с	*F. muscicola*	103	137	260
Time $t_{95\%}$, s	*N. paludosum*	184	187	490

Таблица 3. Кислотность раствора (pH) при сорбции ионов меди(II): изменение и корреляционная связь с pK(Cu^{2+}) (r)
Table 3. Acidity of solution (pH) during sorption of copper(II) ions: change and correlation with pK(Cu^{2+}) (r)

Ион Ion	**Сорбент** Sorbent	**pH в процессе сорбции** / pH during sorption			***r***
		в начале initially	**в конце** in the end	**Δ pH**	
Cu^{2+}	*F. muscicola*	5,67	6,96	+1,29	0,9884
	N. paludosum	5,67	6,08	+0,41	0,9250
Pb^{2+}	*F. muscicola*	5,54	7,30	+1,76	0,9878
	N. paludosum	5,49	6,21	+0,72	0,9852
Cd^{2+}	*F. muscicola*	5,61	7,43	+1,82	0,9447
	N. paludosum	5,62	6,28	+0,66	0,9441

Влияние цианобактерий Fischerella muscicola и Nostoc linckia на концентрацию фузариотоксинов в фильтрате среды их контактирования с F. culmorum. После контакта суспензии цианобактерий *Fischerella muscicola* и *Nostoc linckia* без разведения и с разведением 1:10, 1:100 с высечками из газона *F. culmorum* в фильтрате методом ВЭЖХ был обнаружен целый спектр токсинов, некоторые из них приведены в таблице 4.

Таблица 4. Концентрации фузариотоксинов в пробах фильтратов суспензией цианобактерий (n = 3, P = 0,95, δ = ±5%)
Table 4. Concentrations of fusariotoxins in samples of filtrates with a suspension of cyanobacteria (n = 3, P = 0,95, δ = ±5%)

С, мкг/см³ C, mcg/cm³	**Состав** / Composition			
	Контроль: высечка *F. culmorum* + ключевая вода Control: die cut *F. culmorum* + spring water	**ЦБ без разведения + высечка *F. culmorum*** Non-diluted CB + die cut *F. culmorum*	**ЦБ с разведением 1:10 + высечка *F. culmorum*** Diluted CB 1:10 + die cut *F. culmorum*	**ЦБ с разведением 1:100 + высечка *F. culmorum*** Diluted CB 1:100 + die cut *F. culmorum*
Fischerella muscicola				
Ликомаразмин Lycomarasmin	0,31	0,21	0,37	0,12
Фузариевая кислота Fusaric acid	0,07	0,08	0,09	0,30
Т-2 токсин T-2 Toxin	0,09	0,09	0,08	0,01
Дезоксиниваленол Deoxynivalenol	0,07	0,07	0,10	0,12
Nostoc linckia				
Ликомаразмин Lycomarasmin	0,49	0,17	0,36	0,16
Фузариевая кислота Fusaric acid	0,15	0,11	0,10	0,28
Т-2 токсин T-2 Toxin	0,11	0,08	0,11	0,03
Дезоксиниваленол Deoxynivalenol	0,11	0,10	0,14	0,18

Наиболее ярко выражено изменение концентрации фузариотоксинов в присутствии 4-х месячных культур цианобактерий *Fischerella muscicola* и *Nostoc linckia* с титром $1{,}8 \cdot 10^6$ кл./мл (разведение 1:100): происходит снижение в среде Т-2 токсина и ликомаразмина по сравнению с вариантом без ЦБ. Однако при этом увеличиваются концентрации фузариевой кислоты и дезоксиниваленола. В варианте, где титр ЦБ равен $1{,}8 \cdot 10^7$ кл./мл, значимо снижается концентрация ликомаразмина, при этом не происходит изменений концентрации иных фузариотоксинов. Следовательно, влияние ЦБ специфично по отношению к биосинтезу отдельных фузариотоксинов. Присутствие ЦБ может приводить как к снижению их биосинтеза, так, и наоборот, что может быть следствием особенностей физиологии микроорганизмов и биохимического состава продуктов метаболизма. Во всех остальных вариантах какого-либо заметного влияния на биосинтез фузариотоксинов ЦБ не оказали.

Кроме влияния ЦБ на биосинтез фузариотоксинов, концентрация последних в фильтрате может зависеть от их сорбции компонентами суспензии, в том числе и клетками ЦБ. Существуют сведения о том, что вещества, вырабатываемые ЦБ, обладают сорбционными свойствами по отношению к некоторым органическим соединениям [21]. Явление сорбции наравне с процессом влияния на биосинтез может быть причиной отсутствия закономерностей «разбавление суспензии ЦБ – концентрация токсина».

Возможность снижать концентрацию фузариотоксинов дает повод полагать, что существует вероятность найти и выделить активные вещества ЦБ, способные подавлять биосинтез определенных токсинов микромицетов рода *Fusarium*, как снижая фитотоксичность сред произрастания растений, так и повышая безопасность продукции растениеводства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оба вида ЦБ *Fischerella muscicola* и *Nostoc linckia* влияют на биосинтез фузариотоксинов микромицетами *Fusarium culmorum*. Установлено, что данные виды ЦБ вносят большие изменения при титре $1{,}8 \cdot 10^6$ кл./мл (разведение 1:100), при этом резко подавляется биосинтез Т-2 токсина и ликомаразмина, но усиливается продукция фузариевой кислоты и дезоксиниваленола. При разбавлении 1:10 концентрация ликомаразмина снижается при практически неизменных значениях концентраций других токсинов. В целом отсутствует закономерность «разбавление ЦБ – концентрация фузариотоксинов в растворе», что может быть причиной не только особенностей биосинтеза в присутствии разных разбавлений ЦБ, но и сорбционных процессов. Цианобактерии могут не только влиять на биосинтез фузариотоксинов, но и сорбировать тяжелые металлы, которые могут быть причиной преимущественного развития фузариума.

Кинетика сорбции ионов ТМ сухой биомассой *Fischerella muscicola* и *Nostoc paludosum* хорошо описывается модифицированной моделью второго порядка, которая предполагает, что процесс сорбции лимитирует реакция ионного обмена. Расчет параметров модели показал, что сорбционные емкости двух видов ЦБ для ионов меди(II), свинца(II) и кадмия различалась не сильно. Скорость сорбции ТМ *F. muscicola* была до 2 раз выше, чем *N. paludosum*, при

этом для *F. muscicola* происходило более сильный рост pH. Между концентрациями ионов ТМ и протонов в растворе установлена высокая прямая корреляционная связь, что может быть обусловлено ионнообменным механизмом сорбции ТМ. Таким образом, сухая биомасса ЦБ, обладая относительно высоким сорбционным потенциалом, может выступать в качестве хорошего биосорбента по отношению к ионам меди(II), свинца(II) и кадмия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН № 0414-2018-0003.

ACKNOWLEDGMENT

This study was performed as part of the state assignment of the Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences N 0414-2018-0003.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Strausbaugh C.A., Overturf K.E., Koehn A.C. Pathogenicity and real-time PCR detection of *Fusarium* spp. in wheat and barley roots // Canadian Journal of Plant Pathology. 2005. V. 27. Iss. 3. P. 430-438. DOI: 10.1080/07060660509507242
2. Ahammed G.J., Mao Q., Yan Y., Wu M., Wang Y., Ren J., Guo P., Liu A., Chen S. Role of Melatonin in Arbuscular Mycorrhizal Fungi-Induced Resistance to Fusarium Wilt in Cucumber // Phytopathology. 2020. V. 110. N 5. P. 999-1009. DOI: 10.1094/PHYTO-11-19-0435-R
3. Bhat R., Rai R.V., Karim A.A. Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2010. V. 9. N 1. P. 57-81. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2009.00094.x
4. Haggag W., Abd El-Aty A.M., Mohamed A.A. The Potential Effect of two Cyanobacterial Species; Anabaena Sphaerica and Oscillatoria Agardhii Against Grain Storage Fungi // European Scientific Journal. 2014. V. 10. Iss. 30. P. 427-423.
5. Домрачева Л.И., Фокина А.И., Ковина А.Л., Ашихмина Т.Я. Экзометаболиты почвенных цианобактерий как стратегия выживания в естественных и техногенно нарушенных экосистемах // Теоретическая и прикладная экология. 2019. N 4. P. 15-23. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-015-023
6. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Попов Л.Б., Зыкова Ю.Н. Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2009. N. 1. P. 8-17.
7. Fokina A.I., Dabakh E.V., Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Lyalina E.I., Ashikhmina T.Ya., Zykova Yu.N., Leonova K.A. Methodological approaches toward chemico-biological diagnostics of the state of soils in technogenically transformed territories // Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. N 5. P. 550-560. DOI: 10.1134/S1064229318030031
8. Cepas V., López Y., Gabasa Y., Martins C.B., Ferreira J.D., Correia M.J., Santos L.M., Oliveira F., Ramos V., Reis M., Castelo-Branco R., Morais J., Vasconcelos V., Probert I., Guilloud E., Mehiri M., Soto S.M. Inhibition of Bacterial and Fungal Biofilm Formation by 675 Extracts from Microalgae and Cyanobacteria // Antibiotics. 2019. V. 8. N 2.article number: 77. DOI: 10.3390/antibiotics8020077
9. Kosová K., Chrpová J., Šantrůček J., Hynek R., Štěrbová L., Vítámvás P., Bradová J., Prášil I.T. The Effect of *Fusarium culmorum* Infection and Deoxynivalenol (DON) Application on Proteome Response in Barley Cultivars Chevron and Pedant // Journal of Proteomics. 2017. V. 169. P. 112-124. DOI: 10.1016/j.jprot.2017.07.005
10. Shalaby E.A. Influence of A biotic stress on biosynthesis of alga-chemicals and its relation to biological activities // Indian Journal of Geo-Marine Sciences. 2017. V. 46. N1. P. 23-32.
11. Tannin-Spitz T., Bergman M., van-Moppes D., Grossman S., Arad S.(M.) Antioxidant activity of the polysaccharide of the red microalga *Porphyridium* sp. // Journal of Applied Phycology. 2005. V. 17. Iss. 3. P. 215-222. DOI: 10.1007/s10811-005-0679-7
12. Boba A., Kostyn K., Kozak B., Wojtasik W., Preisner M., Prescha A., Gola E.M., Lysh D., Dudek B., Szopa J., Kulma A. *Fusarium oxysporum* infection activates the plastidial branch of the terpenoid biosynthesis pathway in flax, leading to increased aba synthesis // Planta. 2020. V. 251. Article number: 50. DOI: 10.1007/s00425-020-03339-9
13. Фокина А.И., Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Горностаева Е.А., Огородникова С.Ю. Тяжелые металлы как фактор изменения метаболизма у микроорганизмов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2015. N 2. С. 5-18. DOI: 10.25750/1995-4301-2015-2-005-018
14. Singh S. Biosorption of heavy metals by cyanobacteria: potential of live and dead cells in bioremediation. In: Shah M. (ed.) Microbial Bioremediation & Biodegradation. Springer, Singapore, 2020. P. 409-423. DOI: 10.1007/978-981-15-1812-6_15
15. Morsy F.M., Hassan S.H.A., Koutb M. Biosorption of Cd(II) and Zn(II) by *Nostoc commune*: isotherm and kinetics studies // CLEAN-Soil, Air, Water. 2011. V. 36. Iss. 7. P. 680-687. DOI: 10.1002/clen.201000312
16. Safari M., Ahmady-Asbchin S. Biosorption of zinc from aqueous solution by cyanobacterium *Fischerella ambigua* ISC67: optimization, kinetic, isotherm and thermodynamic studies // Water Sci. Technol. 2018. V. 78. Iss. 7. P. 1525-1534. DOI: 10.2166/wst.2018.437
17. Скугорева С.Г., Кантор Г.Я., Домрачева Л.И., Кутявина Т.И. Сравнительный анализ эффективности использования сорбентов различной природы по отношению к ионам меди (II) // Теоретическая и прикладная экология. 2018. N 3. С. 12-18. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-3-012-018
18. Ho Y.S., Ng J.C.Y., McKay G. Kinetics of pollutant sorption by biosorbents: review // Separ. Purif. Methods. 2000. V. 29. Iss. 2. P. 189-232. DOI: 10.1081/SPM-100100009
19. Cheung W.H., Ng J.C.Y., McKay G. Kinetic analysis of the sorption of copper (II) ions on chitosan // J. Chem. Technol. Biotechnol. 2003. V. 78. Iss. 5. P. 562-571. DOI: 10.1002/jctb.836
20. Скугорева С.Г., Кантор Г.Я., Домрачева Л.И., Шешегова Т.К. Оценка сорбционных способностей различных видов микромицетов рода *Fusarium* по отношению к ионам тяжёлых металлов // Теоретическая и прикладная экология. 2019. N 4. С. 102-109. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-103-109

21. Flemming H-C. Sorption sites in biofilms // Water Sci Technol. 1995. V. 32. Iss. 8. P. 27-33. DOI: 10.2166/wst.1995.0256

REFERENCES

1. Strausbaugh C.A., Overturf K.E., Koehn A.C. Pathogenicity and real-time PCR detection of *Fusarium* spp. in wheat and barley roots. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2005, vol. 27, iss. 3, pp. 430-438. DOI: 10.1080/07060660509507242
2. Ahammed G.J., Mao Q., Yan Y., Wu M., Wang Y., Ren J., Guo P., Liu A., Chen S. Role of Melatonin in Arbuscular Mycorrhizal Fungi-Induced Resistance to Fusarium Wilt in Cucumber. *Phytopathology*, 2020, vol. 110, no. 5, pp. 999-1009. DOI: 10.1094/PHYTO-11-19-0435-R
3. Bhat R., Rai R.V., Karim A.A. Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2010, vol. 9, no. 1, pp. 57-81. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2009.00094.x
4. Haggag W., Abd El-Aty A.M., Mohamed A.A. The Potential Effect of two Cyanobacterial Species; Anabaena Sphaerica and Oscillatoria Agardhii Against Grain Storage Fungi. European Scientific Journal. 2014, vol. 10, iss. 30, pp. 427-423.
5. Domracheva L.I., Fokina A.I., Kovina A.L., Ashikhmina T.Ya. Exometabolites of soil cyanobacteria as a survival strategy in natural and technogenically disturbed ecosystems. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 4, pp. 15-23. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-015-023
6. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Popov L.B., Zykova Yu.N. Bioremediation capabilities of soil cyanobacteria (review). Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]. 2009, no. 1, pp. 8-17. (In Russian)
7. Fokina A.I., Dabakh E.V., Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Lyalina E.I., Ashikhmina T.Ya., Zykova Yu.N., Leonova K.A. Methodological approaches toward chemico-biological diagnostics of the state of soils in technogenically transformed territories. *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 5, pp. 550-560. DOI: 10.1134/S1064229318030031
8. Cepas V., López Y., Gabasa Y., Martins C.B., Ferreira J.D., Correia M.J., Santos L.M., Oliveira F., Ramos V., Reis M., Castelo-Branco R., Morais J., Vasconcelos V., Probert I., Guilloud E., Mehiri M., Soto S.M. Inhibition of Bacterial and Fungal Biofilm Formation by 675 Extracts from Microalgae and Cyanobacteria. *Antibiotics,* 2019, vol. 8, no. 2, 77 p. DOI: 10.3390/antibiotics8020077
9. Kosová K., Chrpová J., Šantrůček J., Hynek R., Štěrbová L., Vítámvás P., Bradová J., Prášil I.T. The Effect of *Fusarium culmorum* Infection and Deoxynivalenol (DON) Application on Proteome Response in Barley Cultivars Chevron and Pedant. *Journal of Proteomics*, 2017, vol. 169, pp. 112-124. DOI: 10.1016/j.jprot.2017.07.005
10. Shalaby E.A. Influence of A biotic stress on biosynthesis of alga-chemicals and its relation to biological activities. Indian Journal of Geo-Marine Sciences. 2017, vol. 46, no. 1, pp. 23-32.
11. Tannin-Spitz T., Bergman M., van-Moppes D., Grossman S., Arad S.(M.) Antioxidant activity of the polysaccharide of the red microalga *Porphyridium* sp. *Journal of Applied Phycology*, 2005, vol. 17, iss. 3, pp. 215-222. DOI: 10.1007/s10811-005-0679-7
12. Boba A., Kostyn K., Kozak B., Wojtasik W., Preisner M., Prescha A., Gola E.M., Lysh D., Dudek B., Szopa J., Kulma A. *Fusarium oxysporum* infection activates the plastidial branch of the terpenoid biosynthesis pathway in flax, leading to increased aba synthesis. *Planta*, 2020, vol. 251, article number: 50. DOI: 10.1007/s00425-020-03339-9
13. Fokina A.I., Ashikhmina T.Ya., Domracheva L.I., Gornostaeva E.A., Ogorodnikova S.Yu. Heavy metals as a factor in changes in the metabolism of microorganisms (review). *Theoretical and Applied Ecology*, 2015, no. 2, pp. 5-18. (In Russian). DOI: 10.25750/1995-4301-2015-2-005-018
14. Singh S. Biosorption of heavy metals by cyanobacteria: potential of live and dead cells in bioremediation. In: Shah M. (ed.) Microbial Bioremediation & Biodegradation. Springer, Singapore, 2020, pp. 409-423. DOI: 10.1007/978-981-15-1812-6_15
15. Morsy F.M., Hassan S.H.A., Koutb M. Biosorption of Cd(II) and Zn(II) by *Nostoc commune*: isotherm and kinetics studies. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 2011, vol. 36, iss. 7, pp. 680-687. DOI: 10.1002/clen.201000312
16. Safari M., Ahmady-Asbchin S. Biosorption of zinc from aqueous solution by cyanobacterium *Fischerella ambigua* ISC67: optimization, kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Water Sci. Technol.*, 2018, vol. 78, iss. 7, pp. 1525-1534. DOI: 10.2166/wst.2018.437
17. Skugoreva S.G., Kantor G.Ya., Domracheva L.I., Kutyavina T.I. Comparative analysis of the effectiveness of the use of sorbents of different nature with respect to copper (II) ions. *Theoretical and Applied Ecology*, 2018, no. 3, pp. 12-18. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2018-3-012-018
18. Ho Y.S., Ng J.C.Y., McKay G. Kinetics of pollutant sorption by biosorbents: review. *Separ. Purif. Methods*, 2000, vol. 29, iss. 2, pp. 189-232. DOI: 10.1081/SPM-100100009
19. Cheung W.H., Ng J.C.Y., McKay G. Kinetic analysis of the sorption of copper (II) ions on chitosan. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 2003, vol. 78, iss. 5, pp. 562-571. DOI: 10.1002/jctb.836
20. Skugoreva S.G., Kantor G.Ya., Domracheva L.I., Sheshegova T.K. Assessment of sorption abilities of various species of *Fusarium* micromycetes in relation to heavy metal ions. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 4, pp. 102-109. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-103-109
21. Flemming H-C. Sorption sites in biofilms. *Water Sci Technol.*, 1995, vol. 32, iss. 8, pp. 27-33. DOI: 10.2166/wst.1995.0256

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Людмила И. Домрачева выполняла работы по культивированию биомассы цианобактерий и микромицета *Fusarium culmorum* для проведения модельных экспериментов, руководство проведением

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Lyudmila I. Domracheva performed work on the cultivation of biomass of cyanobacteria and *Fusarium culmorum micromycete* for the conduct of model experiments, managed experimental work and generalized the results.

экспериментальной работы, обобщение результатов. Светлана Г. Скугорева проводила модельный эксперимент по изучению кинетики сорбции сухой биомассой цианобактерий *Fischerella muscicola* и *Nostoc paludosum* ионов тяжелых металлов из растворов. Анна И. Фокина проводила эксперимент по исследованию влияния цианобактерий *Fischerella muscicola* и *Nostoc linckia* на концентрацию фузариотоксинов в фильтрате среды их контактирования с *F. culmorum.* Максим А. Загоскин обрабатывал первичные данные по определению токсинов методом ВЭЖХ на хроматографе Shimadzu LC-20, подбирал и обобщал материал для написания введения к статье. Тамара Я. Ашихмина разработала концепцию и осуществляла общее руководство исследованием. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

Svetlana G. Skugoreva conducted a model experiment to study the kinetics of sorption by dry biomass of cyanobacteria *Fischerella muscicola* and *Nostoc paludosum* heavy metal ions from solutions. Anna I. Fokina conducted an experiment to study the effect of cyanobacteria *Fischerella muscicola* and *Nostoc linckia* on the concentration of fusariotoxins in the filtrate of the medium of their contact with *F. culmorum*. Maksim A. Zagoskin processed primary data on the determination of toxins by HPLC on a Shimadzu LC-20 chromatograph, selected and synthesized material for writing an introduction to the article. Tamara Ya. Ashikhmina developed the concept and provided general guidance for the study.All authors 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

Людмила И. Домрачева / Lyudmila I. Domracheva https://orcid.org/0000-0002-7104-3337
Светлана Г. Скугорева / Svetlana G. Skugoreva https://orcid.org/0000-0003-2371-4949
Анна И. Фокина / Anna I. Fokina https://orcid.org/0000-0001-8265-8882
Максим А. Загоскин / Maksim A. Zagoskin https://orcid.org/0000-0002-9130-8232
Тамара Я. Ашихмина / Tamara Ya. Ashikhmina https://orcid.org/0000-0003-4919-0047

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.453
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-61-75

Биодиагностика устойчивости почв юга России к загрязнению серебром

Сергей И. Колесников, Наталья И. Цепина, Татьяна В. Минникова, Людмила В. Судьина, Камиль Ш. Казеев
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Контактное лицо
Наталья И. Цепина, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник НОЦ «Экология и природопользование», Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет; 344090 Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1.
Тел. +79061828021
Email cepinanatalia@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0483-9829

Формат цитирования
Колесников С.И., Цепина Н.И., Минникова Т.В., Судьина Л.В., Казеев К.Ш. Биодиагностика устойчивости почв юга России к загрязнению серебром // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 61-75. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-61-75

Получена 3 марта 2020 г.
Прошла рецензирование 5 августа 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме
Цель. Дать оценку устойчивости почв юга России к загрязнению серебром по биологическим показателям.
Методы. Загрязнение почв юга России (чернозем обыкновенный, серопески и бурая лесная почва) серебром моделировали в лабораторных условиях. Почвы загрязняли водорастворимым нитратом серебра с целью выявления максимальной экотоксичности серебра. Устойчивость почв оценивали по наиболее чувствительным и информативным биологическим показателям в динамике через 10, 30 и 90 суток после загрязнения.
Результаты. Загрязнение серебром ингибирует активность оксидоредуктаз (каталазы и дегидрогеназ), снижает общую численность бактерий, рост и развитие редиса. Для всех почв отмечена прямая зависимость между концентрацией серебра и степенью ухудшения свойств почв. Токсическое действие серебра наиболее сильно проявилось на 30-е сутки после загрязнения. По устойчивости к загрязнению серебром исследованные почвы образуют следующий ряд: чернозем обыкновенный > серопески ≥ бурая лесная почва.
Заключение. Легкий гранулометрический состав серопесков и кислая реакция среды бурых лесных почв, а также низкое содержание органического вещества, способствуют высокой подвижности и высокой экотоксичности серебра в этих почвах. Разработаны региональные предельно допустимые концентрации (рПДК) содержания серебра в черноземах обыкновенных, серопесках и бурых лесных почвах – 4,4, 0,9 и 0,8 мг/кг соответственно.

Ключевые слова
Биодиагностика, серебро, загрязнение, чернозем обыкновенный, бурая лесная почва, серопески, почвенные бактерии, ферментативная активность, фитотоксичность.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Biodiagnostics of stability of soils of southern Russia to silver pollution

Sergey I. Kolesnikov, Natalya I. Tsepina, Tatyana V. Minnikova, Lyudmila V. Sudina and Kamil Sh. Kazeev
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Principal contact
Natalia I. Tsepina, Candidate of Biological Sciences, junior researcher, Ecology and Nature Management Scientific-Educational Centre, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University; 194/1 Stachki Ave., Rostov-on-Don, Russia 344090.
Tel. +79061828021
Email cepinanatalia@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0483-9829

How to cite this article
Kolesnikov S.I., Tsepina N.I., Minnikova T.V., Sudina L.V., Kazeev K.Sh. Biodiagnostics of stability of soils of southern Russia to silver pollution. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 61-75. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-61-75

Received 3 March 2020
Revised 5 August 2020
Accepted 21 September 2020

Abstract
Aim. To assess the resistance of soils in the south of Russia to silver pollution using biological indicators.
Methods. The contamination of soils in southern Russia (ordinary chernozem, grey sandy and brown forest soils) was simulated with silver under laboratory conditions. Soils were contaminated with water-soluble silver nitrate in order to reveal the maximum ecotoxicity of silver. Soil stability was assessed according to the most sensitive and informative biological parameters in dynamics of 10, 30 and 90 days after pollution.
Results. Silver contamination inhibits the activity of oxidoreductases (catalase and dehydrogenases), reduces the total number of bacteria and the growth and development of radish. For all soils, a direct relationship was noted between silver concentration and the degree of deterioration of soil properties. The toxic effect of silver was most pronounced on the 30th day after contamination. According to their resistance to silver pollution, the soils investigated form the following sequence: ordinary chernozem> grey sandy soil ≥ brown forest soil.
Conclusion. The light granulometric composition of grey sandy soils and the acidic reaction of the environment of brown forest soils, as well as the low organic matter content, contribute to the high mobility and high ecotoxicity of silver in these soils. Regional maximum permissible concentrations (MPCs) of silver content in ordinary chernozems, grey sandy and brown forest soils have been determined as - 4.4, 0.9 and 0.8 mg/kg, respectively.

Key Words
Biodiagnostics, silver, pollution, ordinary chernozem, brown forest soil, grey sandy soil, soil bacteria, enzymatic activity, phytotoxicity.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение почв тяжелыми металлами широко распространено в России. К тяжелым металлам относят широкий диапазон металлов и металлоидов с плотностью более 5 г / $см^3$ (свинец, медь, никель, хром и др.) [1]. Если токсическое действие широкого ряда металлов и нефтепродуктов на состояние почв России изучено многими авторами, то воздействие серебра и его соединений на почвы изучено недостаточно [2-11]. Наибольшая степень техногенного загрязнения почв серебром представлена в промышленных зонах крупных городских агломераций. В таких зонах высокая плотность населения и основных источников загрязнения серебром: теплоэлектростанции с сжиганием угля, предприятия цветной и черной металлургии, цементные заводы, полигоны твердых бытовых отходов, производство фото- и электротехнических материалов, применение пестицидов, использование осадков сточных вод в качестве удобрений и др. [12-15]. Известно, что при сжигании угля в атмосферу поступает 50% от общей массы, содержащегося в нем серебра [16]. За полувековой период в Китае произведено путем сжигания угля около 3864 тонн серебра [17].

Содержание серебра и его токсичность по отношению к окружающей среде за последние полвека растет с экспоненциальной скоростью с тенденций к увеличению [18-20]. В загрязненных почвах содержание серебра по различным источникам составляет до 8 мг/кг [21], 9 мг/кг [22], 23 мг/кг [23], 35,9 мг/кг [24], до 7000 мг/кг в почвах рудных месторождений [25].

Серебро вызывает ингибирование активности ферментов и снижение проницаемости биологических мембран, повреждение ДНК, нарушение метаболизма и вызывает смерть клеток [4; 26-31].

Ингибирование активности ферментов тяжелыми металлами обусловлено, тем, что тяжелые металлы ингибируют ферментативную активность главным образом за счет конкуренции за активные центры фермента с субстратом, денатурирования белка фермента и образования одновалентной связи с комплексами фермент-субстрат [32]. Подобные механизмы регулирования связаны со структурой почв и реакцией почвенной среды [33; 34]. Среди ферментов наиболее чувствительным к антропогенному загрязнению считают оксидоредуктазы. Оксидоредуктазы (каталаза, дегидрогеназы, пероксидазы и полифенолоксидазы) функционально важны для разложения загрязняющих веществ, трансформации органического вещества и поддержания метаболизма микроорганизмов [35; 36]. Дегидрогеназы представляют собой разновидность внутриклеточных оксидоредуктаз и играют существенную роль на начальных стадиях окисления органического вещества почвы путем переноса электронов или водорода из субстратов в акцепторы. Каталазы почв при загрязнении почв нефтяными углеводородами и тяжелыми металлами снижаются [37]. Активность каталазы связана с метаболической активностью аэробных организмов и часто используется в качестве индикатора плодородия почвы, благодаря своей стабильности активность каталазы коррелирует с содержанием органического углерода. Кроме того, определение активности окислительно-восстановительных ферментов является достаточно простым и недорогим в лабораторных условиях.

Влияние серебра на биологическое состояние почв юга России и установление допустимых концентраций элемента в почве приоритетная задача в экологии и биологии почв.

Цель исследования – дать оценку устойчивости почв юга России к загрязнению серебром по биологическим показателям.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовали различные по географии почвы юга России, с разными физическими свойствами, определяющими устойчивость к загрязнению тяжелыми металлами: чернозем обыкновенный, серопески – чернозем обыкновенный супесчаный, бурая лесная кислая почва (табл. 1). Почвы различаются по своему гранулометрическому составу, показателю кислотности почв, содержанию органического вещества. В незагрязненной почве содержание серебра по данным разных авторов составляет от 0,01 до 1,0 мг/кг [22; 38; 39]. Почва была отобрана из верхнего слоя 0-10 см, поскольку серебро обычно накапливается в поверхностных слоях почвы.

Загрязнение почв серебром моделировали в лабораторных условиях. При загрязнении серебро в почву поступает в форме сульфатов и сульфидов, и также в форме наночастиц [40-42]. Многие авторы наиболее токсичным соединением считают нитрат серебра [43-45]. Нитрат серебра является хорошо растворимым в воде веществом. Это позволяет оценить максимальную токсичность серебра, а также добиться равномерного распределения серебра в почве.

Токсичность тяжелых металлов в почве начинает проявляться, начиная с 3-4 фоновых концентраций в почве [46]. Фоновое содержание серебра в черноземе обыкновенном составляет 0.303 мг/кг, бурой лесной почве – 0.282 мг/кг, серопесках – 0.215 мг/кг (содержание серебра в почвах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой). Соответственно, загрязнение почвы серебром проводили в расчете 3 фоновых концентраций элемента или 1 условно допустимой концентрации (УДК) [47] в почве равной 1 мг/кг. Серебро вносили в почву в количестве 3, 30 и 300 фоновых концентраций: 1, 10 и 100 мг/кг соответственно. Поскольку содержание серебра в загрязненных почвах часто достигает 35 мг/кг [24], а в почвах рудных месторождений до 7000 мг/кг [25], то исследуемые концентрации и даже большие концентрации серебра в почве уже встречаются. Кроме того, одна из задач исследования – дать прогноз возможных негативных последствий такого уровня загрязнения.

Серебро вносили в форме раствора нитрата серебра в пересчете на концентрацию элемента. При температуре 20-22°С в вегетационный сосуд с почвой, просеянной через сито с диаметром ячеек 3 мм, вносили раствор нитрата серебра и увлажняли до 60% от полевой влагоемкости. Инкубацию почв проводили в

течение 10, 30 и 90 суток. В первой части эксперимента оценивали изменение биологических показателей разных почв юга России (чернозема обыкновенного, серопесков, бурой лесной почвы) при краткосрочном воздействии (10 суток) загрязнителя. Во второй части эксперимента изменение биологических показателей чернозема обыкновенного через 10, 30 и 90 суток после загрязнения серебром.

Таблица 1. Характеристика свойств почв
Table 1. Characterisation of soil properties

Тип почв (по WRB, 2015) Soil type (according to WRB, 2015)	**Место отбора проб** Sampling point	**Координаты** Coordinates	**Содержание гумуса, %** Humus content,%	**pH**
чернозем обыкновенный ordinary chernozems – Haplic Chernozems Loamic	**Ботанический сад ЮФУ, г. Ростов-на-Дону** Botanical Garden of SFU, Rostov-on-Don	47°14'17.54"N, 39°38'33.22"E	3,7	7,8
серопески grey sandy soils – Haplic Arenosols Eutric	**Ростовская область, Усть-Донецкий р-н, ст. Верхнекундрюченская** Rostov region, Ust-Donetsk district, Verkhnekundryuchenskaya stanitsa	47°46.015'N, 40°51.700'E	2,3	6,8
бурые лесные почвы brown forest soils – Haplic Cambisols Eutric	**Республика Адыгея, Майкопский район, п. Никель** Republic of Adygea, Maykop district, Nickel settlement	44°10.649'N, 40°9.469'E	1,8	5,8

При биологической диагностике состояния почв после химического загрязнения целесообразно использовать биологические показатели [48]. Биологические свойства почв определяли с использованием общепринятых в экологии и почвоведении методов исследования в 3-6ти кратной аналитической повторности оценивали общую численность почвенных бактерий методом люминесцентной микроскопии на микроскопе Carl Zeiss Axio Lab; обилие бактерий рода *Azotobacter* определяли методом комочков обрастания на микробиологической среде Эшби; активность каталазы (H_2O_2:H_2O_2-оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.6.) определяли волюметрическим методом по методу А.Ш. Галстяна (1978) по объему разложенной перекиси водорода за 1 мин, в мл O_2 в 1 г почвы за 1 минуту; активность дегидрогеназ (субстрат : НАД (Ф) – оксидоредуктазы, КФ 1.1.1) определяли по методу А.Ш. Галстяна (1978) по восстановлению солей тетразолия в формазаны в мг трифенилформазана в 1 г почвы за 24 часа; фитотоксичность почв оценивали по всхожести семян редиса (*Raphanus sativus* L.) сорт «16 дней», длине побегов и корней через 7 дней после посадки [49]. Выбор этих биологических показателей для оценки состояния почвы при загрязнении серебром позволяет дать наиболее информативную картину протекающих биологических процессов в почве, ее экологического состояния и оценить динамику состояние в результате восстановления функций почвы [47; 48; 50-52].

Для оценки состояния почвы по данным биологических показателей был использован результат расчета интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) почвы [48]. Расчет ИПБС позволяет сравнить разные биологические показатели с отличными единицами измерения и позволяет сделать вывод о состоянии почв после загрязнения.

Для проверки полученных данных на достоверность был проведен дисперсионный анализ с последующим определением наименьшей существенной разности (НСР). Если разница между вариантами опыта больше НСР, то воздействие статистически достоверно.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что загрязнение серебром в большинстве случаев ведет к ухудшению биологический свойств почв юга России (рис. 1-4, табл. 1-4). Степень снижения биологических свойств зависит от концентрации серебра в почве и срока от момента загрязнения. В большинстве вариантов отмечается прямая зависимость между концентрацией серебра и степенью ухудшения исследуемых свойств почв. По активности ферментов с ростом концентрации серебра в почве наибольшее снижение наблюдали по активности дегидрогеназ. Активность дегидрогеназ в серопесках и бурой лесной почве снижается уже при дозе 1 мг/кг на 16 и 21% соответственно.

Активность дегидрогеназ в серопесках и бурой лесной почве при увеличении концентрации серебра до 10 мг/кг снизилась на 39 и 42% соответственно. С ростом дозы до 100 мг/кг ингибирование активности дегидрогеназ отмечено для бурых лесных почв- 58% относительно контроля. При этом известны случаи, когда малые дозы серебра оказывали стимулирующее действие на активность уреазы и фосфатазы, длину корней редиса, пшеницы, фасоли и кукурузы, процесс нитрификации [53-56]. Активность дегидрогеназ чернозема обыкновенного снижалась только при дозе 100 мг/кг на 56%. Активность каталазы была меньше ингибирована, чем активность дегидрогеназ. Активность каталазы серопесок и бурой лесной почвы с ростом концентрации снижалась на 14-28%.

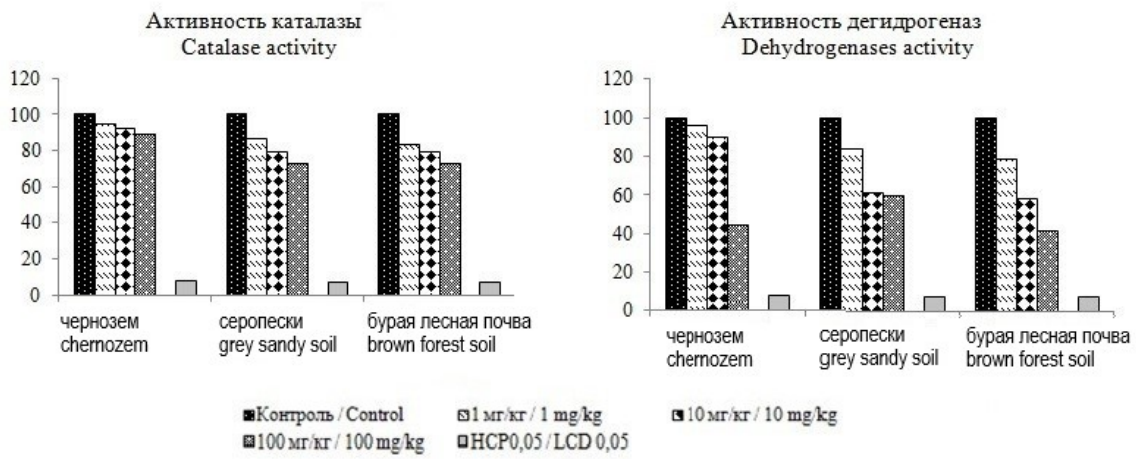


Рисунок 1. Изменение ферментативной активности почв юга России при загрязнении серебром через 10 суток, % от контроля
Figure 1. Change in enzymatic activity of soils in southern Russia following silver contamination after 10 days, % of control

Численность почвенных бактерий с ростом дозы снижалась во всех типах почв (рис. 2). При концентрации 1 мг/кг наибольшее ингибирование численности почвенных бактерий наблюдали в серопесках и бурой лесной почвах – 25 и 22% соответственно. При росте концентрации серебра до 10 мг/кг наблюдали снижение численности бактерий на 24, 39 и 47% относительно контроля для чернозема, серопесок и бурой лесной почвы.

При 10-ти кратном увеличении концентрации серебра в черноземе, серопесках и бурой лесной почве численность бактерий снизилась на 49, 51 и 52% соответственно.

Изменение фитотоксических показателей почв после загрязнения серебром представлены на рисунке 3.

Длина побегов редиса снижалась на серопесках и бурой лесной почве при концентрации 10 мг/кг на 25 и 16% соответственно. При повышении концентрации до 100 мг/кг длина побегов редиса была ингибирована на 53 и 45% соответственно. Длина корней редиса, выращенного на серопесках и черноземе, также снижалась на 12 и 24% при концентрации 10 мг/кг, и на 24 и 29% при концентрации 100 мг/кг. Таким образом, при общем росте численности длина побегов и корней на серопесках и бурой лесной почве была сильно деформирована и на 15-50% меньше чем в контрольном варианте.

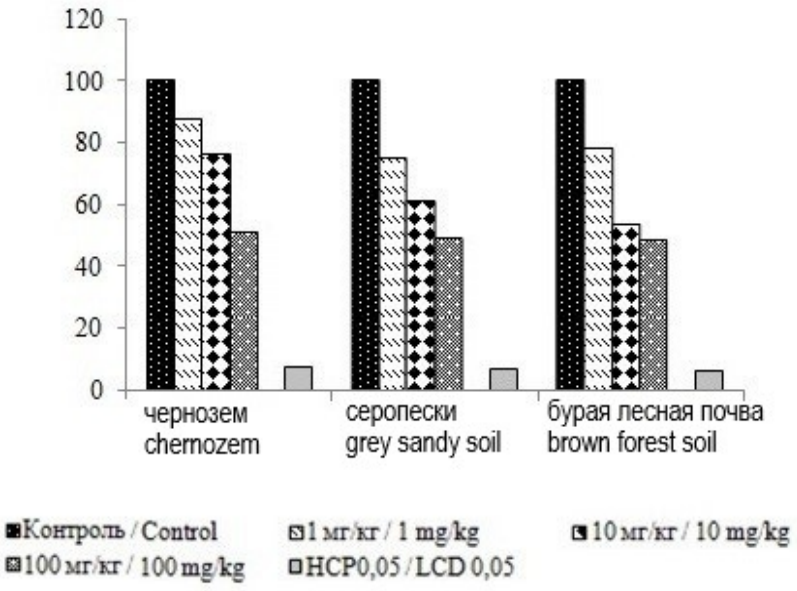


Рисунок 2. Изменение общей численности бактерий почв юга России при загрязнении серебром через 10 суток, % от контроля
Figure 2. Change in total number of soil bacteria in southern Russia following silver contamination after 10 days, % of control

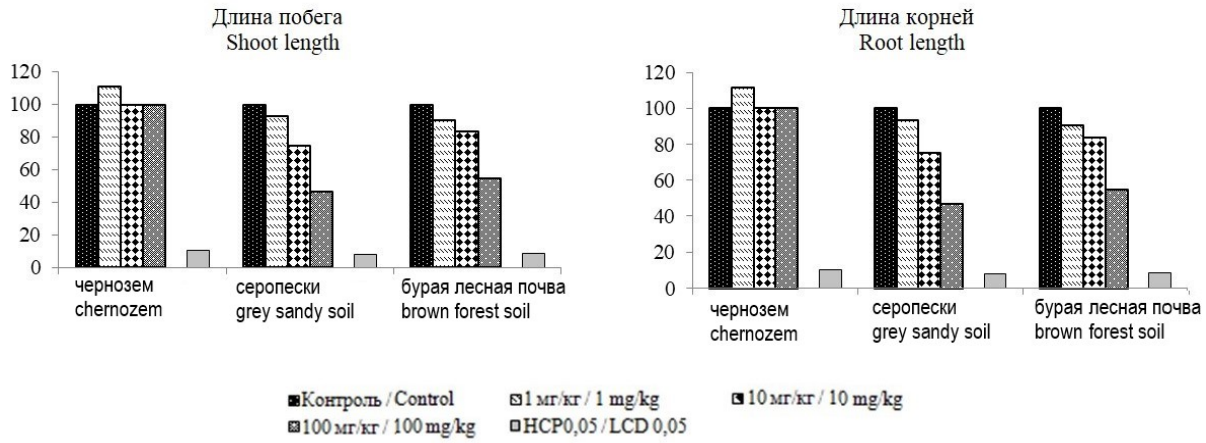


Рисунок 3. Изменение фитотоксических показателей почв юга России при загрязнении серебром через 10 суток, % от контроля
Figure 3. Change in phytotoxicity indicators of soils of southern Russia following contamination with silver after 10 days, % of control

Интегральный показатель биологического состояния почв был рассчитан по всем биологическим показателям каждого типа почв (рис. 4).

При сравнении устойчивости трех типов почв к загрязнению серебром был получен следующий ряд: чернозем обыкновенный > серопески ≥ бурая лесная почва. Наибольшая чувствительность серопесков и бурой лесной почвы обусловлена кислой реакцией среды (pH = 5,8) и легким гранулометрическим составом, а также низкое содержание органического вещества (1,8 и 2,3% соответственно), что способствует высокой подвижности и, как следствие, высокой экотоксичности серебра в этих почвах.

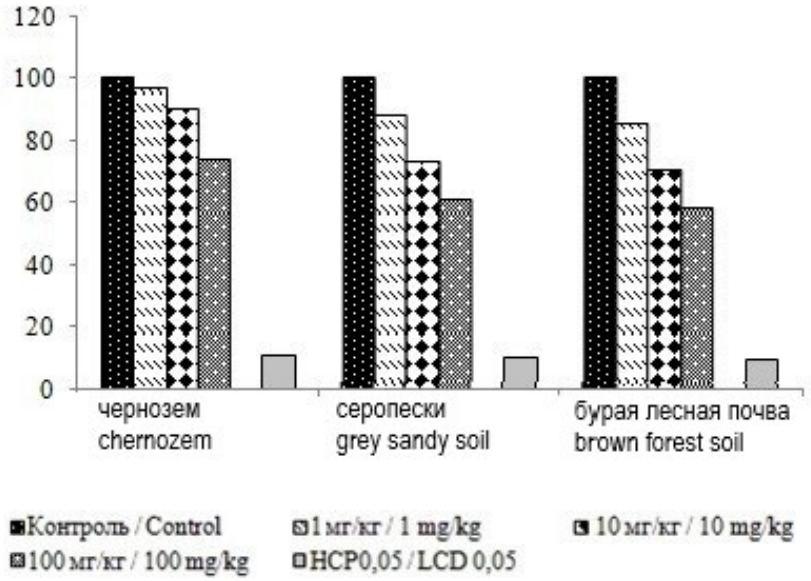


Рисунок 4. Изменение интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) почв юга России при загрязнении серебром через 10 суток
Figure 4. Change in the integral indicator of the biological state (IIBS) of soils in southern Russia following contamination with silver after 10 days

При оценке динамики биологического состояния чернозема было отмечено, что для большинства биологических показателей сильное ингибирование отмечено на 30-е сутки после загрязнения. На 90-е сутки наблюдалась тенденция к восстановлению биологических свойств чернозема, однако контрольные значения (до загрязнения почвы) достигнуты не были. Аналогичные закономерности в динамике биологических свойств почв после загрязнения были получены ранее для других тяжелых металлов: Hg, Cd,

Pb, Cr, Cu, Zn и др. [57; 58]. Было исследовано изменение биологических показателей чернозема при загрязнении различными концентрациями серебра в динамике: через 10, 30 и 90 суток (табл. 1-3).

Через 10 суток после загрязнения серебром наблюдали снижение численности почвенных бактерий на12, 44 и 49% при концентрации серебра 1, 10 и 100 мг/кг. Активность ферментов изменялась неодинаково при воздействии серебра: активность каталазы не изменялась, а активность дегидрогеназ была ингибирована при высокой концентрации 100 мг/кг на 56% (табл. 2).

Таблица 2. Изменение биологических показателей чернозема обыкновенного при загрязнении различными концентрациями серебра через 10 суток экспозиции
Table 2. Changes in the biological parameters of ordinary chernozem when contaminated with various silver doses after 10 days of exposure

Биологический показатель Biological indicator	**Контроль** Control	**Концентрация серебра, мг/кг** Dose of silver, mg/kg			**$НСР_{0,05}$** $LCD_{0.05}$
		1	**10**	**100**	
Общая численность почвенных бактерий, млрд в 1 г почвы Total number of bacteria 10^6 per 1 g of soil	5,1	4,5	2,9	2,6	0,3
Обилие бактерий р. Azotobacter, % комочков обрастания Abundance of bacteria p. Azotobacter, % lumps of growth	91,0	88,0	84,0	69,0	12,5
Активность каталазы, мл O_2 на 1 г почвы за 1 мин Catalase activity, ml O_2 per 1 g of soil in 1 min	11,3	10,7	10,6	10,1	0,9
Активность дегидрогеназ, мг ТФФ на 10 г почвы за 24 часа Dehydrogenases activity, mg TPP per 10 g of soil in 24 hours	26,1	25,1	23,6	11,6	2,2
Длина корней редиса, % от контроля Length of radish roots, % of control	100,0	95,1	92,0	82,5	8,4
ИПБС / IIBS	100,0	96,8	87,4	73,7	9,0

Относительно фитотоксических показателей наблюдали ухудшение морфологических характеристик растения в виде уменьшения длины корней редиса на 17%. По биологическим показателям был рассчитан ИПБС, по итогам которого с ростом концентрации ИПБС снижался на 12-26%.

Через 30 суток после загрязнения серебром численность почвенных бактерий снижалась на 16-51%, активность дегидрогеназ на 46%, активность каталазы - 16%, снижение обилия бактерий р. Azotobacter на 23% (табл. 3).

Таблица 3. Изменение биологических показателей чернозема обыкновенного при загрязнении различными концентрациями серебра через 30 суток экспозиции
Table 3. Changes in the biological parameters of ordinary chernozem when contaminated with various silver doses after 30 days of exposure

Биологический показатель Biological indicator	**Контроль** Control	**Концентрация серебра, мг/кг** Dose of silver, mg/kg			**$НСР_{0,05}$** $LCD_{0.05}$
		1	**10**	**100**	
Общая численность почвенных бактерий, млрд в 1 г почвы Total number of bacteria 10^6 per 1 g of soil	4,9	4,0	2,6	2,4	0,3
Обилие бактерий р. Azotobacter, % комочков обрастания Abundance of bacteria p. Azotobacter, % growth nodules	100,0	98,0	98,0	77,0	14,1
Активность каталазы, мл O_2 на 1 г почвы за 1 мин Catalase activity, ml O_2 per 1 g of soil in 1 min	11,7	11,0	10,7	9,9	0,9
Активность дегидрогеназ, мг ТФФ на 10 г почвы за 24 часа / Dehydrogenases activity, mg TPP per 10 g of soil in 24 hours	29,9	31,8	28,5	16,2	2,7
Длина корней редиса, % от контроля Length of radish roots, % of control	100,0	95,0	76,0	71,0	7,8
ИПБС / IIBS	100,0	95,2	83,7	65,3	8,7

ИПБС почв также снижался в зависимости от концентрации серебра на 16 и 34% при концентрации 10 и 100 мг/кг соответственно.

По истечении 90 суток тенденция к снижению активности дегидрогеназ и численности бактерий сохранилась (табл. 4). При концентрации серебра 100 мг/кг численность бактерий снизилась на 41%, активность дегидрогеназ – 22% по сравнению с контролем.

На основе полученных биологических показателей состояния почв при загрязнении серебром была дана оценка их информативности и чувствительности с целью определения эффективности использовании в мониторинге, диагностике и нормировании загрязнения почв серебром. Для расчета чувствительности использовали степень снижения значений биологического показателя по сравнению с контролем:

общая численность бактерий (66) > активность дегидрогеназ (84) > длина корней редиса (89) > активность каталазы (91) >обилие бактерий рода *Azotobacter* (92).

Для оценки информативности биологических показателей оценивали тесноту корреляции между показателем и концентрации серебра в почве. По степени информативности биологические показатели чернозема обыкновенного образуют следующую последовательность: активность дегидрогеназ (-0,99) ≥ обилие бактерий рода *Azotobacter* (-0,99) > длина корней редиса (-0,86) > активность каталазы(-0,76) > общая численность бактерий (-0,72).

Таблица 4. Изменение биологических показателей чернозема обыкновенного при загрязнении различными концентрациями серебра через 90 суток экспозиции
Table 4. Change in the biological parameters of ordinary chernozem when contaminated with various silver doses after 90 days of exposure

Биологический показатель Biological indicator	**Контроль** Control	**Концентрация серебра, мг/кг** Dose of silver, mg/kg			**$НСР_{0,05}$** $LCD_{0.05}$
		1	**10**	**100**	
Общая численность почвенных бактерий, млрд в 1 г почвы Total number of bacteria 10^6 per 1 g of soil	4,7	4,3	3,2	2,8	0,3
Обилие бактерий р. Azotobacter, % комочков обрастания Abundance of bacteria p. Azotobacter, % growth nodules	100,0	100,0	100,0	88,0	14,6
Активность каталазы, мл O_2 на 1 г почвы за 1 мин / Catalase activity, ml O_2 per 1 g of soil in 1 min	10,3	9,6	9,3	9,2	0,8
Активность дегидрогеназ, мг ТФФ на 10 г почвы за 24 часа Dehydrogenases activity, mg TPP per 10 g of soil in 24 hours	18,2	17,8	17,1	14,2	1,7
Длина корней редиса, % от контроля Length of radish roots, % of control	100,0	99,0	97,8	96,3	8,9
ИПБС / IIBS	100,0	98,0	87,8	80,5	9,2

Как было уже доказано ранее при загрязнении почв тяжелыми металлами происходит нарушение биогеоценотических функций почвы [58]. Нарушение этих функций напрямую связано с концентрацией металла в почве. Сначала происходит нарушение информационных, биохимических, физико-химических, химических, целостных и физических функций. Именно для целостной оценки степени нарушения экосистемных функций используют интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС). При снижении ИПБС менее чем на 5% нарушения экосистемных функций почвы не происходит, однако снижение значений ИПБС на 5-10% уже служит индикатором нарушения информационных функций, при снижении ИПБС на 10-25% – биохимических, физико-химических, химических и целостных, а при снижении более чем на 25% – физических функций [46]. Важной задачей экологического нормирования должен быть контроль за основными экосистемными функциями почвы и недопущение их нарушения. Таким образом, снижение ИПБС более чем на 10%, указывает на серьезные нарушения в функционировании почвы. Доза загрязняющего почву вещества, вызывающая снижение ИПБС почвы на 10%, может считаться региональной предельно-допустимой концентраций (рПДК) этого вещества в данной почве, превышение которой недопустимо. Для расчета рПДК применять уравнения регрессии, которое описывает зависимость снижения значений ИПБС от содержания серебра в почве. С помощью уравнения регрессии можно рассчитать концентрацию серебра, которые вызывают нарушение тех или иных групп экосистемных функций почвы.

При загрязнении почв юга России серебром наблюдали похожие тенденции. Как видно из табл. 5, если в черноземе обыкновенном содержание серебра не превышает 0,5 мг/кг, то срыв экологических функций почвы не происходит.

Таблица 5. Схема экологического нормирования загрязнения серебром почв юга России по степени нарушения экосистемных (биогеоценотических) функций
Table 5. Scheme of environmental regulation of silver pollution in soils of southern Russia by degree of violation of ecosystem (biogeocenotic) functions

Степень нарушения экологических функций Degree of violation of environmental functions	**Степень снижения ИПБС почвы[1], %** Power decrease IIBS soil[1], %	**Нарушаемые экосистемные функции[2]** Violated ecosystem functions[2]	**Почвы** / Soils			**Способы санации почв** Soil remediation methods
			Чернозем обыкновенный Ordinary chernozem	**Серопески** Grey sandy soils	**Бурые лесные почвы** Brown forest soils	
Не загрязненные Not polluted	< 5	–	< 0,5	< 0,3	< 0,3	**Не требуется** Not required
Слабо-загрязненные Weakly polluted	5 – 10	**Информационные** Informational	1,5 – 4,4	0,5 – 0.9	0,4 – 0.8	**Фиторемедиация** Phytoremediation
Средне-загрязненные Medium polluted	10 – 25	**Химические, физико-химические, биохимические; целостные** Chemical, physico-chemical, biochemical; holistic	4,4 – 106	0,9 – 8	0,8 – 6	**Химическая мелиорация** Chemical reclamation
Сильно-загрязненные Strongly polluted	> 25	**Физически** Physical	> 106	> 8	> 6	**Техническая рекультивация** Technical Remediation

Примечание: [1]Определение ИПБС почв по Kolesnikov et al. (2019) [47];
[2]Классификация экосистемных функций почвы по Добровольскому и Никитину(2006) [59]
Note: [1] IIBC determination of soils by Kolesnikov et al., 2019 [47];
[2]Classification of ecosystem functions of soil by Dobrovolsky and Nikitin, 2006 [59]

Однако, если концентрация серебра составит от 1,5-4,4 мг/кг, произойдет нарушение информационных экологических функций почвы, от 4,4-106,0 мг/кг – вместе с информационными наблюдали нарушение химических, физико-химических, биохимических и целостные функций, а при нарушении более 106,0 мг/кг – произойдет нарушение физических функций почвы. Является очевидным, что нельзя допускать нарушение химических, физико-химических, биохимических и целостных функций почвы. Целостные функции обеспечивают плодородие почвы. Концентрацию серебра 4,4 мг/кг следует считать предельно допустимой концентрацией (ПДК) серебра в черноземе обыкновенном, или региональной ПДК (рПДК). Таким образом, рПДК серебра в черноземах обыкновенных составляет 4,4 мг/кг серебра в почве, в серопесках – 0,9 мг/кг, и бурых лесных – 0,8 мг/кг. Разработанные рПДК могут быть использованы не только для почв юга Россиино и для аналогичных почв других регионов мира.

Наиболее эффективные способы санации почв юга России в случае их загрязнения серебром в определенной концентрации представлены в табл. 6. Чем выше концентрация серебра в почве, тем более действенным и эффективным должен быть способ санации. При концентрации серебра в черноземе обыкновенном менее 0,5 мг/кг не происходит нарушение экологических функций, и санация почвы не требуется. Если концентрация серебра составит 1,5-4,4 мг/кг, то для снижения его концентрации до 0,5 мг/кг и менее достаточно фиторемедиации и промывки. При достижении концентрации серебра в диапазоне 4,4-106 мг/кг уже требуется внесение органических и минеральных удобрений (фосфорных удобрений, извести и др.), адсорбентов (ионобменных смол, цеолитов и др.) в рамках химической рекультивации. Если содержание серебра превысит 106 мг/кг, то необходимо удаление загрязненного слоя почвы и замена его новым экологически и сельскохозяйственно полноценным слоем почвы.

Полученные результаты являются частью диссертационного исследования Н.И. Цепиной «Влияние загрязнения серебром на биологические свойства почв Юга России» [60].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение почв серебром в большинстве случаев ведет к ухудшению их биологических свойств: снижаются общая численность бактерий, обилие бактерий рода Azotobacter, активность ферментов (каталазы и дегидрогеназ), показатели фитотоксичности. Степень снижения биологических свойств зависит от концентрации серебра в почве и срока от момента загрязнения. В большинстве вариантов отмечается прямая зависимость между концентрацией серебра и степенью ухудшения исследуемых свойств почв. Токсическое действие серебра наиболее сильно проявилось на 30-е сутки после загрязнения. При сравнении устойчивости почв юга России к загрязнению серебром был получен следующий ряд: чернозем обыкновенный > серопески ≥ бурая лесная почва. Легкий гранулометрический состав

серопесков и кислая реакция среды бурых лесных почв, а также низкое содержание органического вещества, способствуют высокой подвижности и высокой экотоксичности серебра в этих почвах. Определенные в данной работе биологические показатели обладают высоким коэффициентом корреляции с загрязнением почвы серебром и высокой чувствительностью к загрязнению почвы серебром. Эти биологические показатели целесообразно использовать в целях мониторинга, диагностики, индикации и нормирования загрязнения почв серебром. В результате исследования предложены региональные предельно допустимые концентрации (рПДК) серебра в черноземах обыкновенных (Haplic Chernozems Loamic) – 4,4 мг/кг, в серопесках (Haplic Arenosols Eutric) – 0,9 мг/кг и бурых лесных почвах (Haplic Cambisols Eutric) — 0,8 мг/кг.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Южный федеральный университет, № 0852-2020-0029) и ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11).

ACKNOWLEDGMENT

This work was carried out with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Southern Federal University, no. 0852-2020-0029) and leading scientific school of the Russian Federation (NSh-2511.2020.11).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Oves M., Khan M.S., Zaidi A., Ahmad E. Soil contamination, nutritive value, and human health risk assessment of heavy metals: an overview. In: Zaidi A., Wani P., Khan M. (eds) Toxicity of Heavy Metals to Legumes and Bioremediation. Springer, Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0730-0_1

2.Ветрова А.А., Забелин В.А., Иванова А.А., Адаменко Л.А., Делеган Я.А., Петриков К.В. Биодеградация нефти консорциумом штаммов-нефтедеструкторов в лабораторных модельных системах // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 184-198. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-184-198

3.Водяницкий Ю.Н. Оценка суммарной токсикологической загрязненности почв тяжелыми металлами и металлоидами // Агрохимия. 2017. N 2. С. 56-63.

4.Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Биогеохимические барьеры для ремедиации почв и очистки почвенно-грунтовых вод // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2016. N 3. С. 3-15.

5.Водяницкий Ю.Н., Яковлев А.С. Загрязнение почв и почвенно-грунтовых вод новыми органическими микрополлютантами (обзор) // Почвоведение. 2016. N 5. С. 609-619. DOI: 10.7868/S0032180X16050154

6.Дауд Р.М., Колесников С.И., Кузина А.А., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Разработка региональных предельно допустимых концентраций нефти в почвах аридных экосистем юга России // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. N 9. С. 66-70. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-09-66-70

7.Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Мясникова М.А. Оценка экотоксичности наночастиц меди, никеля и цинка по биологическим показателям чернозема // Почвоведение. 2019. N 8. С. 986-992. DOI: 10.1134/S0032180X19080094

8.Сукиасян А.Р. Новый подход определения фактора экологического риска по биогеохимическим коэффициентам тяжелых металлов // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 4. С. 108-118. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118

9.Минникова Т.В., Колесников С.И., Денисова Т.В. Влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 2. С. 189-201. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-189-201

10. Kolesnikov S.I., Varduny T.V., Lysenko V.S., Kapralova O.A., Chokheli V.A., Sereda M.M., Dmitriev P.A., Varduny V.M. Effect of nano and crystalline metal oxides on growth, gene and cytotoxicity of plants *in vitro* and *ex vitro* // Turczaninowia. 2018. V. 21. N 4. P. 207-214. DOI : 10.14258/turczaninowia.21.4.21

11. Minnikova T.V., Denisova T.V., Mandzhieva S.S., Kolesnikov S.I., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N., Bauer T.V. Assessing the effect of heavy metals from the Novocherkassk power station emissions on the biological activity of soils in the adjacent areas // Journal of Geochemical Exploration. 2017. V. 174. P. 70-78. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.06.007

12. Крылов Д.А. Негативное воздействие микроэлементов, содержащихся в углях, в золошлаковых отвалах и в золе-уносе угольных ТЭС, на окружающую среду и здоровье людей. Препринт НИЦ «Курчатовского института». М., 2012. 37 с.

13. Пашкевич М.А., Алексеенко А.В. Мониторинг загрязнения почв в районе воздействия ОАО «Новоросцемент» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. N 10. С. 369-375.

14. Щербакова Е.В. Экологическое состояние почв и техногенных грунтов свалки города Славянска-на-Кубани // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. тр. Саратов, 2013. С. 106-107.

15. Michels C., Perazzoli S., Soares H.M. Inhibition of the enriched culture of ammonium-oxidizing bacteria by two different nanoparticles: silver and magnetite // Common environment science. 2017. V. 586. P. 995-1002. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.080

16. Кизильштейн Л.Я., Левченко С.В. Элементы примеси и экологические проблемы угольной энергетики // Теплоэнергетика. 2003. С. 14-19.

17. Xing G., Zhu J., Xiong Z. Ag, Ta, Ru, and Ir enrichment in surface soil: Evidence for land pollution of heavy metal from atmospheric deposition // Global Biogeochemical Cycles. 2004. V. 18. Iss. 1. P. 1-5. DOI: 10.1029/2003GB002123

18. Касимов Н.С., Власов Д.В. Технофильность химических элементов в начале XXI века // Вестник Московского Университета. Сер. 5. География. 2012. N 1. С. 15-22.

19. Aueviriyavit S., Phummiratch D., Maniratanachote R. Mechanistic study on the biological effects of silver and gold nanoparticles in $CaCO^{-2}$ cells – induction of the $Nrf2/HO^{-1}$ pathway by high concentrations of silver

nanoparticles // Toxicology Letters. 2014. V. 224. Iss. 1. P. 73-83. DOI: 10.1016/j.toxlet.2013.09.020
20. Benn T., Cavanagh B., Histovski K., Posner J.D., Westerhoff P. The release of nanosilver from consumer products used in the home // Journal of Environmental Quality. 2010. V. 39. Iss. 6. P. 1875-1882. DOI: 10.2134/jeq2009.0363
21. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Presspp. 2010. 548 p.
22. Jones K.C., Davies B.E., Peterson P.J. Silver in Welsh soils: Physical and chemical distribution studies // Geoderma. 1986. V. 37. Iss. 2. P. 157-174. DOI: 10.1016/0016-7061(86)90028-5
23. Пузанов А.В., Бабошкина С.В, Алексеев И.А, Салтыков А.В. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов и мышьяка в системе огородные почвы-овощные культуры в районе строительства космодрома «Восточный» (Бассейн р. Зея, Амурская область) // Агрохимия. 2015. N 2. С. 86-96.
24. Yildirim D., Sasmaz A. Phytoremediation of As, Ag, and Pb in contaminated soils using terrestrial plants grown on Gumuskoy mining area (Kutahya Turkey) // Journal of Geochemical Exploration. 2017. V. 182. Part B. P. 228-234. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.11.005
25. Дружинин А.В., Карелина Е.В. Основные типы промышленных месторождений серебра // Вестник РУДН: Серия инженерные исследования. 2008. N 1. С. 35-41.
26. Gomathi M., Rajkumar P.V., Prakasam A., Ravichandran K. Green synthesis of silver nanoparticles using *Datura stramonium* leaf extract and assessment of their antibacterial activity // Resource-Efficient Technologies. 2017. V. 3. Iss. 3. P. 280-284. DOI: 10.1016/j.reffit.2016.12.005
27. Liu W., Zeng Z., Chen A., Zeng G., Xiao R., Guo Zh., Yi F., Huang Zh., He K., Hu L. Toxicity effects of silver nanoparticles on the freshwater bivalve *Corbicula fluminea* // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2018. V. 6. Iss. 4. P. 4236-4244. DOI: 10.1016/j.jece.2018.06.032
28. Reidy B., Haase A., Luch A., Dawson K.A., Lynch I. Mechanisms for the isolation, transformation and toxicity of silver nanoparticles: a critical review of current knowledge and recommendations for future research and applications // Materials (Basel). 2013. V. 6. Iss. 6. P. 2295-2350. DOI: 10.3390/ma6062295
29. Sayeda A.E.H., Solimanb H.A.M. Developmental toxicity and DNA damaging properties of silver nanoparticles in the catfish (*Clarias gariepinus*) // Mutation Research Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2017. V. 822. P. 34-40. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2017.07.002
30. Sharma V.K., Siskova K.M., Zboril R., Gardea-Torresdey J.L. Organic-coated silver nanoparticles in biological and environmental conditions: Fate, stability and toxicity // Advances in Colloid and Interface Science. 2014. V. 204. P. 15-34. DOI: 10.1016/j.cis.2013.12.002
31. Sun C., Yin N., Wen R., Liu W., Jia Y., Hua L., Zhou Q., Jiang G. Silver nanoparticles induced neurotoxicity through oxidative stress in rat cerebral astrocytes is distinct from the effects of silver ions // NeuroToxicology. 2016. V. 52. P. 210-221. DOI: 10.1016/j.neuro.2015.09.007
32. Vig K., Megharaj M., Sethunathan N., Naidu R. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review // Advances Environmental Research. 2003. V. 8. Iss. 1. P. 121-135. DOI: 10.1016/S1093-0191(02)00135-1
33. Benini S., Cianci M., Mazzei L., Ciurli S. Fluoride inhibition of *Sporosarcina pasteurii* urease: structure and thermodynamics // Journal Biological Inorganic Chemistry. 2014. N 19. P. 1243-1261. DOI: 10.1007/s00775-014-1182-x
34. Kaya E.D., Söyüt H., Beydemir S. The toxicological impacts of some heavy metals on carbonic anhydrase from gilthead sea bream (*Sparus aurata*) gills // Environmental Toxicology and Pharmacology. 2015. V. 39. Iss. 2. P. 825-832. DOI: 10.1016/j.etap.2015.01.021
35. Liu Y., Zeng G., Zhong H., Wang Z., Liu Z., Cheng M., Liu G., Yang X., Liu S. Effect of rhamnolipid solubilization on hexadecane bioavailability: enhancement or reduction? // Journal Hazardous Materials. 2017. V 322. Part B. P. 394-401. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.10.025
36. Kaczynski P., Lozowicka B., Hrynko I., Wolejko E. Behaviour of mesotrione in maize and soil system and its influence on soil dehydrogenase activity // Science Total Environmental. 2016. V. 571. P. 1079-1088. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.100
37. Stepniewska Z., Wolińska A., Ziomek J. Response of soil catalase activity to chromium contamination // Journal of Environmental Sciences. 2009. V 21. Iss. 8. P. 1142-1147. DOI: 10.1016/S1001-0742(08)62394-3
38. Bowen H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements, New York, Academic Press, 1979. 333 p.
39. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2013. 380 с.
40. Eivazi F., Afrasiabi Z., Jose E. Effects of Silver Nanoparticles on the Activities of Soil Enzymes Involved in Carbon and Nutrient Cycling // Pedosphere. 2018. V. 28. Iss. 2. P. 209-214. DOI: 10.1016/S1002-0160(18)60019-0
41. Girilal M., Krishnakumar V., Poornima P., Fayazd M.A., Kalaichelvan P.T.A comparative study on biologically and chemically synthesized silver nanoparticles induced Heat Shock Proteins on fresh water fish *Oreochromis niloticus* // Chemosphere. 2015. V. 139. P. 461-468. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.08.005
42. Smith I., Carson B. Trace metals in the environment. Vol. 2. Silver. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Publishers, 1977, 469 p.
43. Cvjetko P., Milošić A., Domijan A-M., Vinković Vrček I., Tolić S., Peharec Štefanić P., Letofsky-Papst I., Tkalec M., Balen B. Toxicity of silver ions and differently coated silver nanoparticles in Allium cepa roots // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2017. V. 137. P. 8-28. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.11.009
44. Tripathi A., Liu S., Kumar S.P., Kumar N., Chandra P.A., Tripathi D.K., Chauhan K. D., Sahi Sh. Differential phytotoxic responses of silver nitrate ($AgNO_3$) and silver nanoparticle (AgNps) in *Cucumis sativus* L. // Plant genetic resources. 2017. V. 11. Part B. P. 255-264. DOI: 10.1016/j.plgene.2017.07.005
45. Yasur J., Rani P.U. Environmental effects of nanosilver: impact on castor seed germination, seedling growth, and plant physiology // Environmental Science and Pollution Research. 2013. V. 20. Iss. 12. P. 8636-8648. DOI: 10.1007/s11356-013-1798-3
46. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Yu.V. Development of regional standards for pollutants in the soil

using biological parameters // Environmental Monitoring and Assessment. 2019. N 191. P. 544. DOI: 10.1007/s10661-019-7718-3
47. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F, Ponomareva S.V. Ranking of chemical elements according to their ecological hazard for soil // Russian Agricultural Sciences. 2010. V. 36. N 1. P. 32-34. DOI: 10.3103/S1068367410010106
48. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Val'kov V.F. Effects of heavy metal pollution on the ecological and biological characteristics of common chernozem // Russian Journal of Ecology. 2000. V. 31. N 3. P. 174-181. DOI: 10.1007/BF02762817
49. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2016. 356 с.
50. Минникова Т.В., Сушкова С.Н., Манджиева С.С., Минкина Т.М., Колесников С.И. Оценка влияния бенз(а)пирена на биологическую активность чернозема Ростовской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. N 12. С. 91-102. DOI: 10.18799/24131830/2019/12/2396
51. Chen J., He F., Zhang X., Sun X., Zheng J., Zheng J. Heavy metal pollution decreases microbial abundance, diversity and activity within particle-size fractions of a paddy soil // FEMS Microbiology Ecology. 2014. V. 87. Iss. 1. P. 164-181. DOI: 10.1111/1574-6941.12212
52. Yang J.S., Yang F.L., Yang Y., Xing G.L., Deng C.P., Shen Y.T., Luo L.Q., Li B.Z., Yuan, H.L. A proposal of "core enzyme" bioindicator in long-term Pb-Zn ore pollution areas based on topsoil property analysis // Environmental Pollution. 2016. V. 213. P. 760-769. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.03.030
53. Iram F., Iqbal M.S. , Athar M.M., Saeed M.Z., Yasmeen A., Ahmad R. Glucoxylan-mediated green synthesis of gold and silver nanoparticles and their phyto-toxicity study // Carbohydrate Polymers. 2014. V. 104. N 1. P. 29-33. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.01.002
54. Langdon K.A., McLaughlin M.J., Kirby J.K., Merrington G. The effect of soil properties on the toxicity of silver to the soil nitrification process // Environmental and Toxicology Chemistry. 2014. V. 33. Iss. 5. P. 1170-1178. DOI: 10.1002/etc.2543
55. Rahmatpour S., Shirvani M., Mosaddeghi M.R., Farshid N., Bazarganipour M. Dose-response effects of silver nanoparticles and silver nitrate on microbial and enzyme activities in calcareous soils // Geoderma. 2017. V. 285. P. 313-322. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.10.006
56. Salama H.M.H. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.) // Journal Biotechnology. 2012. V. 3. N 10. P. 190-197. URL: http://www.interesjournals.org/IRJOB (дата обращения: 10.09.2019)
57. Kolesnikov S.I., Evreinova A.V., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Changes in the Ecological and Biological Properties of Ordinary Chernozems Polluted by Heavy Metals of the Second Hazard Class (Mo, Co, Cr, and Ni) // Eurasian Soil Science. 2009. V. 42. N 8. P. 936-942. DOI: 10.1134/S1064229309080122
58. Kolesnikov S.I., Popovich A.A., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. The Influence of Fluorine, Boron, Selenium, and Arsenic Pollution on the Biological Properties of Ordinary Chernozems // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. N 4. P. 400-404. DOI: 10.1134/S1064229308040066
59. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Наука, 2006. 362 с.
60. Цепина Н.И. Влияние загрязнения серебром на биологические свойства почв Юга России: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук: специальность 03.02.08. Ростов-на-Дону, 2020. 21 с.

REFERENCES

1.Oves M., Khan M.S., Zaidi A., Ahmad E. Soil contamination, nutritive value, and human health risk assessment of heavy metals: an overview. In: Zaidi A., Wani P., Khan M. (eds) *Toxicity of Heavy Metals to Legumes and Bioremediation*, Springer, Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0730-0_1
2.Vetrova A.A., Zabelin V.A., Ivanova A.A., Adamenko L.A., Delegan Ya.A., Petrikov K.V. Oil biodegradation by consortium of oil degrading microorganisms in laboratory model systems. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 184-198. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-184-198
3.Vodyanitskii Yu.N. The evaluation of total toxicological contamination of soils with heavy metals and metalloids. Agrokhimiya [Agrochemistry]. 2017, no. 2, pp. 56-63. (In Russian)
4.Vodyanitskii Yu.N., Shoba S.A. Biogeochemical barriers for soil and groundwater bioremediation. [Moscow University Herald. Series 17: Soil Science]. 2016, no. 3, pp. 3-15. (In Russian)
5.Vodyanitskii Y.N., Yakovlev A.S. Contamination of soils and groundwater with new organic micropollutants: a review. *Soil Science*, 2016, no. 5, pp. 609-619. (In Russian) DOI: 10.7868/S0032180X16050154
6.Daoud R.M., Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Development of regional maximum permissible concentrations of oil in the soils of arid ecosystems in the south of Russia. *Ecology and Industry of Russia*, 2019, vol. 23, no. 9, pp. 66-70. (In Russian) DOI: 10.18412/1816-0395-2019-09-66-70
7.Kolesnikov S.I., Timoshenko A.N., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V., Myasnikova M.A. Ecotoxicity of copper, nickel, and zinc nanoparticles assessment on the basis of biological indicators of chernozems. *Soil Science*, 2019, no. 8, pp. 986-992. (In Russian) DOI: 10.1134/S0032180X19080094
8.Sukiasyan A.R. New approach to determining the environmental risk factor by the biogeochemical coefficients of heavy metals. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 108-118. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118
9.Minnikova T.V., Kolesnikov S.I., Denisova T.V. Effect of nitrogen and humic fertilizers on the biochemical state of oil-contaminated chernozem. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 2, pp. 189-201. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-189-201
10. Kolesnikov S.I., Varduny T.V., Lysenko V.S., Kapralova O.A., Chokheli V.A., Sereda M.M., Dmitriev P.A., Varduny V.M. Effect of nano and crystalline metal oxides on growth, gene and cytotoxicity of plants *in vitro* and *ex vitro*.

Turczaninowia, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 207-214. DOI : 10.14258/turczaninowia.21.4.21
11. Minnikova T.V., Denisova T.V., Mandzhieva S.S., Kolesnikov S.I., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N., Bauer T.V. Assessing the effect of heavy metals from the Novocherkassk power station emissions on the biological activity of soils in the adjacent areas. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 174, pp. 70-78. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.06.007
12. Krylov D.A. *Negativnoe vozdeistvie mikroelementov, soderzhashchikhsya v uglyakh, v zoloshlakovykh otvalakh i v zole-unose ugol'nykh TES, na okruzhayushchuyu sredu i zdorov'e lyudei* [The negative impact of trace elements contained in coal, in ash and slag dumps and in fly ash of coal TPPs, on the environment and human health]. Moscow, 2012, 37 p. (In Russian)
13. Pashkevich M.A., Alekseenko A.V. Monitoring of soil pollution in the area of JSC “Novoroscement” impact. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. 2015, no. 10, pp. 369-375. (In Russian)
14. Shcherbakova E.V. Ekologicheskoe sostoyanie pochv i tekhnogennyh gruntov svalki goroda Slavyanska-na-Kubani [Ecological condition of soils and industrial soils in the landfill of the city of Slavyansk-on-Kuban]. In: *Ekologicheskie problemy promyshlennyh gorodov* [Environmental problems of industrial cities]. Saratov, 2013, pp. 106-107. (In Russian)
15. Michels C., Perazzoli S., Soares H.M. Inhibition of the enriched culture of ammonium-oxidizing bacteria by two different nanoparticles: silver and magnetite. *Common environment science*, 2017, vol. 586, pp. 995-1002. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.080
16. Kizil’shtein L.Ya., Levchenko S.V. Impurity elements and environmental problems of coal power engineering. *Thermal Engineering*, 2003, no. 12, pp. 14-19. (In Russian)
17. Xing G., Zhu J., Xiong Z. Ag, Ta, Ru, and Ir enrichment in surface soil: Evidence for land pollution of heavy metal from atmospheric deposition. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, vol. 18, iss. 1, pp. 1-5. DOI: 10.1029/2003GB002123
18. Kasimov N.S., Vlasov D.V. Technophilicity of chemical elements in the beginning of the 21st century. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]. 2012, no. 1, pp. 15-22. (In Russian)
19. Aueviriyavit S., Phummiratch D., Maniratanachote R. Mechanistic study on the biological effects of silver and gold nanoparticles in $CaCO^{-2}$ cells – induction of the $Nrf2/HO^{-1}$ pathway by high concentrations of silver nanoparticles. *Toxicology Letters*, 2014, vol. 224, iss. 1, pp. 73-83. DOI: 10.1016/j.toxlet.2013.09.020
20. Benn T., Cavanagh B., Histovski K., Posner J.D., Westerhoff P. The release of nanosilver from consumer products used in the home. *Journal of Environmental Quality*, 2010, vol. 39, iss. 6, pp. 1875-1882. DOI: 10.2134/jeq2009.0363
21. Kabata-Pendias A., Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL, Crc Presspp, 2010, 548 p.
22. Jones K.C., Davies B.E., Peterson P.J. Silver in Welsh soils: Physical and chemical distribution studies. *Geoderma*, 1986, vol. 37, iss. 2, pp. 157-174. DOI: 10.1016/0016-7061(86)90028-5
23. Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Alekseev I.A., Saltykov A.V. Accumulation and distribution of heavy metals and arsenic in the "garden soil-vegetable crops" systems near the vostochny cosmodrome (Zeya river basin, Amurskaya oblast). Agrokhimiya [Agrochemistry]. 2015, no. 2, pp. 86-96. (In Russian)
24. Yildirim D., Sasmaz A. Phytoremediation of As, Ag, and Pb in contaminated soils using terrestrial plants grown on Gumuskoy mining area (Kutahya Turkey). *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 182, part B, pp. 228-234. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.11.005
25. Druzhinin A.V., Karelina E.V. The basic types of industrial deposits of silver. *Vestnik RUDN: Seriya inzhenernyye issledovaniya* [The RUDN Vestnik: A series of engineering studies]. 2008, no. 1, pp. 35-41. (In Russian)
26. Gomathi M., Rajkumar P.V., Prakasam A., Ravichandran K. Green synthesis of silver nanoparticles using *Datura stramonium* leaf extract and assessment of their antibacterial activity. *Resource-Efficient Technologies*, 2017, vol. 3, iss. 3, pp. 280-284. DOI: 10.1016/j.reffit.2016.12.005
27. Liu W., Zeng Z., Chen A., Zeng G., Xiao R., Guo Zh., Yi F., Huang Zh., He K., Hu L. Toxicity effects of silver nanoparticles on the freshwater bivalve *Corbicula fluminea*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2018, vol. 6, iss. 4, pp. 4236-4244. DOI: 10.1016/j.jece.2018.06.032
28. Reidy B., Haase A., Luch A., Dawson K.A., Lynch I. Mechanisms for the isolation, transformation and toxicity of silver nanoparticles: a critical review of current knowledge and recommendations for future research and applications. *Materials (Basel)*, 2013, vol. 6, iss. 6, pp. 2295-2350. DOI: 10.3390/ma6062295
29. Sayeda A.E.H., Solimanb H.A.M. Developmental toxicity and DNA damaging properties of silver nanoparticles in the catfish (*Clarias gariepinus*). *Mutation Research Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2017, vol. 822, pp. 34-40. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2017.07.002
30. Sharma V.K., Siskova K.M., Zboril R., Gardea-Torresdey J.L. Organic-coated silver nanoparticles in biological and environmental conditions: Fate, stability and toxicity. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2014, vol. 204, pp. 15-34. DOI: 10.1016/j.cis.2013.12.002
31. Sun C.,Yin N., Wen R., Liu W., Jia Y., Hua L., Zhou Q., Jiang G. Silver nanoparticles induced neurotoxicity through oxidative stress in rat cerebral astrocytes is distinct from the effects of silver ions. *NeuroToxicology*, 2016, vol. 52, pp. 210-221. DOI: 10.1016/j.neuro.2015.09.007
32. Vig K., Megharaj M., Sethunathan N., Naidu R. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. *Advances Environmental Research*, 2003, vol. 8, iss. 1, pp. 121-135. DOI: 10.1016/S1093-0191(02)00135-1
33. Benini S., Cianci M., Mazzei L., Ciurli S. Fluoride inhibition of *Sporosarcina pasteurii* urease: structure and thermodynamics. *Journal Biological Inorganic Chemistry*, 2014, no. 19, pp. 1243-1261. DOI: 10.1007/s00775-014-1182-x
34. Kaya E.D., Söyüt H., Beydemir S. The toxicological impacts of some heavy metals on carbonic anhydrase from gilthead sea bream (*Sparus aurata*) gills. *Environmental*

Toxicology and Pharmacology, 2015, vol. 39, iss. 2, pp. 825-832. DOI: 10.1016/j.etap.2015.01.021
35. Liu Y., Zeng G., Zhong H., Wang Z., Liu Z., Cheng M., Liu G., Yang X., Liu S. Effect of rhamnolipid solubilization on hexadecane bioavailability: enhancement or reduction? *Journal Hazardous Materials*, 2017, vol. 322, part B, pp. 394-401. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.10.025
36. Kaczynski P., Lozowicka B., Hrynko I., Wolejko E. Behaviour of mesotrione in maize and soil system and its influence on soil dehydrogenase activity. *Science Total Environmental*, 2016, vol. 571, pp. 1079-1088. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.100
37. Stepniewska Z., Wolińska A., Ziomek J. Response of soil catalase activity to chromium contamination. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, vol 21, iss. 8, pp. 1142-1147. DOI: 10.1016/S1001-0742(08)62394-3
38. Bowen H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press, New York, 1979, 333 p.
39. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. *Khimicheskie elementy v geokhimicheskikh sistemakh. Klarki pochv selitebnykh landshaftov* [Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of residential landscapes]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2013, 380 p. (In Russian)
40. Eivazi F., Afrasiabi Z., Jose E. Effects of Silver Nanoparticles on the Activities of Soil Enzymes Involved in Carbon and Nutrient Cycling. *Pedosphere*, 2018, vol. 28, iss. 2, pp. 209-214. DOI: 10.1016/S1002-0160(18)60019-0
41. Girilal M., Krishnakumar V., Poornima P., Fayazd M.A., Kalaichelvan P.T.A comparative study on biologically and chemically synthesized silver nanoparticles induced Heat Shock Proteins on fresh water fish *Oreochromis niloticus*. *Chemosphere*, 2015, vol. 139, pp. 461-468. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.08.005
42. Smith I, Carson B. Trace metals in the environment. Silver. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Publishers, 1977, vol. 2, 469 p.
43. Cvjetko P., Milošić A., Domijan A-M., Vinković Vrček I., Tolić S., Peharec Štefanić P., Letofsky-Papst I., Tkalec M., Balen B. Toxicity of silver ions and differently coated silver nanoparticles in Allium cepa roots. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, vol. 137, pp. 8-28. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.11.009.
44. Tripathi A., Liu S., Kumar S.P., Kumar N., Chandra P.A., Tripathi D.K., Chauhan K. D., Sahi Sh. Differential phytotoxic responses of silver nitrate ($AgNO_3$) and silver nanoparticle (AgNps) in *Cucumis sativus* L. *Plant genetic resources*, 2017, vol. 11, part B, pp. 255-264. DOI: 10.1016/j.plgene.2017.07.005
45. Yasur J., Rani P.U. Environmental effects of nanosilver: impact on castor seed germination, seedling growth, and plant physiology. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, vol. 20, iss. 12, pp. 8636-8648. DOI: 10.1007/s11356-013-1798-3
46. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Yu.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, no. 191, pp. 544. DOI: 10.1007/s10661-019-7718-3
47. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F., Ponomareva S.V. Ranking of Chemical Elements According to Their Ecological Hazard for Soil. *Russian Agricultural Sciences*, 2010, vol. 36, no. 1, pp. 32-34. DOI: 10.3103/S1068367410010106
48. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Effects of Heavy Metal Pollution on the Ecological and Biological Characteristics of Common Chernozem. *Russian Journal of Ecology*. 2000, vol. 31, no. 3, pp. 174-181. DOI: 10.1007/BF02762817
49. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem* [Methods of biodiagnostics of terrestrial ecosystems]. Rostov-on-Don, SFU Publ., 2016, 356 p. (In Russian)
50. Minnikova T.V., Sushkova S.N., Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Kolesnikov S.I. Assessment of the effect of benz (a) pyrene on the biological activity of chernozem in the Rostov region. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [News of Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering]. 2019, vol. 330, no. 12, pp. 91-102. (In Russian) DOI: 10.18799/24131830/2019/12/2396
51. Chen J., He F., Zhang X., Sun X., Zheng J., Zheng J. Heavy metal pollution decreases microbial abundance, diversity and activity within particle-size fractions of a paddy soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 2014, vol. 87, iss. 1, pp. 164-181. DOI: 10.1111/1574-6941.12212
52. Yang J.S., Yang F.L., Yang Y., Xing G.L., Deng C.P., Shen Y.T., Luo L.Q., Li B.Z., Yuan, H.L. A proposal of "core enzyme" bioindicator in long-term Pb-Zn ore pollution areas based on topsoil property analysis. *Environmental Pollution*, 2016, vol. 213, pp. 760-769. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.03.030
53. Iram F., Iqbal M.S., Athar M.M., Saeed M.Z., Yasmeen A., Ahmad R. Glucoxylan-mediated green synthesis of gold and silver nanoparticles and their phyto-toxicity study. *Carbohydrate Polymers*, 2014, vol. 104, no. 1, pp. 29-33. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.01.002
54. Langdon K.A., McLaughlin M.J., Kirby J.K., Merrington G. The effect of soil properties on the toxicity of silver to the soil nitrification process. *Environmental and Toxicology Chemistry*, 2014, vol. 33, iss. 5, pp. 1170-1178. DOI: 10.1002/etc.2543
55. Rahmatpour S., Shirvani M., Mosaddeghi M.R., Farshid N., Bazarganipour M. Dose-response effects of silver nanoparticles and silver nitrate on microbial and enzyme activities in calcareous soils. *Geoderma*, 2017, vol. 285, pp. 313-322. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.10.006
56. Salama H.M.H. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Journal Biotechnology*, 2012, vol. 3, no. 10, pp. 190-197. Available at: http://www.interesjournals.org/IRJOB (accessed 10.09.2019)
57. Kolesnikov S.I., Evreinova A.V., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Changes in the Ecological and Biological Properties of Ordinary Chernozems Polluted by Heavy Metals of the Second Hazard Class (Mo, Co, Cr, and Ni). *Eurasian Soil Science*, 2009, vol. 42, no. 8, pp. 936-942. DOI: 10.1134/S1064229309080122
58. Kolesnikov S.I., Popovich A.A., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. The Influence of Fluorine, Boron, Selenium, and Arsenic Pollution on the Biological Properties of Ordinary Chernozems. *Eurasian Soil Science*, 2008, vol. 41, no. 4, pp. 400-404. DOI: 10.1134/S1064229308040066

59. Dobrovolsky G.V., Nikitin E.D. *Ekologiya pochv. Uchenie ob ekologicheskikh funktsiyakh pochv* [Ecology of soils. Teaching about the ecological functions of soils]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 362 p. (In Russian)
60. Tsepina N.I. *Vliyanie zagryazneniya serebrom na biologicheskie svoistva pochv Yuga Rossii: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata biologicheskikh nauk* [The influence of silver pollution on the biological properties of soils in the South of Russia: dissertation abstract for the degree of candidate of biological sciences]. 21 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей И. Колесников участвовал в лабораторно-аналитических исследованиях влияния серебра на биологическое состояние почв юга России, участвовал в написании рукописи статьи. Наталья И. Цепина написала рукопись статьи; участвовала в составлении схемы эксперимента, проведении лабораторного моделирования. Татьяна В. Минникова проанализировала полученные данные, участвовала в написании рукописи статьи. Людмила В. Судьина участвовала в проведении лабораторно-аналитического исследования. Камиль Ш. Казеев участвовал в отборе почвенных образцов и написании рукописи статьи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey I. Kolesnikov participated in laboratory and analytical studies of the effect of silver on the biological state of soils in the southern Russia and in writing the article. Natalya I. Tsepina wrote a manuscript of the article; participated in the design of the experiment, laboratory simulation and writing the article. Tatyana V. Minnikova analysed the data obtained and participated in writing the article. Lyudmila V. Sudina participated in a laboratory analytical study. Kamil S. Kazeev participated in the selection of soil samples and the writing of the article. All authors 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

Сергей И. Колесников / Sergey I. Kolesnikov https://orcid.org/0000-0003-2124-6328
Наталья И. Цепина / Natalya I. Tsepina https://orcid.org/0000-0002-0483-9829
Татьяна В. Минникова / Tatyana V. Minnikova https://orcid.org/0000-0002-9453-7137
Людмила В. Судьина / Lyudmila V. Sudina https://orcid.org/0000-0003-3169-8563
Камиль Ш. Казеев / Kamil S. Kazeev https://orcid.org/0000-0002-0252-6212

Оригинальная статья / Original article
УДК 502.1:504.1
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-76-86

Пути оптимизации степных ландшафтов в условиях добычи нефти и газа

Ксения В. Мячина[1], Евгений В. Краснов[2]
[1]Институт степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН, Оренбург, Россия
[2]Балтийский федеральный университет им И. Канта, Калининград, Россия

Контактное лицо
Ксения В. Мячина, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +73532774432
Email mavicsen@list.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-5190-1421

Формат цитирования
Мячина К.В., Краснов Е.В. Пути оптимизации степных ландшафтов в условиях добычи нефти и газа // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 76-86. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-76-86

Получена 6 марта 2020 г.
Прошла рецензирование 27 июля 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Обосновать пути геоэкологической оптимизации ландшафтов нефтегазовых месторождений (на примере Волго-Уральского степного региона).

Материал и методы. В основе разработки направлений геоэкологической оптимизации ландшафтов лежат полученные авторами ранее представления о происходящих в ландшафтах трансформационных процессах, формировании и стадийности развития природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения, иерархичности и полимасштабности техногенных изменений.

Результаты. Разработана система оптимизационных решений для последовательных этапов планирования нефтегазодобычи, функционирования природно-техногенной геосистемы месторождения, окончания разработки месторождения/ликвидации объектов нефтегазодобычи. Выделено основное направление оптимизации, сформулированы ее задачи и принципы.

Заключение. Снижение техногенной нагрузки на степные ландшафты, контроль и регулирование – не только проблема научных разработок, но и состояния общественного самосознания и расстановки приоритетов органами управления. Методы снижения нагрузки и восстановления степных ландшафтов могут дать эффект только в результате реализации целенаправленной политики экологизации образования и соответствующей смены общественного самосознания.

Ключевые слова
Нефтегазодобыча, степная зона, трансформированные ландшафты, природно-техногенная геосистема нефтегазового месторождения, геоэкологическая оптимизация ландшафтов, направления, принципы, Волго-Уральский регион.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Ways to optimize steppe under of oil and gas production

Ksenia V. Myachina[1] and Eugeniy V. Krasnov[2]
[1]Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
[2]Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Principal contact
Ksenia V. Myachina, Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionerskaya St, Orenburg, Russia 460000
Tel. +73532774432
Email mavicsen@list.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-5190-1421

How to cite this article
Myachina K.V., Krasnov E.V. Ways to optimize steppe under of oil and gas production. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 76-86. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-76-86

Received 6 March 2020
Revised 27 July 2020
Accepted 21 September 2020

Abstract
Aim. To substantiate ways of geo-ecological optimization of an oil and gas field landscape (through the example of the Volga-Ural steppe region).
Materials and Methods. The development of directions for geoecological optimization of landscape is based on the authors' previously developed ideas about the transformation processes of landscape, the formation and stages of the oil and gas natural-technogenic geosystem development, and the hierarchy and multi-scale of technogenic changes of landscape.
Results. Optimization solutions were developed for the successive stages of planning of oil and gas extraction, operation of an oil and gas natural-technogenic geosystem field and the end of development and disposal of oil and gas facilities. The main direction of landscape optimization is highlighted and its tasks and principles formulated.
Conclusion. Reducing technogenic impact on steppe landscape, its control and regulation is not only a problem of scientific research, but also one of the state of public consciousness and the setting of priorities by management bodies. Methods of reducing the impact and restoring steppe landscapes can only be effective as a result of implementing a targeted policy of greening education and a corresponding change in public consciousness.

Key Words
Oil and gas production, steppe zone, transformed, oil and gas natural-technogenic geosystem, geo-ecological optimization of landscape, principles, solutions, Volga-Ural steppe region.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

В степных зонах и их аналогах обнаружены более четверти всех мировых нефтегазовых залежей. В степной зоне России сосредоточена большая часть месторождений Волго-Уральской, Прикаспийской и Северо-Кавказско-Мангышлакской нефтегазоносных провинций. Разработку этих месторождений можно считать одним из основных факторов техногенной трансформации степных ландшафтов, наряду с агропромышленным производством.

Освоение нефтегазовых залежей степной зоны началось в XIX веке, что обусловливает значительный объем накопленной техногенной нагрузки. В процессе трансформации ландшафтов формируются природно-техногенные геосистемы нефтегазовых месторождений, характеризующиеся симптоматичным вариативным рядом трансформированных ландшафтов [1]. Разведка и активная эксплуатация нефтегазовых месторождений в степной зоне продолжается, возрастает актуальность вопросов минимизации геоэкологических последствий, поиска лимитирующих факторов техногенного воздействия и преобразования. Воздействие мирового нефтегазодобывающего производства достигло той стадии, когда во главу угла необходимо ставить сохранение окружающей среды в целях обеспечения существующим и будущим поколениям геоэкологически приемлемых условий существования.

Согласно действующему законодательству, участки, предоставляемые для разработки месторождений нефти и газа, не выделяются в отдельную целевую категорию земельного фонда и могут находиться на землях сельскохозяйственного и промышленного назначений, лесного и водного фондов, изымаемых на время из хозяйственного оборота. Несмотря на исключительную важность земельных отводов, законодательство, формирующее правовой режим участков, предназначенных для целей недропользования, регулирует эти отношения фрагментарно и не создает единой системы эколого-правового регулирования [2]. С эколого-правовыми пробелами и постоянными изменениями законодательной базы в части природопользования зачастую связано вольное и бесхозяйственное отношение недропользователей к предоставленным в их распоряжение участкам. В случае, когда земля принадлежит одному субъекту, а сооружения, появившиеся на ней – другому, нередко возникает социально-экономическая напряженность между субъектами, повлеченная вариантами безответственного отношения к затрагиваемому ландшафту. Значительное влияние на позицию недропользователя относительно экологических аспектов освоения недр оказывает тот факт, что в российском законодательстве нет утвержденных методических рекомендаций по компенсации убытков при изъятии земель у собственников. Четко не прописана процедура изъятия у собственника земельного участка, находящегося над недрами, в пользу недропользователя, отсутствует обоснование финансовой составляющей, на основе которой происходит изъятие [3]. Эти и другие подобные моменты обесценивают в глазах недропользователя передаваемые ему площади, снижают мотивацию к предотвращению и компенсации экологического ущерба.

Несмотря на все геоэкологические угрозы, возникающие в ходе разработки месторождений, нефть и газ являются важнейшими ресурсами, их добыча необходима и экономически выгодна. Однако «заточенность» добывающих компаний лишь на финансовые результаты, стремление максимизировать прибыль в ущерб благоприятной геоэкологической ситуации неизбежно приводит к снижению качества жизни населения. Масштабы оказываемого воздействия колоссальны, а геоэкологическая составляющая любого вида масштабной деятельности рано или поздно начинает играть существенную роль в модификации экологической и социально-экономической ситуации на всех уровнях общества, от муниципального образования до страны в целом – экономика, окружающая среда и социум являются связанными системами.

Уменьшение негативного влияния нефтегазодобычи на среду и население возможно в ходе смещения существующих приоритетов, кардинального изменения сугубо коммерческой политики недропользования на эколого-экономическую, характеризующую государство социального благополучия. Подобная траектория развития отрасли увязывается авторами с формированием более рационального природопользования, когда геоэкологическая безопасность и исключение геоэкологических проблем становятся основой формирования эколого-экономической политики разработчиков недр. Все более очевидна необходимость смены стратегии мирового природопользования на максимально природозащитную, приоритетом которой будет сохранение среды обитания, включающую и рекультивацию нарушенных земель, и оптимизацию степных ландшафтов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территорией исследования выбрана степная часть Волго-Уральской нефтегазоносной провинции – Волго-Уральский степной регион (рис. 1), где добыча нефти и газа ведется с начала 40-х гг. XX в. Большое количество эксплуатируемых в Волго-Уральском степном регионе месторождений – более 400 – предполагает значительность масштабов техногенного воздействия и наличие существенных структурных преобразований ландшафтов, подтверждающих научно-исследовательскую репрезентативность региона.

Геоэкологическая оптимизация ландшафтов предусматривает широкое применение геоэкологического подхода при решении задач максимального использования полезных свойств ландшафтов, длительного сохранения этих свойств, минимизации их потери, снижения затрат на их восстановление и сохранение с учетом необходимости выполнять функции, заданные обществом [4]. Наиболее действенным путем оптимизации ландшафтов в ходе отраслевого природопользования является его соответствие системе принципов, соблюдение которых

приводит к сбалансированному региональному развитию. Таков, к примеру, принцип сотворчества человека с природой В.Б. Сочавы, под которым понимается «осуществляемая человеком система мероприятий, направленная на развитие потенциальных сил природы, активизацию природных процессов, увеличение продуктивности геосистем и коэффициента полезного использования энергетических возможностей земного пространства» [5].

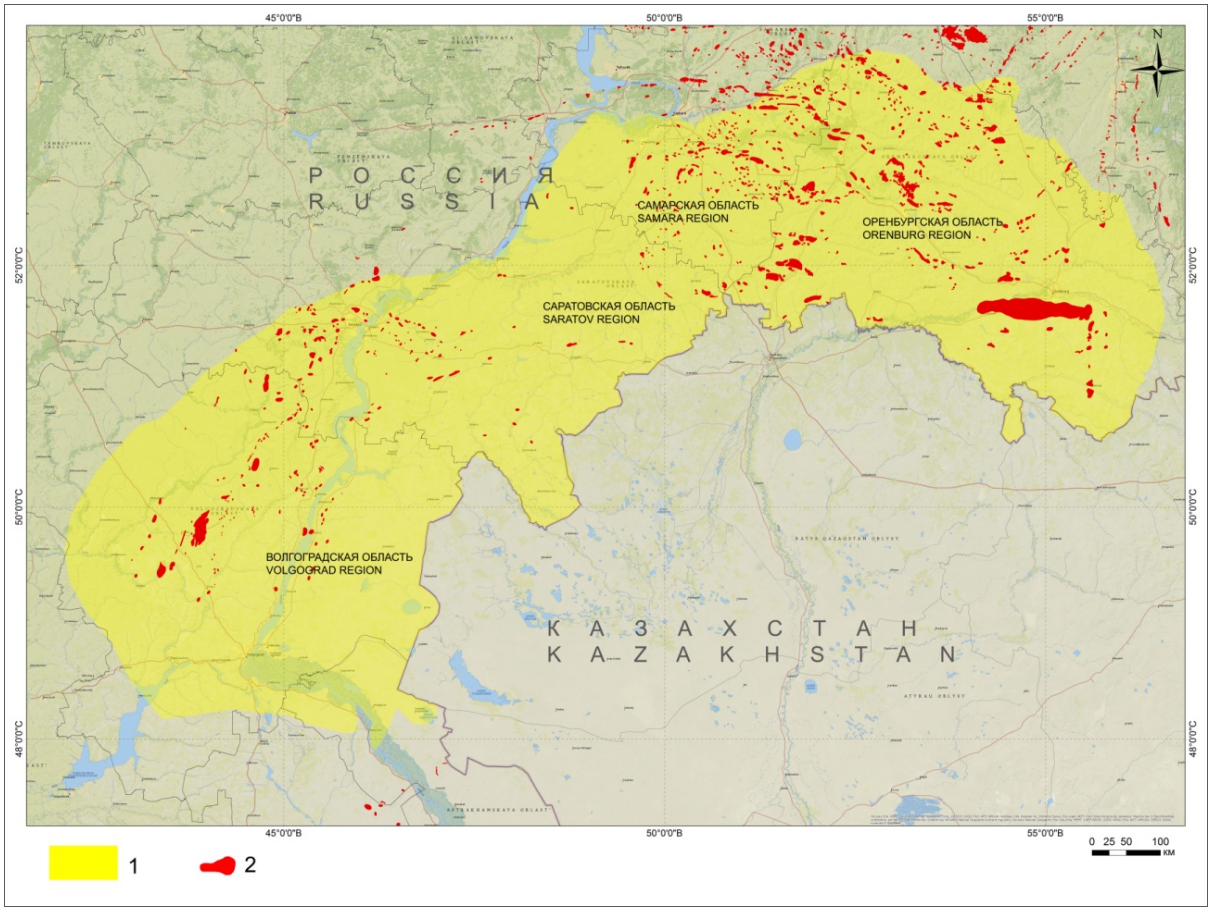


Рисунок 1. Территория исследования: 1 – Волго-Уральский степной регион; 2 – контуры нефтегазовых месторождений (на основе открытых данных Федерального агентства по недропользованию «Роснедра»)
Figure 1. Study area: 1 – Volga-Ural steppe region; 2 – contours of oil and gas fields (based on open data from Rosnedra, the Russian federal agency for subsoil use

А.Г. Исаченко, в свою очередь, предлагает ландшафтно-географические основы оптимизации природной среды, нацеленные на максимальное сохранение характеристик исходных геосистем [5].

Разрабатывая пути оптимизации ландшафтов в ходе добычи нефти и газа, в первую очередь необходимо акцентировать внимание на принципиально-значимой смене приоритетов с сугубо экономических на эколого-экономические, когда при планировании и ведении хозяйственной деятельности вопросы экологии и охраны окружающей среды выступают в качестве основополагающих предпосылок. Решение проблем, связанных с эколого-экономическими противоречиями нефтегазодобычи, представляется нам одной из наиболее актуальных геоэкологических проблем современности.

Объектами оптимизации выступают ландшафты природно-техногенных геоосистем нефтегазовых месторождений и элементов их иерархической структуры различного масштаба и уровня, в которых происходят изменения под влиянием естественных и техногенных факторов. Разработка оптимизационных решений предполагает учет взаимодействия ландшафтных компонентов, техногенных пространственных элементов и возможные цепные реакции между ними при внешнем воздействии; учет эффектов дальнодействия «воздействие здесь - эффект там», учет специфических эффектов, возникающих при совместном влиянии группы факторов [6]. Принятие природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения дает возможность сформулировать основное направление оптимизации ландшафтов, то есть регулирования их состояния. Наиболее целесообразным представляется сокращение входящих материально-энергетических потоков техногенного происхождения как движущей силы возникновения геоэкологических проблем. Такое сокращение приведет к снижению устойчивости вновь образованной природно-техногенной геосистемы и ослаблению ее эмерджентных свойств. Первичные связи исходной степной геосистемы сохраняются, что позволяет говорить о сохранении исходных ландшафтов. В этом

случае нерастраченные в ходе природопользования экосистемные услуги ландшафтов могут служить показателями оптимизации.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе базовых принципов функционирования геосистем и природно-техногенных геосистем нефтегазовых месторождений [1], а также классических подходов к природоохранной деятельности [5], авторами определена система принципов оптимизации ландшафтов в условиях нефтегазодобычи (рис. 2):

1. Объектами оптимизации являются техногенно измененные ландшафты иерархически соподчиненных единиц природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения. Учитывая позиционно-динамическую структуру природно-техногенной геосистемы, оптимизационные решения, примененные на уровне ее любого иерархического звена, будут способствовать стабилизации геоэкологической ситуации на более высоких иерархических уровнях.
2. Оптимизационные решения целесообразно разрабатывать исходя из стадийности развития природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения. Целевой геоэкологический мониторинг на каждой стадии с выделением проблемных мест позволяет определить максимально результативные направления действий по перестройке схем природопользования, сохранению ландшафтов степей, минимизации ущерба и предотвращению появления геоэкологических проблем.
3. Нецелесообразно ограничиваться мерами, направленными на охрану лишь отдельных ландшафтных компонентов, необходимо разрабатывать комплексные подходы к их защите и сохранению, включающие инновационные технологические мероприятия, пространственные (ландшафтные) решения, эколого-правовые административные и социально-экономические механизмы регулирования.
4. Необходимо соотносить друг с другом локальные, региональные и глобальные эффекты воздействий, трансформирующих степные ландшафты. Локальные воздействия объектов распространяются за пределы природно-техногенной геосистемы и их невозможно полностью локализовать – как правило, границы любой геосистемы размыты [7].
5. В связи с невозможностью рекультивировать техногенно измененные ландшафты до исходного состояния наиболее оптимальным решением будет воссоздание квазинатуральных (имитационных, аналоговых) ландшафтов, по возможности максимально воссоздающих естественные условия, но несущих назначенную им природоохранную или рекреационную нагрузку (оздоровительную, познавательную, спортивную). Такие рекультивированные ландшафты должны стать элементами благоустройства, типами общественного пространства в нефтегазодобывающих районах / регионах.

В идеале, любой вид природопользования нацелен на извлечение максимума продукции и получение максимума прибыли при декларируемом сохранении окружающей среды и обеспечении отсутствия противоречий в социально-экономической системе территориального образования. Однако в совокупности эти цели практически несовместимы [8]. Ориентируясь на максимум продукции и прибыли, приходится приносить значительные экологические жертвы. Напротив, приоритетность сохранения ландшафтов, как правило, сопровождается сокращением прибыли и продукции. Экологизация производства возможна лишь при переориентации общественных ценностей, изменении самосознания социума и разумном взгляде на существующее общество потребления с соответствующими целями и установками. На данный момент, в свете происходящих мировых социально-экономических и экологических катаклизмов, такая переориентация приобретает первостепенную значимость. В связи с этим набирает остроту проблема декоративной функции экологических разделов проектной документации. Интересно, что претензии к качеству разделов по оценке воздействия на окружающую среду при проектировании объектов недропользования, сомнения в полезности и объективности этих разделов имеются также и у заинтересованных лиц в других странах – например, в Бразилии, отличающейся невыразительными показателями экономического развития [9].

Существует и противоположный опыт сочетания сырьевой экономики и более чем успешной природоохранной политики в стране. Так, Норвегия является одним из ведущих экспортеров нефти, экономика которой базируется на отраслях нефтедобычи – доля нефтяного сектора в экспорте страны достигает 40%. В то же время, Норвегия – один из мировых лидеров устойчивого развития; политика использования природных ресурсов в этой стране отличается систематическим научным обоснованием, ведущей ролью государства, многосторонним подходом к решению вопросов взаимосвязанного социо-экономо-экологического развития. Перед тем, как приступить к развитию нефтедобычи, норвежский парламент принял важнейший документ – концепцию «десять нефтяных заповедей», которая служит основой государственной нефтяной политики. Реализация заповедей стала причиной того, что Норвегия на сегодняшний день – одна из привлекательных стран для проживания и мировой лидер в ряде областей нефтяной промышленности [10].

Закономерно, что лучшие результаты по сохранению ландшафтов получают, делая главный упор на предупредительный характер природоохранных мероприятий. Этап планирования, подразумевающий осуществление предупредительных природоохранных мероприятий, может являться максимально полезным. На этапе планирования закладываются как перспективные технологические мероприятия, так и оптимальные пространственные (ландшафтные) решения. Разработаны блоки оптимизационных мероприятий для этапа планирования нефтегазодобычи, этапа функционирования природно-техногенной геосистемы (с учетом стадийности ее развития) и этапа окончания разработки месторождения/ликвидации объектов нефтегазодобычи.

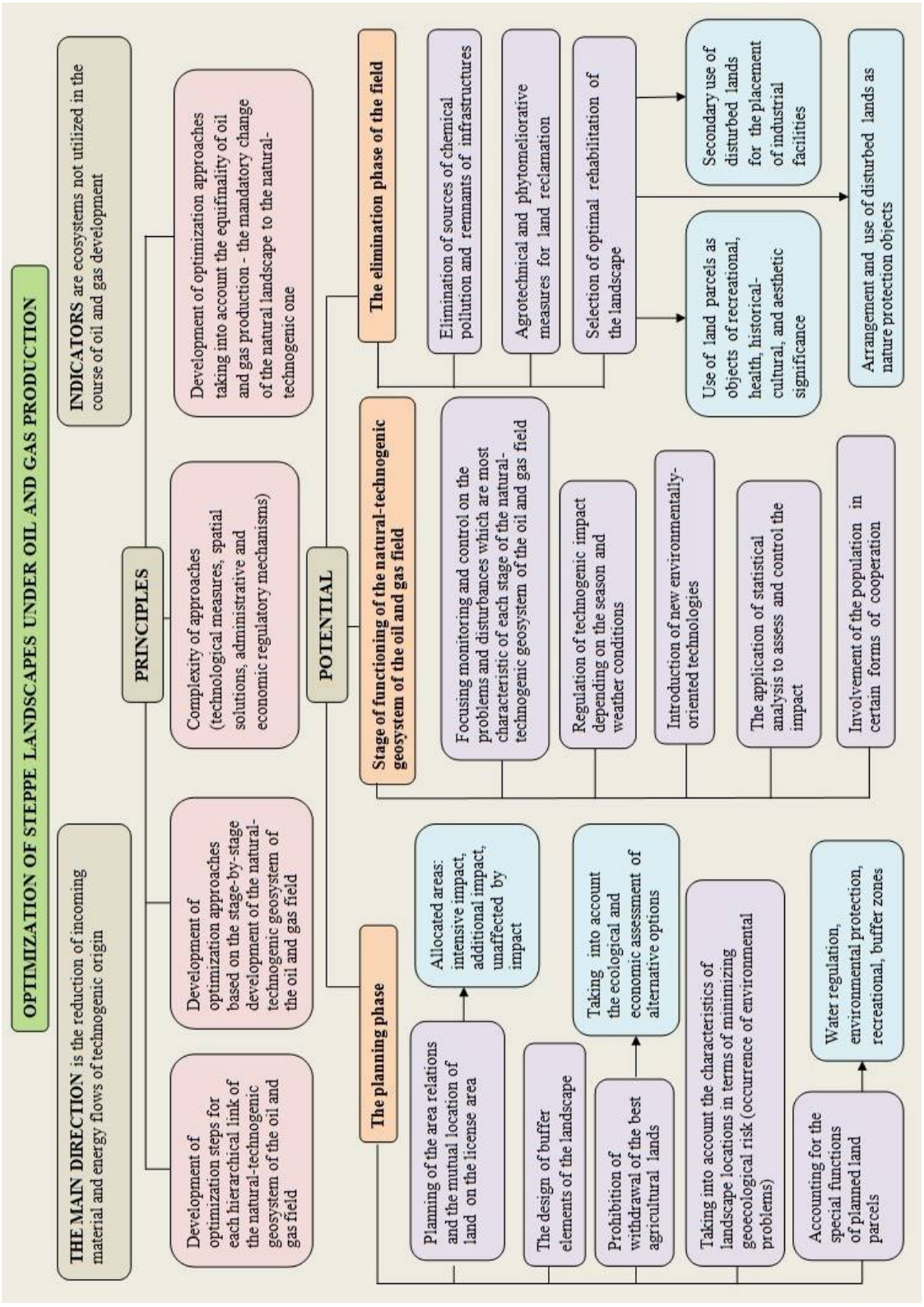


Рисунок 2. Принципы и подходы к оптимизации ландшафтов степной зоны в условиях нефтегазодобычи
Figure 2. Principles and approaches to optimization of steppe under oil and gas production

Этап планирования

Хотя существует пространственная привязка объектов нефтегазодобычи к лицензионному участку, схема их размещения все же может быть геоэкологически обоснованной. Исходя из специфики объектов (в подавляющем большинстве – точечных), наиболее логичным будет применение правила ландшафтной адаптивности на основе оценки позиционных факторов. Одним из подходов к геоэкологически обоснованному размещению объектов может быть минимизация их присутствия в наиболее уязвимых ландшафтных местоположениях – например, на эрозионно-опасных склонах, что должно способствовать минимизации геоэкологических проблем. Однако при выборе решения должны оцениваться и другие составляющие: альтернативное размещение может быть связано с выведением из сельскохозяйственного оборота ценных угодий, что противоречит существующим мнениям о необходимости законодательно ограничить отвод наиболее продуктивных земель для несельскохозяйственных нужд. Выделение такого неприкосновенного «элитного фонда» земель должно опираться на материалы качественной экономической и ландшафтно-мелиоративной оценки земель, а не просто бонитировки почв [4]. Подобная точка зрения приобретает все большую актуальность на фоне масштабного использования плодородных земель в нефтегазовом и других производствах.

Вести речь о минимизации воздействия можно лишь с точки зрения утраты определенной ландшафтной функции, что предполагает множественность оценок устойчивости ландшафтов. Достаточно сложно выполнить интегральную оценку ландшафтного местоположения для планирования того или иного вида техногенного воздействия – оценка будет меняться в зависимости от вида природопользования. Кроме того, важно оценить связь с соседними ландшафтными единицами: возможно развитие нежелательных или блокирование желательных латеральных потоков вещества, энергии и информации.

Наиболее целесообразно начинать планирование с выявления тех участков, которые не должны быть нарушены и подвергнуты техногенному воздействию. Это могут быть редкие или уникальные урочища, возможно, даже с не подкрепленным нормативной базой статусом, а лишь рекомендованные научно-исследовательскими организациями к охране. Также не должны быть затронуты исторически сложившиеся локальные рекреационные участки и стабилизирующие (буферные) элементы функционирования ландшафта. Помимо этого, перспективным можно считать планирование взаиморазмещения и соотношения угодий с различными типами землепользования относительно естественных ландшафтов, что позволит избежать стихийно сложившейся планировочной структуры.

О соотношениях площадей нарушенных/ненарушенных нефтегазодобычей земель можно говорить как в масштабах природно-техногенной геосистемы одного месторождения, так и в масштабах территориального образования любой размерности. Идеи оптимальных пропорций земель различного назначения, нарушенных и ненарушенных ландшафтов активно обсуждаются в научном сообществе. По А.Ю. Ретеюму, при выборе типа организации пространства в локальном и региональном масштабах «заранее обречены на неудачу попытки определения единых норм плотности технических сооружений на единицу площади земной поверхности, установления естественных пределов емкости территорий, точно так же, как и попытки выяснения пригодной для всех случаев «оптимальной» доли естественных ландшафтов» [11]. И с этой позицией авторы солидарны. Помимо взаиморазмещения и соотношения угодий имеют значение типы планируемых к размещению объектов (скважины или мини-завод по первичной переработке нефти), показатели фрагментации затронутых техногенным воздействием ландшафтов, виды использования близлежащих сельскохозяйственных земель. Соответственно, каждый случай планирования природно-техногенной геосистемы должен рассматриваться индивидуально, с учетом множества факторов. В условиях степной зоны наиболее приоритетны уклон рельефа, экспозиция склона, удаленность объектов нефтегазодобычи от водотоков и водоемов, а также классификация ландшафтных местоположений по степени уязвимости к техногенным воздействиям.

Этап функционирования природно-техногенной геосистемы месторождения

На стадиях развития природно-техногенной геосистемы нефтегазового месторождения важнейшим организационно-деятельностным направлением является контроль и регулирование природопользования, упреждение геоэкологических проблем, наиболее характерных и вероятных для каждой стадии развития природно-техногенной геосистемы. Так, на стадии растущей добычи начинается расширение дорожной сети, увеличение ее густоты за счет образования стихийных дорог – соответственно, необходимо сделать акцент на отслеживании именно этих ситуаций. На стадии максимальной добычи значительно возрастает опасность загрязнения водотоков и водоемов за счет увеличения количества объектов, размещаемых ближе чем в 500 м – значит, особое внимание должно быть направлено на предотвращение именно этой геоэкологической проблемы.

Кроме того, перспективными могут быть следующие шаги:

- регулирование техногенной нагрузки в зависимости от сезона и метеоусловий: ограничение или запрет на движение тяжелой техники весной и осенью в период распутицы, поскольку уплотнение почвы, вызванное давлением машин, зависит от ее влажности; минимизация работы факельных установок при ветреной (в низинах – наоборот, безветренной) погоде; ограничение в период паводка и половодья любых технических работ, связанных с возможными утечками химических реагентов и нефтепродуктов;

- управление вещественно-энерге-тическими и информационными латеральными потоками – создание/регулирование буферных элементов ландшафта и специализированных технических сооружений. Например, для защиты водоемов от загрязнения со стороны водоразделов на пути загрязненных вод следует размещать установки совмещенного вертикального и горизонтального дренажа, с обустройством емкостей для сбора [3];

- применение технологических решений, связанных с реализацией концепции нулевого сброса – внедрение малоотходной технологии строительства скважин с целью рециклирования отходов, их перевода из категории загрязнителей во вторично используемые материалы в других видах хозяйственной деятельности. Например, полив сельскохозяйственных культур буровой сточной водой может повысить урожайность на степных почвах [3]. Внедрение постоянного масштабного экологического мониторинга, в том числе спутникового наблюдения;

- применение автоматизированных методов математической обработки и ГИС-технологий для прогнозирования возможных геоэкологических ситуаций и регулирования воздействия.

Этап ликвидации объектов нефтегазодобычи

В состав обязательных мероприятий должны входить:

- ликвидация потенциально-активных источников геохимического загрязнения;

- очистка участка нефтегазопромысла от остатков инфраструктуры, отходов различного вида;

- биологический этап рекультивации, включающий рекультивацию участка с использованием специальных смесей, исключающих «выдавливание» из утилизируемых амбаров солевых и других растворов [11].

Необходимо классифицировать нарушенные земли для выбора оптимального способа реабилитации и дальнейшего использования, которое зависит от пространственно-географической характеристики местоположения, хозяйственной ценности участка, глубины нарушений. Наиболее реалистичны, по мнению авторов, следующие варианты:

- вторичное использование нарушенных земельных участков под промышленные объекты – например, под размещение других источников производства энергии – ветровых генераторов или солнечных батарей, что поможет существенно снизить площади новых нарушений. Активное развитие и внедрение альтернативных источников энергии в степной зоне (например, в Оренбургской области), указывает на перспективность такого применения нарушенных земель;

- обустройство и использование участков в качестве объектов, имеющих рекреационное, оздоровительное, историко-культурное, эстетическое и иное социально-ценное значение. Однако подобное использование нарушенных земель во многом зависит от их пространственно-географического положения и особенностей территориального развития: насколько близко созданные объекты расположены к населенным пунктам, с какой вероятностью могут стать центрами притяжения населения, насколько у населения востребованы объекты такого рода и пр.;

- обустройство и использование нарушенных участков как природоохранных объектов. С помощью экологической реставрации возможно создание квазинатуральных (имитационных, аналоговых) ландшафтов, выполняющих при-родоохранное значение – очагов восстановления зональных фитоценозов, биоценозов, иных участков сходного назначения.

Безусловно, в проблемных нефтегазо-добывающих регионах в первую очередь необходимо отталкиваться от административных и экономических мер управления сложившейся геоситуацией, которые были и остаются основными рычагами воздействия на компании – недропользователи [12]. Повышение платежей за негативное воздействие на ландшафты и размещение отходов; налоговое стимулирования предприятий, принимающих программы экологизации производства; поощрение разработки и внедрения новейших экологически ориентированных технологий освоения месторождений углеводородов – эти и другие меры подобного рода применяются в полном объеме. Тем не менее, все еще встречаются ситуации, когда предприятию проще и выгоднее во всех отношениях заплатить за причиненный экологический ущерб, чем его предотвратить [13].

Очевидно, что стандарты эффективности экологического менеджмента процессов нефтегазодобычи должны быть пересмотрены в сторону ужесточения. Существуют примеры управления нефтегазодобывающими регионами в США, которые демонстрируют снижение всесторонних показателей экологического ущерба после внедрения единых высоких экологических стандартов и норм для компаний-недропользователей, с ужесточением контроля за их исполнением [14]. Введение подобной жесткой стандартизации поможет упорядочить схему оценки и мониторинга окружающей среды и упростит процедуру отчетности. Уже на стадии проведения конкурсов и тендеров на осуществление нефтегазодобывающей деятельности необходимо отдавать преимущество тем недропользователям, которые демонстрируют максимальную приверженность защите окружающей среды и учитывают инновационный мировой опыт в этой сфере.

В канадской провинции Альберта, имеющей колоссальные запасы нефти и битуминозных песков, разработан научно обоснованный подход к обустройству природопользования в ходе разработки месторождений. Предлагается на стадии планирования выделять в определенных пропорциях и поддерживать три зоны землепользования: интенсивную, где непосредственно осуществляется добыча, хозяйственную, где осуществляются иные виды хозяйственной деятельности и охраняемую, которая не будет подвержена никаким видам воздействия [15]. Кроме того, на государственном уровне разработаны правила, предписывающие компаниям, занимающимся добычей нефти и битуминозного песка, гарантировать финансовое обеспечение для будущей рекультивации в форме облигаций, размещенных в Фонде охраны окружающей среды. Интересен также опыт

перепродажи прав на пользование землей между компаниями с помощью специального механизма ценообразования в случае, если компания-недропользователь использует меньше земли, чем было запланировано. Экономия земельных ресурсов может достигаться посредством перепланирования землепользования в ходе работ или применения современных экологических технологий.

В России новейшие разработки в области экологической безопасности применяются при добыче шельфовой нефти. Объекты экологически ориентированных компаний (ООО «Лукойл-КМН», «Газпром нефть шельф») работают по принципу «нулевого сброса», утилизируя отходы современными методами, вовлекая часть из них во вторичное использование. В рамках принципа «нулевого сброса» ведется постоянный масштабный экологический мониторинг, включающий в себя, в том числе, спутниковое наблюдение. Все объекты оборудованы многоуровневыми системами обнаружения и предотвращения аварийных ситуаций. К сожалению, подобные высокотехнологичные подходы пока массово применяются, в основном, при разработке шельфовых месторождений.

Проблема контроля за соблюдением экологических требований может быть частично решена и путем вовлечения в процесс местных жителей, которые заинтересованы в сохранности среды, снижении ущерба, сохранении традиционного природопользования. С одной стороны, это не будет являться чрезмерно затратным способом мониторинга ситуации в отдаленных нефтегазоносных районах, с другой – позволяет развить экологическое сознание и социальную активность гражданского общества, снизить напряженность среди населения, обеспокоенного геоэкологическими последствиями осуществляемых работ [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для теоретического обоснования предлагаемых оптимизационных решений, выявления реальных и предполагаемых геоэкологических рисков в условиях нефтегазодобычи необходимо проводить независимые научные исследования, результаты которых должны быть полностью прозрачны и доступны заинтересованной общественности. Только независимая от компаний – недропользователей геоэкологическая экспертиза в сочетании с усилением профессионального контроля за текущими сценариями природопользования может способствовать сохранению и восстановлению степных ландшафтов [17]. Необходимо создание научной консультативной группы, которая будет выполнять указанные исследования, вести постоянный мониторинг геоэкологической ситуации, представлять рекомендации по ее корректировке и, в конечном счете, являться непредвзятым источников информации о воздействии нефтегазодобычи на ландшафты. При несоблюдении указанных мер и поддержании сегодняшней ситуации риск техногенной деградации степных ландшафтов становится практически неотвратимым хотя бы потому, что последствием бесхозяйственного природопользования уже является формирование очагов экологического кризиса.

В сегодняшней ситуации техногенная деградация степных ландшафтов Волго-Уральского региона малоуправляема. Еще раз подчеркнем, что снижение техногенной нагрузки на ландшафты, ее контроль и регулирование – не столько проблема научных разработок и достижений в области экологических технологий, сколько состояния общественного самосознания и расстановки приоритетов органами управления. Разрабатываемые методы предотвращения и снижения техногенной нагрузки, с последующим восстановлением степных ландшафтов могут обернуться желаемым эффектом только в результате реализации целенаправленной комплексной политики экологизации образования и воспитания населения, соответствующей смены общественных приоритетов, что обеспечит действенность сопряженных подходов к оптимизации степных ландшафтов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках госзадания ИС УРО РАН (№ГР АААА-А21-121011190016-1).

ACKNOWLEDGMENT

This work was done as part of the Steppe Institute UrB RAS Theme (#GP AAAA-A21-121011190016-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Мячина К.В. О техногеосистемах нефтегазовых месторождений в степной зоне (Оренбургская область) // Материалы международной научно-практической конференции «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования», посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова. Иркутск, 23-27 сентября 2019 г. С. 520-523.

2.Земельное право // под ред. Н.Г. Жаворонковой, И.О. Красновой. М.: Издательство Юрайт, 2016. 580 с.

3.Безродный Ю.Г. Проблемы обеспечения экологической безопасности при разработке и прохождении государственной экспертизы рабочих проектов на строительство скважин // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. 2010. N 1. С. 46-48.

4.Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск: УрО АН СССР. 1992. 164 с.

5.Исаченко А.Г. Оптимизация природной среды (географический аспект). М.: Мысль, 1980. 264 с.

6.Хорошев А.В., Авессаломова И.А., Дьяконов К.Н. и др. Теория и методология ландшафтного планирования / Отв. ред. К.Н. Дьяконов, А.В. Хорошев. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. 444 с.

7.Трофимов А.М., Рубцов В.А., Краснов Е.В., Шабалина С.А. О целостности, единстве и целевой установке современной географии // Вестник Российского государственного университета им. И Канта. 2010. Вып. 1. С. 8-15.

8.Сысуев В.В. Об «оптимизации» ландшафтов // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. N 4. С. 35-41.

9.da Silva Dias A.M., Fonseca A., Paglia A.P. Biodiversity monitoring in the environmental impact assessment of mining projects: a (persistent) waste of time and money? // Perspectives in Ecology and Conservation. 2017. V. 15. Iss. 3. P. 206-208. DOI: 10.1016/j.pecon.2017.06.001
10. Природопользование в территориальном развитии современной России / Под ред. И.Н. Волковой, Н.Н. Клюева. М.: Медиа-Пресс, 2014. 360 с.
11. Антипов А.Н, Макаров С.А., Семенов Ю.М. и др. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Ковыктинское газоконденсатное месторождение. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2004. 159 с.
12. Мячина К.В., Краснов Е.В. Концепция сбалансированного недропользования в степной зоне Волго-Уральского региона // Проблемы региональной экологии. 2018. N 4. С. 74-82.
13. Пузаченко Ю.Г. Общие основания концепции устойчивого развития и экосистемных услуг // Известия РАН. Серия географическая. 2012. N 3. С. 22-39.
14. Kolowski J.M., Alonso A. Density and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in northern Peru and the impact of oil exploration activities // BiolConserv. 2010. V. 143. Iss. 4. P. 917-925. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.12.039
15. Jordaan S.M. Land and water impacts of oil sands production in Alberta // Environ. Sci. Technol. 2012. V. 46. N 7. P. 3611-3617. DOI: 10.1021/es203682m
16. Красноштанова Н.Е. Экологические аспекты развития нефтегазодобывающей промышленности в Иркутской области // Материалы Международной научно-практической конференции «Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты». Оренбург-Бузулук, 2017. Т. 2. С. 14-17.
17. Мячина К.В. Некоторые аспекты влияния факельных установок для сжигания попутного нефтяного газа на ландшафты при разработке месторождений нефти (Волго-Уральский степной регион) // В сборнике: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции. Под общ. ред. С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. Воронеж, 2019. С. 114-118.

REFERENCES

1.Myachina K.V. O tekhnogeosistemakh neftegazovykh mestorozhdenii v stepnoi zone (Orenburgskaya oblast') [About technogeosystems of oil and gas fields in the steppe zone (Orenburg region)]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Geograficheskie osnovy i ekologicheskie printsipy regional'noi politiki prirodopol'zovaniya», posvyashchennoi pamyati chl.-korr. RAN A.N. Antipova*, *Irkutsk, 23-27 sentyabrya 2019* [Proceedings of international scientific and practical conference "Geographical bases and ecological principles of regional environmental policy", dedicated to the memory of A.N. Antipova, Irkutsk, 23-27 September 2019]. Irkutsk, 2019, pp. 520-523. (In Russian)
2.Zhavoronkova N.G., Krasnova I.O., eds. *Zemel'noe pravo* [Land law]. Moscow, Yurait Publ., 2016, 580 p. (In Russian)
3.Bezrodnyi Yu.G. Problems of ensuring environmental safety when developing and passing the state examination of working projects for the construction of wells. Vestnik assotsiatsii burovykh podryadchikov [Bulletin of the Association of drilling contractors]. 2010, no. 1, pp. 46-48. (In Russian)
4.Chibilev A.A. *Ekologicheskaya optimizatsiya stepnykh landshaftov* [Ecological optimization of steppe]. Sverdlovsk, Ural Branch AS USSR Publ., 1992, 164 p. (In Russian)
5.Isachenko A.G. *Optimizatsiya prirodnoi sredy (geograficheskii aspekt)* [Optimization of the natural environment (Geographical aspect)]. Moscow, Mysl' Publ., 1980, 264 p. (In Russian)
6.Khoroshev A.V., Avessalomova I.A., D'yakonov K.N. et al. *Teoriya i metodologiya landshaftnogo planirovaniya* [Theory and methodology of landscape planning]. Moscow, KMK Publ., 2019, 444 p. (In Russian)
7.Trofimov A.M., Rubtsov V.A., Krasnov E.V., Shabalina S.A. Integrity and objectives of modern geography. Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta im. I Kanta [Bulletin of the Russian state University name of I. Kant]. 2010, no. 1, pp. 8-15. (In Russian)
8.Sysuev V.V. To the "optimization" of landscapes. Vestnik MGU. Series 5. Geography [Moscow University Vestnik. Series 5. Geography]. 2015, no. 4, pp. 35-41. (In Russian)
9.da Silva Dias A.M., Fonseca A., Paglia A.P. Biodiversity monitoring in the environmental impact assessment of mining projects: a (persistent) waste of time and money? *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2017, vol. 15, iss. 3, pp. 206-208. DOI: 10.1016/j.pecon.2017.06.001
10. Volkova I.N., Klyuev N.N., eds. *Prirodopol'zovanie v territorial'nom razvitii sovremennoi Rossii* [Nature management in the territorial development of modern Russia]. Moscow, Media-Press Publ., 2014, 360 p. (In Russian)
11. Antipov A.N., Makarov S.A., Semenov Yu.M. et al. *Ekologicheski orientirovannoe planirovanie zemlepol'zovaniya v Baikal'skom regione. Kovyktinskoe gazokondensatnoe mestorozhdenie* [Environmentally oriented land use planning in the Baikal region. Kovykta gas condensate field]. Irkutsk, IG SO RAS Publ., 2004, 159 p. (In Russian)
12. Myachina K.V., Krasnov E.V. The concept of balanced subsurface use in the steppe zone of the Volga-Ural region. Problemy regional'noi ekologii [Problems of regional ecology]. 2018, no. 4, pp. 74-82. (In Russian)
13. Puzachenko Yu.G. General basis of conception of sustainable development and ecosystem surveys. Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya [Izvestiya RAS. Geographic series]. 2012, no. 3, pp. 22-39. (In Russian)
14. Kolowski J.M., Alonso A. Density and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in northern Peru and the impact of oil exploration activities. *Biological Conservation*, 2010, vol. 143, no. 4, pp. 917-925. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.12.039
15. Jordaan S.M. Land and water impacts of oil sands production in Alberta. *Environ. Sci. Technol.*, 2012, vol. 46, no. 7, pp. 3611-3617. DOI: 10.1021/es203682m
16. Krasnoshtanova N.E. Ekologicheskie aspekty razvitiya neftegazodobyvayushchei promyshlennosti v Irkutskoi oblasti [Environmental aspects of the development of the oil and gas industry in the Irkutsk region]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Okhrana prirody i regional'noe razvitie: garmoniya i konflikty». Orenburg-Buzuluk, 2017* [Materials of the International scientific and practical conference "Nature Protection and regional development: harmony and

conflicts", Orenburg-Buzuluk, 2017]. Orenburg, 2017, vol. 2, pp. 14-17. (In Russian)
17. Myachina K.V. Nekotorye aspekty vliyaniya fakel'nyh ustanovok dlya szhiganiya poputnogo neftyanogo gaza na landshafty pri razrabotke mestorozhdenij nefti (Volgo-Ural'skij stepnoj region) [Some aspects of the influence of flare devices for burning associated petroleum gas on landscapes during the development of oil fields (Volga-Ural steppe region)]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Global'nye klimaticheskie izmeneniya: regional'nye effekty, modeli, prognozy», Voronezh, 2019* [Materials of the International scientific and practical conference "Global climate change: regional effects, models, forecasts"]. Voronezh, 2019, pp. 114-118. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ксения В. Мячина, разработка концепции и методологии, выполнение формального анализа, сбор данных, подготовка черновика рукописи, редактирование. Евгений В. Краснов, разработка концепции и методологии, редактирование рукописи. Авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ksenia V. Myachina developed the concept and methodology, undertook data collection and formal analysis, prepared the draft manuscript and editing it. Eugeniy V. Krasnov developed the concept and methodology and edited the manuscript. Both authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ксения В. Мячина / Ksenia V. Myachina https://orcid.org/0000-0001-5190-1421
Евгений В. Краснов / Eugeniy V. Krasnov https://orcid.org/0000-0002-2515-161X

Оригинальная статья / Original article
УДК 330.34
DOI: DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-87-97

Устойчивость социально-экономического развития муниципальных образований Воронежской области

Наталия В. Яковенко[1], Роман В. Тен[2], Игорь В. Комов[2], Ольга В. Диденко[2]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия
[2]Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Контактное лицо
Наталия В. Яковенко, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник дирекции НИИ ИТЛК, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; 394087 Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8.
Tel. +79191889232
E-mail n.v.yakovenko71@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0003-4203-0040

Формат цитирования
Яковенко Н.В., Тен Р.В., Комов И.В., Диденко О.В. Устойчивость социально-экономического развития муниципальных образований Воронежской области // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 87-97. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-87-97

Получена 20 октября 2020 г.
Прошла рецензирование 8 декабря 2020 г.
Принята 14 декабря 2020 г.

Резюме

Цель – оценка устойчивости социально-экономического развития муниципальных образований Воронежской области.

Материал и методы. В работе использован системный подход для комплексного, структурированного и динамического изучения состояния уровня социально-экономической устойчивости муниципальных образований региона. В рамках этого подхода используется метод классификации, с помощью которого определяются и ограничиваются существующие концептуальные подходы к трактовке конфликта как экономической категории, и метод сравнительного анализа, с помощью которого сравниваются выделенные подходы друг с другом. База статистических данных охватывает промежуток с 2014 по 2018 годы. Рассчитан интегральный индекс социально-экономической устойчивости муниципальных образований региона.

Результаты. Результаты расчетов интегрального индекса устойчивости свидетельствуют о наличии 5 групп муниципальных образований, характеризующихся той или иной степенью социально-экономической устойчивости: группа с высоким уровнем социально-экономической устойчивости, группа с уровнем социально-экономической устойчивости выше среднего, группа со средним уровнем социально-экономической устойчивости, группа с низким уровнем социально-экономической устойчивости, группа с кризисным уровнем социально-экономической устойчивости. Именно кризисность ряда муниципалитетов указывает на необходимость разработки определённых антикризисных рекомендаций, способствующих эффективному использованию уже имеющегося потенциала и непосредственно развитию внутренних ресурсов муниципалитетов.

Заключение. В работе решена актуальная практико-ориентированная задача в области социально-экономико-географических исследований – проведен расчёт устойчивости социально-экономического развития муниципальных образований региона. Проведенная оценка показателей устойчивости муниципалитетов региона позволила комплексно и адекватно выявить «сильные и слабые» стороны региональной социально-экономической системы Воронежской области и определить основные стратегические задачи на пути продвижения к единой стратегической цели – улучшения уровня и качества жизни населения.

Ключевые слова
Муниципальные образования, оценка, социально-экономическая устойчивость, регион, Воронежская область.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Sustainability of social and economic development of municipalities in the Voronezh Region, Russia

Nataliya V. Yakovenko[1], Roman V. Ten[1], Igor V. Komov[2] and Olga V. Didenko[2]
[1]G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia
[2]Voronezh State University, Voronezh, Russia

Principal contact
Nataliya V. Yakovenko, Doctor of Geography, Professor & Chief Research Officer, Research Institute of Innovative Technologies of the Forestry Complex, G.F. Morozov State University of Forestry and Technologies; 8 Timiryazev St, Voronezh, Russia 394087.
Tel. +79191889232
Email n.v.yakovenko71@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0003-4203-0040

How to cite this article
Yakovenko N.V., Ten R.V., Komov I.V., Didenko O.V. Sustainability of social and economic development of municipalities in the Voronezh Region, Russia. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 87-97. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-87-97

Received 20 October 2020
Revised 8 December 2020
Accepted 14 December 2020

Abstract
Aim. The aim is to assess the sustainability of the social and economic development of the municipalities in the Voronezh Region.
Material and Methods. A systematic approach to an integrated, structured and dynamic study of the level of social and economic sustainability of municipalities in the region. This approach uses the classification method, which defines and restricts existing conceptual approaches to the interpretation of conflict as an economic category, and the comparative analysis method, which compares the selected approaches with each other. The statistical database covers the period from 2014 to 2018. The integral index of social and economic sustainability of the municipalities in the region has been calculated.
Discussion. The results of calculations of the integral sustainability index allowed us to identify 5 groups of municipalities, characterized by a certain degree of social and economic sustainability: a group with a high level of socio-economic sustainability, a group with an above-average level of socio-economic sustainability, a group with an average level of socio-economic sustainability, a group with a low level of socio-economic sustainability and a group with a crisis level of socio-economic sustainability. A crisis situation in a number of municipalities necessitates the development of certain anti-crisis recommendations that contribute to the effective use of existing potential and directly develop the internal resources of the municipalities.
Conclusion. The work resolves an actual practice-oriented issue in the field of socio-economic and geographical research - the calculation of the sustainability of the social and economic development of municipalities in the region. Assessment of the sustainability indicators of the regional municipalities made it possible to comprehensively and adequately reveal the "strengths and weaknesses" of the regional social and economic system of the Voronezh Region and to identify the principal strategic tasks in moving towards a single strategic aim – improving the population level and life quality.

Key Words
Municipalities, assessment, social and economic sustainability, region, Voronezh Region.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Региональное развитие формируется под влиянием тенденций социально-экономического развития страны, наличия человеческого капитала, уровня и качества жизни населения, способности к рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов. В то же время дисбаланс развития как внутри отдельных регионов, так и диспропорции в уровне развития различных регионов могут нарушить национальную безопасность. Именно поэтому важно не только устойчивое развитие страны, но и устойчивое развитие ее регионов и муниципальных образований. В то же время разработка национальных стратегий – это лишь наброски приоритетов развития страны. Реальное достижение этих приоритетов происходит на местном уровне [1], исходя из индивидуального потенциала каждого региона. Следует также помнить, что политика выравнивания развития регионов, принятая ЕС [2], неоднозначна в странах с разными темпами социально-экономического развития. Системное управление устойчивым развитием имеет большое теоретическое и практическое значение, поскольку эффективное использование потенциала как отдельной страны, так и ее регионов в целях обеспечения устойчивого развития возможно только на основе сознательных, целенаправленных, научно-обоснованных действий по трансформации региональных систем.

Несмотря на активность научного поиска в этом направлении, некоторые аспекты реализации мер обеспечения устойчивости региональной экономики проявляют новую проблематику практического и научно-методического содержания. Кроме того, в последнее время принимаются управленческие государственные и региональные решения без четкого представления системности вопроса обеспечения устойчивого развития отдельной территории, и, порой, отсутствием надлежащего финансового обеспечения в реализации мероприятий по управлению территориальным развитием. Именно поэтому дальнейшего наполнения содержанием требуют теоретико-методические основы обеспечения устойчивости регионального развития как условия создания эффективного потенциала территорий с результативным следствием улучшения качества жизни населения.

Цель исследования – оценка социально-экономической устойчивости муниципальных образований Воронежской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторы используют системный подход для комплексного, структурированного и динамического изучения состояния уровня социально-экономической устойчивости муниципальных образований региона. В рамках этого подхода используется метод классификации, с помощью которого определяются и ограничиваются существующие концептуальные подходы к трактовке устойчивости как социально-экономической категории, и метод сравнительного анализа, с помощью которого сравниваются выделенные подходы друг с другом. Информационно-аналитическую основу исследования составляют работы зарубежных и российских авторов по заявленной теме исследования [3-7]. Формирование базы данных выполнено в ретроспективе за период 2014-2018 гг.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значительный вклад в разработку системы показателей и инструментов оценки устойчивости территорий внесли международные и региональные организации: Модель «Движущая сила – государство – ответ» (DSR), разработанная Комиссией ООН по устойчивому развитию (UNCSD) (Commission on Sustainable Development, 2001); Модель «Давление – государство – ответ» (PSR) Организации экономического сотрудничества и развития (OCED) (Organization for Economic Cooperation and Development, 2001); Общество – Экономика – Экологическая модель, предложенная Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) (Global Reporting Initiative, 2002); Расширение меры богатства: Показатели модели экологически устойчивого развития, разработанной Всемирным банком [8-12].

Система статистических показателей должна быть составлена таким образом, чтобы иметь возможность как анализировать общие процессы, так и выявлять особенности развития отдельных явлений. В процессе формирования системы статистических показателей можно столкнуться с вопросом выбора необходимого количества показателей. С одной стороны, для лучшего, более глубокого исследования необходимо воспользоваться как можно большим количеством показателей, но, вместе с тем, количество выбранных показателей должно быть минимизировано в разумных пределах. Система статистических показателей используется для характеристики определённых категорий. Основной категорией оценки и выбора показателя является степень его информативности, которая проявляется в возможности модели расчета этого показателя.

Модель расчета отражает сущность оценивания и обоснования выводов. Определенная система статистических показателей, описывающая социально-экономический предмет, является своеобразной операционной моделью, фиксирующей его состояние и тенденцию развития. Она строится на базе концептуальной сущностной модели объекта, на принципах исследования, принятых в конкретной науке. К перечню показателей, характеризующих объект исследования, относятся те индикаторы, которые более чувствительны и имеют большую расчетную способность. Далее выступают отдельные статистические показатели, характеризующие проявления исследования - индикаторные понятия. Индикаторные понятия – это социально-экономическая категория, которая свидетельствует о качественном уровне развития. Система показателей рассматривается с точки зрения следующих социально-экономических аспектов: экономического, экологического, международного и информационного.

При построении системы оценки социально-экономической устойчивости следует учитывать следующие требования:

– предпочтение следует отдавать тем показателям, которые имеют динамический характер, а не тем, которые стабильны или медленно меняются во времени;

– для описания системы любой сложности вполне достаточно 9-10 критериев;

– показатели должны создавать предпосылки для проведения оперативной и комплексной оценки;

– показатели должны описывать действие наиболее весомых факторов;

– формирование системы показателей должно основываться на сочетании двух принципов – полноты охвата факторов воздействия и минимального количества показателей.

Формализация подавляющего большинства задач социально-экономических исследований предопределяет возможность широкого использования для их решения современных экономико-математических методов и моделей. Этому способствует массовость, типичность и повторяемость значительного количества таких задач и процедур обработки данных. Однако необходимость учета большого количества разнообразных показателей с целью как можно более полного описания исследуемых процессов и явлений, наличие признаков, которые только в косвенной форме отражают наиболее существенные, но неподдающиеся непосредственному наблюдению и измерению внутренние, скрытые свойства явлений, все это усложняет процедуру обработки данных.

Одной из важнейших задач, возникающих при обработке многомерных статистических данных является их агрегация, целью которой является сжатие признакового пространства без существенной потери его информативности. Широко распространенным подходом к агрегации эмпирических данных является переход от начальных показателей, значения которых измеряются на объектах, до небольшого числа некоторых обобщенных показателей, функционально связанных с начальными и обладающие теми или иными оптимальными по определенным критериям свойствами. На практике агрегирование исходных показателей часто рассматривается в контексте полной скалярной редукции, результатом которой является построение единого, так называемого обобщенного или интегрального показателя.

Под интегральным показателем будем понимать некий условный числовой измеритель латентного качества исследуемого явления. В основе построения обобщенного показателя лежит определение его концепции. На теоретическом уровне концептуализация отражает определение целей, задач, методологических принципов и подходов к его построению, требований по его качеству и направлениям интерпретации полученных результатов. Главной целью построения интегрального показателя эффективности является попытка придать ее оценке более простой и обозримый вид, что позволит упростить анализ конечного результата, сделать процедуру формирования выводов более простой и наглядной.

Основываясь на факторах, оказывающих наиболее весомое влияние на устойчивость социально-экономического развития муниципальных образований, предлагаем группу экономических и социальных индикаторов. Группировка частичных показателей в компоненты и составляющие осуществляется по формуле простой арифметической средней. Интегральный показатель устойчивости муниципальных образований рассчитывается как сумма рангов его составляющих. По логике построения составляющих, компоненты интегрального показателя устойчивости не могут превышать 100 %, что упрощает анализ и идентификацию проблем.

Алгоритм проведения расчетов представлен в таблице 1.

Предлагаем выделять 5 кластеров по уровню социально-экономической устойчивости муниципалитетов: высокий уровень социально-экономической устойчивости, уровень социально-экономической устойчивости выше среднего, средний уровень социально-экономической устойчивости, низкий уровень социально-экономической устойчивости, кризисный уровень социально-экономической устойчивости.

Важно понимать при определении интервала группы, что значение признака многих социально-экономических явлений, а как следствие и значение итогового интегрального показателя варьируются неравномерно и в значительных масштабах, поэтому в данной работе будем использовать неравный интервал, прогрессивно возрастающий в арифметической прогрессии:

$$h_{i+1} = h_i + a \qquad (1)$$

где h_i – величина интервала первой группы (кризисные муниципалитеты),

a – константа число, которое будет положительным при прогрессивно возрастающих интервалах и отрицательным при прогрессивно убывающих интервалах;

В нашем случае, оценив размах вариации итогового интегрального показателя, присвоим величины h_i = 0,005, и α = 0,025 соответственно.

Приступая к первому этапу, выясним уровень экономической устойчивости муниципалитетов Воронежской области.

В качестве индикаторов, определяющих экономическую устойчивость, будем использовать:

– инвестиции в основной капитал на душу населения, руб.;

– оборот розничной торговли на душу населения, руб.;

– объем платных услуг на душу населения, руб.;

– средняя заработная плата на душу населения, руб.;

– ввод в действие жилых домов на душу населения, м^2.

Необходимо соединить показатели в один общий по указанной методике, чтобы их можно было сравнить и посчитать экономическую устойчивость. Уровень устойчивости экономической составляющей муниципальных образований Воронежской области представлен в таблице 2.

Таблица 1. Алгоритм проведения расчетов
Table 1. Calculation algorithms

1 этап **Стандартизированный коэффициент для прямых показателей, увеличение значений которых свидетельствует о положительных тенденциях** / Standardized coefficient for direct indicators, the increase in the values of which indicates positive trends	$k = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$ x_i – **значение частного показателя в отдельном муниципалитете** / the value of a particular indicator in a particular municipality; max (x) – **максимальное значение данного показателя среди всей совокупности исследуемых объектов** / the maximum value of this indicator among the entire set of objects under study; min (x) – **минимальное значение данного показателя среди всей совокупности исследуемых объектов** / the minimum value of this indicator among the entire set of objects under study
Стандартизированный коэффициент для обратных показателей, увеличение значений которых свидетельствует об отрицательных тенденциях / Standardized coefficient for inverse indicators, the increase in the values of which indicates negative trends	$k = \frac{\max(x) - x_i}{\max(x) - \min(x)}$, где x_i – **значение частного показателя в отдельном муниципалитете** / the value of a particular indicator in a particular municipality; max (x) – **максимальное значение данного показателя среди всей совокупности исследуемых объектов** / the maximum value of this indicator among the entire set of objects under study; min (x) – **минимальное значение данного показателя среди всей совокупности исследуемых объектов** / the minimum value of this indicator among the entire set of objects under study
2 этап – определение индекса состояния каждого из выделенных факторов устойчивости муниципальных образований региона, а также результатов его функционирования, который представляет собой среднее квадратическое значение стандартизированных коэффициентов двух входящих в него показателей / Determination of the index of the state of each of the selected factors of the sustainability of the municipalities in the region, as well as the results of its functioning, which is the average square value of the standardized coefficients of the two indicators included in it	$I_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} K_i^2}{n}}$, где I_j – **показатель уровня устойчивости каждой составляющей** / indicator of the level of sustainability of each component; n – **количество показателей** / number of indicators
3 этап – формируется интегральный показатель / an integral indicator is formed	**Для отражения значимости каждого из выделенных блоков, характеризующих состояние основных факторов устойчивости также целесообразно использовать среднее квадратическое значение пяти входящих в него индексов** / to reflect the significance of each of the selected blocks that characterize the state of the main sustainability factors, it is also advisable to use the average square value of the five indices included in it $I_{уст} = \sqrt[2]{I_{экон} \times I_{социал}}$, где: $I_{экон}$ – **экономическая устойчивость** / economic sustainability, $I_{социал}$ – **социальная устойчивость** / social sustainability
4 этап – классификация по уровню социально-экономической устойчивости / classification by level of social and economic sustainability	**Классификация и соотнесение интегральной оценки устойчивости муниципалитетов по группам** / classification and correlation of the integrated assessment of the sustainability of municipalities by groups **Пороговые значения интегрального показателя оценки находятся в пределах от 0 до 1** / he threshold values of the integral score indicator are in the range from 0 to 1

Таблица 2. Индекс уровня экономической устойчивости муниципальных образований Воронежской области за 2014-2018 гг.
Table 2. Index of level of economic sustainability of municipalities in the Voronezh Region for 2014-2018

Муниципальные образования / Municipalities	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
город Воронеж / Voronezh City	0,542	0,587	0,593	0,597	0,585
город Нововоронеж / Novovoronezh City	0,690	0,658	0,667	0,674	0,664
Борисоглебский / Borisoglebsky	0,316	0,332	0,340	0,353	0,358
Аннинский / Anninsky	0,221	0,232	0,239	0,248	0,245
Бобровский / Bobrovsky	0,255	0,247	0,247	0,287	0,291
Богучарский / Bogucharsky	0,216	0,227	0,240	0,271	0,249
Бутурлиновский / Buturlinovsky	0,245	0,242	0,242	0,252	0,255
Верхнемамонский / Verkhnemamonsky	0,211	0,222	0,226	0,226	0,238
Верхнехавский / Verkhnehavsky	0,293	0,285	0,286	0,287	0,282
Воробьевский / Vorobyovsky	0,204	0,211	0,212	0,207	0,223
Грибановский / Gribanovsky	0,240	0,231	0,236	0,230	0,231
Калачеевский / Kalacheevsky	0,266	0,296	0,303	0,310	0,330
Каменский / Kamensky	0,229	0,254	0,231	0,331	0,231
Кантемировский / Kantemirovsky	0,272	0,322	0,252	0,473	0,253
Каширский / Kashirsky	0,268	0,265	0,270	0,262	0,264
Лискинский / Liskinsky	0,357	0,378	0,388	0,407	0,408
Нижнедевицкий / Nizhnedevitsky	0,249	0,272	0,269	0,264	0,265
Новоусманский / Novousmansky	0,520	0,410	0,406	0,405	0,384
Новохоперский / Novokhopyorsky	0,227	0,226	0,230	0,231	0,232
Ольховатский / Olkhovatsky	0,224	0,233	0,234	0,246	0,241
Острогожский / Ostrogozhsky	0,266	0,271	0,270	0,266	0,268
Павловский / Pavlovsky	0,251	0,251	0,257	0,257	0,261
Панинский / Paninsky	0,210	0,210	0,215	0,221	0,227
Петропавловский / Petropavlovsky	0,211	0,222	0,211	0,212	0,219
Поворинский / Povorinsky	0,237	0,235	0,227	0,231	0,246
Подгоренский / Podgorensky	0,227	0,237	0,238	0,240	0,240
Рамонский / Ramonsky	0,813	0,752	0,749	0,842	0,772
Репьевский / Repyovsky	0,215	0,227	0,219	0,215	0,235
Россошанский / Rossoshansky	0,299	0,313	0,314	0,301	0,301
Семилукский / Semiluksky	0,275	0,279	0,275	0,292	0,289
Таловский / Talovsky	0,207	0,222	0,228	0,263	0,228
Терновский / Ternovsky	0,203	0,205	0,207	0,215	0,222
Хохольский / Khokholsky	0,282	0,265	0,258	0,257	0,259
Эртильский / Ertilsky	0,200	0,202	0,203	0,201	0,207

На основании полученных данных, можно сказать, что по показателю экономической устойчивости, неизменно с 2014 по 2018 годы городской округ город Воронеж и городской округ город Нововоронеж находились в лидерах экономического развития, занимая 2 и 3 места соответственно. Лидером остается Рамонский район. Очевидно, показатель экономического развития этих муниципалитетов в 2-3, а в некоторых случаях и в 4 раза превышают аналогичный показатель остальных районов области.

Далее также оценим социальную составляющую. Социальную устойчивость будем характеризовать по следующим показателям:

– коэффициент рождаемости;

– коэффициент смертности;

– протяженность автодорог с твердым покрытием на 10000 км^2;

– число больничных коек на 1000 человек населения;

– число зарегистрированных преступлений (на 100 000 человек).

Исходя из таблицы 3, можем видеть, что лидерами по социальному развитию также остаются два городских округа Воронеж и Нововоронеж соответственно. При этом разрыв с остальными муниципалитетами области по социальному развитию существенен, но не столь критичен, как по экономическому показателю и в среднем составляет в 1,5 раза.

Таблица 3. Индекс уровня социальной устойчивости муниципальных образований Воронежской области за 2014-2018 гг.
Table 3. Index of level of social sustainability of the municipalities in the Voronezh Region for 2014-2018

Муниципальные образования Municipalities	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
город Воронеж / Voronezh City	0,841	0,865	0,880	0,887	0,866
город Нововоронеж / Novovoronezh City	0,801	0,849	0,777	0,804	0,788
Борисоглебский / Borisoglebsky	0,652	0,629	0,641	0,636	0,627
Аннинский / Anninsky	0,600	0,577	0,584	0,547	0,576
Бобровский / Bobrovsky	0,611	0,553	0,577	0,565	0,582
Богучарский / Bogucharsky	0,632	0,595	0,622	0,640	0,621
Бутурлиновский / Buturlinovsky	0,621	0,595	0,625	0,594	0,577
Верхнемамонский / Verkhnemamonsky	0,561	0,517	0,515	0,537	0,552
Верхнехавский / Verkhnehavsky	0,578	0,524	0,519	0,528	0,521
Воробьевский / Vorobyovsky	0,595	0,564	0,583	0,625	0,596
Грибановский / Gribanovsky	0,627	0,557	0,575	0,594	0,641
Калачеевский / Kalacheevsky	0,582	0,567	0,602	0,580	0,569
Каменский / Kamensky	0,656	0,580	0,638	0,634	0,597
Кантемировский / Kantemirovsky	0,617	0,595	0,579	0,592	0,561
Каширский / Kashirsky	0,547	0,503	0,527	0,520	0,480
Лискинский / Liskinsky	0,663	0,623	0,653	0,659	0,624
Нижнедевицкий / Nizhnedevitsky	0,499	0,459	0,495	0,519	0,486
Новоусманский / Novousmansky	0,653	0,606	0,635	0,642	0,664
Новохоперский / Novokhopyorsky	0,614	0,558	0,598	0,593	0,571
Ольховатский / Olkhovatsky	0,616	0,566	0,597	0,628	0,590
Острогожский / Ostrogozhsky	0,622	0,616	0,602	0,601	0,599
Павловский / Pavlovsky	0,654	0,575	0,582	0,593	0,602
Панинский / Paninsky	0,644	0,572	0,553	0,558	0,532
Петропавловский / Petropavlovsky	0,642	0,598	0,606	0,623	0,610
Поворинский / Povorinsky	0,732	0,690	0,684	0,639	0,661
Подгоренский / Podgorensky	0,631	0,581	0,551	0,532	0,538
Рамонский / Ramonsky	0,534	0,527	0,557	0,564	0,579
Репьевский / Repyovsky	0,614	0,558	0,649	0,617	0,581
Россошанский / Rossoshansky	0,721	0,665	0,688	0,683	0,669
Семилукский / Semiluksky	0,605	0,588	0,589	0,575	0,585
Таловский / Talovsky	0,593	0,556	0,581	0,578	0,589
Терновский / Ternovsky	0,595	0,536	0,558	0,570	0,536
Хохольский / Khokholsky	0,567	0,492	0,548	0,539	0,547
Эртильский / Ertilsky	0,586	0,526	0,533	0,552	0,556

Определив уровень устойчивости по социальным и экономическим параметрам, можно рассчитать интегральный индекс общей устойчивости социально-экономического развития (рис. 1, 2).

Анализ расчётных данных показывает, что с 2014 по 2016 год включительно наблюдается положительная динамика выравнивания социально-экономического развития муниципалитетов. Это выражается, в первую очередь, в увеличении числа муниципальных образований в «базовом кластере» среднего развития с 14 до 19, за счет уменьшения количества районов с

уровнем развития ниже среднего (с 10 до 6) и кризисных (с 3 до 1).

Таким образом, в 2016 г. более 50% (19 из 34) муниципалитетов Воронежской области имели средний уровень социально-экономической устойчивости. Однако, в период 2017-2018 годов увеличивается разрыв между социальными и экономическими параметрами, увеличивается количество муниципальных районов с низким уровнем социально-экономической устойчивости -12. Это свидетельствует об усилении внутримуниципальной дифференциации за рассматриваемый период и отсутствии действенной внутрирегиональной политики, направленной на снижение существующей социально-экономической асимметрии внутри субъекта Российской Федерации.

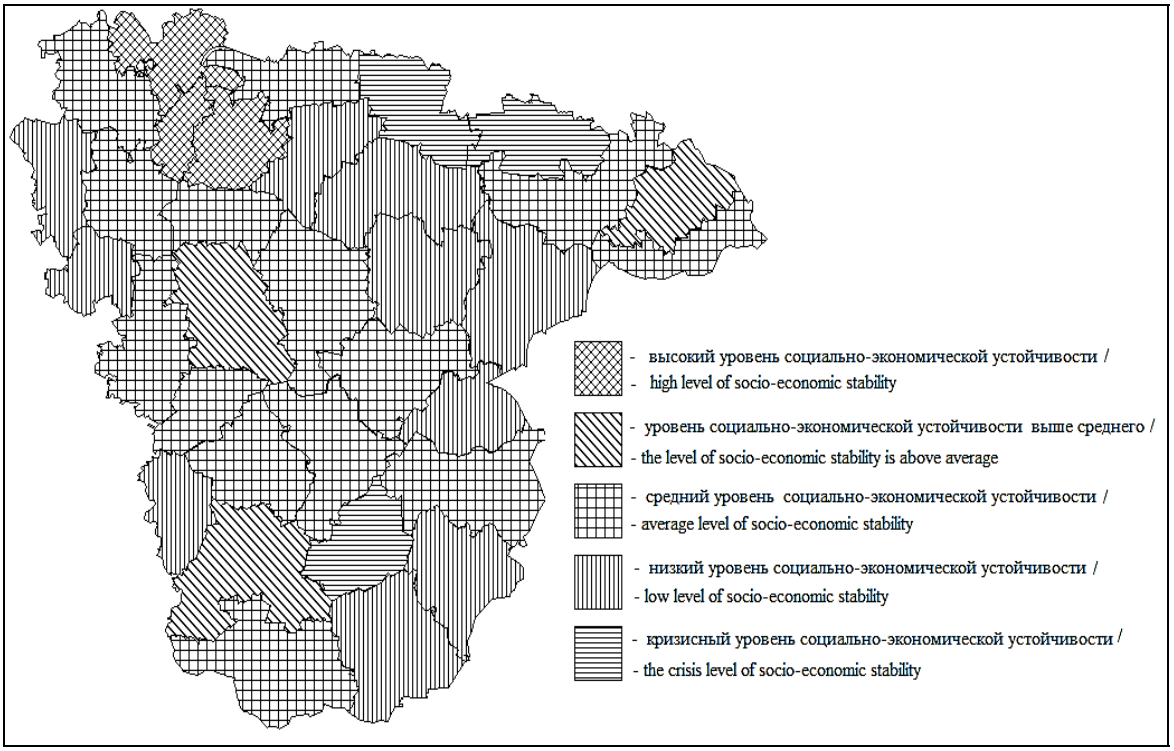


Рисунок 1. Индекс социально-экономической устойчивости муниципалитетов Воронежской области (2014 г.)
Figure 1. Index of socio-economic sustainability of municipalities in the Voronezh Region (2014)

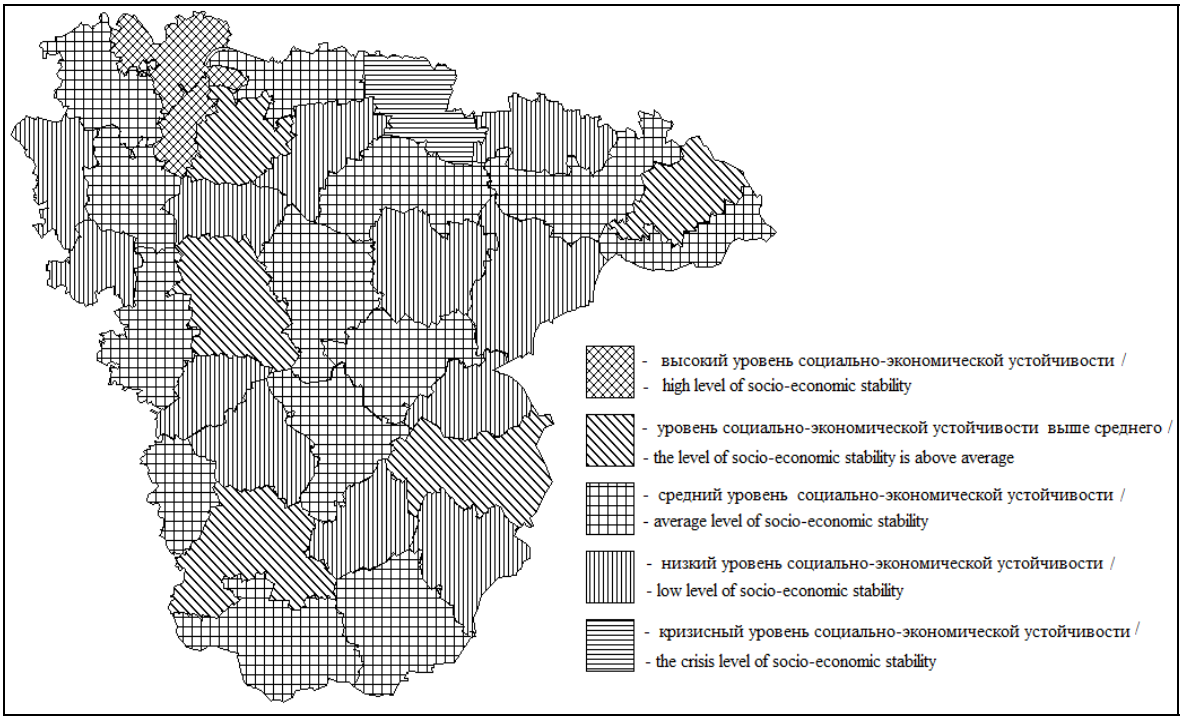


Рисунок 2. Индекс социально-экономической устойчивости муниципалитетов Воронежской области (2018 г.)
Figure 2. Index of socio-economic sustainability of municipalities in the Voronezh Region (2018)

На основании рассчитанного итогового интегрального индекса социально-экономической устойчивости муниципалитетов Воронежской области можно выделить 5 групп (рис.1, 2):

– высокий уровень социально-экономической устойчивости (город Нововоронеж, город Воронеж, Рамонский муниципальный район)

– уровень социально-экономической устойчивости выше среднего (Новоусманский, Лискинский, Борисоглебский, Россошанский, Калачеевский муниципальные районы);

– средний уровень социально-экономической устойчивости (Семилукский, Бобровский, Поворинский, Острогожский, Павловский, Богучарский, Грибановский, Бутурлиновский, Верхнехавский, Ольховатский, Кантемировский, Хохольский, Аннинский муниципальные районы

– низкий уровень социально-экономической устойчивости (Каменский, Репьевский, Таловский, Петропавловский, Воробьевский, Новохоперский, Верхнемамонский, Нижнедевицкий, Подгоренский, Каширский, Панинский, Терновский муниципальные районы)

– кризисный уровень социально-экономической устойчивости (Эртильский муниципальный район)

Исходя из проведённого анализа уровня социально-экономической устойчивости муниципальных образований Воронежской области можно сформулировать следующие выводы:

– показатели экономической устойчивости городских округов Воронеж и Нововоронеж в 3-4 раза превышают показатели других муниципалитетов региона. Единственным районом, который может составить конкуренцию городским округам по индексу экономической устойчивости является Рамонский муниципальный район.

– разрыв по индексу социальной устойчивости не столь значителен, но все равно существенен между муниципальными образованиями. И в этом случае лидерами по показателям этого индекса выступают также ГО г. Воронеж и ГО г. Нововоронеж.

ВЫВОДЫ

Социально-экономические системы муниципалитетов региона нестабильны и подвержены конфликтам в силу определенных причин. Во-первых, эти системы сложно структурированы и имеют несколько уровней. Они включают в себя множество экономических субъектов, каждый из которых преследует свои собственные интересы. Социальная природа экономических субъектов приводит к их ограниченной рациональности, что затрудняет прогнозирование их поведения и управление ими. Во-вторых, развиваясь по рыночной модели, современные экономические системы нацелены на интенсивный рост и подвержены постоянным изменениям. Эти изменения часто соответствуют интересам одних экономических субъектов и противоречат интересам других. В-третьих, социально-экономические системы несовершенны, несмотря на многочисленные попытки их оптимизации. Идеальные модели (в том числе и модель рыночной экономики) развития этих систем очень трудно реализовать на практике. Этот процесс усложняется в связи с дифференциацией социально-экономических систем и сложностью адаптации моделей к современному уровню развития всей страны в целом.

Проведенная оценка устойчивости социально-экономического развития муниципальных образований Воронежской области позволила выявить проблемные зоны и определить резервы, способные повысить устойчивость развития муниципальных образований. Для выравнивания уровня социально-экономического развития муниципалитетов необходимо решить ряд стратегических задач:

1. Стимулирование точек экономического роста (агломерации, города, в частности малые города).
2. Усиление возможностей развития территорий, нуждающихся в государственной поддержке (макро - и микроуровень).
3. Противодействие кризисам на проблемных территориях (малозаселенные сельские, пограничные территории и др.).
4. Развитие инфраструктуры для поддержки предоставления государственных услуг и повышение инвестиционной привлекательности территорий.
5. Развитие транспортной, инженерной, социальной и инфраструктуры безопасности.
6. Развитие человеческого капитала.
7. Содействие развитию предпринимательства, поддержка интернационализации бизнеса в секторе МСП.
8. Поддержка инновационной деятельности в муниципалитетах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, количественная оценка устойчивости социально-экономического развития муниципального образования традиционно базируется на совокупности измеряемых показателей и показателей для проведения регулярного мониторинга ситуации. Такой подход также дает возможность выявить недостающие (редко учитываемые из-за сложности процедуры оценки) области мониторинга, которые нуждаются в контроле для достижения общей цели повышения устойчивости. Авторами были использованы показатели и методы оценки социально-экономического развития региона и его устойчивости, адаптированные к статистическим данным в рамках предложенного механизма мониторинга. Для количественной оценки уровня устойчивого развития муниципалитетов разработана система показателей, включающая социальные и экономические показатели. Методология, используемая для оценки устойчивости развития, должна учитывать основные принципы кластерной методологии, то есть реализовываться с учетом мультипликативных эффектов межмуниципального и межотраслевого взаимодействия.

Для муниципалитетов с разным уровнем и потенциалом социально-экономической устойчивости необходимы дифференцированные (для «сильных» муниципалитетов – стимулирующие) меры, для проблемных и кризисных – меры, препятствующие их дальнейшей деградации.

БЛАГОДАРНОСТЬ
Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90021
ACKNOWLEDGMENT
This study was funded by RFBR, project number № 19-35-90021.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Commission on Sustainable Development. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. New York, United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2001. 93 p. URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf (дата обращения: 23.09.2020)
2. Global Reporting Initiative. Sustainability Reporting Guidelines. Amsterdam, Global Reporting Initiative, 2002. 96 p. URL: https://www.epeat.net/documents/EPEATreferences/GRIguidelines.pdf (дата обращения: 12.10.2020)
3. Мишина М.М. Социально-экономическая устойчивость регионов в условиях процессов мировой глобализации: проблемы и пути решения // Тенденции развития науки и образования. 2016. N 18-3. С. 33-34. DOI: 10.18411/lj2016-9-3-08
4. Рубанов И.Н., Нокелайнен Т.С., Калинкин И.В., Игонин А.И. Использование официальных статистических показателей для оценки степени устойчивости экономического развития регионов России // Наука. Инновации. Технологии. 2019. N 3. С. 77-94. DOI: 10.37495/2308-4758-2019-3-107-114
5. Яковенко Н.В., Комов И.В., Диденко О.В., Дробышев Е.А. Концептуальные аспекты формирования и развития кластеров в социально-экономико-географической системе региона // Проблемы региональной экологии. 2015. N 6. С. 61-66.
6. Yakovenko N.V., Komov I.V., Ten R.V. Cluster Approach in Assessing the Level of Socio-Economic Development of the Municipal Districts (Voronezh Region) // Advances in Economics, Business and Management Research. 2019. V. 79. P. 201-203. DOI: 10.2991/iscfec-19.2019.55
7. Yakovenko N.V. Socio-Ecological Well-Being of the Population (the Regions of the Central Federal District are Example // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 22. N 3. P. 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032035
8. An introduction to EU Cohesion Policy 2014-2020 [online]. URL: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/informat/basic/basic_2014_en.pdf (дата обращения: 10.10.2020)
9. Bhada P., Hoornweg D. The Global City Indicators Program: a More Credible Voice for Cities. Washington DC, World Bank, 2009. 4 p. URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/10244 (дата обращения: 10.10.2020)
10. Suresh B., Erinjery J.J., Jegathambal P. Indicators and Influence Factors for Sustainability Assessment of Inclusive Smart Innovation Clusters // Journal of Geological Resource and Engineering. 2016. N 7. P. 305-327. DOI: 10.17265/2328-2193/2016.07.001
11. Szirmai A. Socio-Economic Development (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2015. DOI: 10.1017/CBO9781107054158
12. The Sustainable Development Goals [online]. URL: https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/ (дата обращения: 10.10.2020)

REFERENCES

1. Commission on Sustainable Development. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. New York, United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2001, 93 p. Available at: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf (accessed 23.09.2020)
2. Global Reporting Initiative. Sustainability Reporting Guidelines. Amsterdam, Global Reporting Initiative, 2002, 96 p. Available at: https://www.epeat.net/documents/EPEATreferences/GRIguidelines.pdf (accessed 12.10.2020)
3. Mishina M.M. Socio-economic sustainability of regions in the context of the processes of world globalization: problems and solutions. *Trends in the development of science and education*, 2016, no. 18-3, pp. 33-34. (In Russian) DOI: 10.18411/lj2016-9-3-08
4. Rubanov I.N., Nokelaynen T.S., Kalinkin I.V., Igonin A.I. Implementation of official statistics for assessment of economic sustainability of Russian regions. *Science. Innovations. Technologies*, 2019, no. 3, pp. 77-94. (In Russian) DOI: 10.37495/2308-4758-2019-3-107-114
5. Yakovenko N.V., Komov I.V., Didenko O.V., Drobyshev Ye.A. Conceptual aspects of clusters forming and developing in the social, economic and geographical system of the region. Problemy regional'noi ekologii jekologii [Problems of regional ecology]. 2015, no. 6, pp. 61-66. (In Russian)
6. Yakovenko N.V., Komov I.V., Ten R.V. Cluster Approach in Assessing the Level of Socio-Economic Development of the Municipal Districts (Voronezh Region). *Advances in Economics, Business and Management Research*, 2019, vol.79, pp. 201-203. DOI: 10.2991/iscfec-19.2019.55
7. Yakovenko N.V. Socio-Ecological Well-Being of the Population (the Regions of the Central Federal District are Example. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032035
8. An introduction to EU Cohesion Policy 2014-2020 [online]. Available at: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/informat/basic/basic_2014_en.pdf (accessed 10.10.2020)
9. Bhada P., Hoornweg D. The Global City Indicators Program: a More Credible Voice for Cities. Washington DC, World Bank, 2009, 4 p. Available at: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/10244 (accessed 10.10.2020)
10. Suresh B., Erinjery J.J., Jegathambal P. Indicators and Influence Factors for Sustainability Assessment of Inclusive Smart Innovation Clusters. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 2016, no. 7, pp. 305-327. DOI: 10.17265/2328-2193/2016.07.001
11. Szirmai A. Socio-Economic Development (2nd ed.). Cambridge, Cambridge University Press, 2015. DOI: 10.1017/CBO9781107054158

12. The Sustainable Development Goals [online]. Available at: https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/ (accessed 10.10.2020)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталия В. Яковенко разработала концепции и дизайн исследования, написала первую версию статьи. Роман В. Тен провел расчеты по индексу социально-экономической устойчивости муниципальных образований. Игорь В. Комов несет ответственность за все аспекты работы и гарантирует соответствующее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью всех частей работы. Ольга В. Диденко одобрила окончательную версию статьи перед ее подачей для публикации, сформулировала результаты исследования и заключительные выводы. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nataliya V. Yakovenko developed the concept and design of the research and wrote the first version of the article. Roman V. Ten made calculations regarding the index of social and economic sustainability of municipalities. Igor V. Komov undertook responsibility for all aspects of the work and to guarantee appropriate consideration and resolution of issues related to its accuracy and integrity. Olga V. Didenko approved the final version of the article before its submission for publication and formulated research results and final conclusions. All authors 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

Наталия В. Яковенко / Nataliya V. Yakovenko https://orcid.org/0000-0003-4203-0040
Роман В. Тен / Roman V. Ten https://orcid.org/0000-0001-9550-6167
Игорь В. Комов / Igor V. Komov https://orcid.org/0000-0003-4943-518X
Ольга В. Диденко / Olga V. Didenko https://orcid.org/0000-0002-3132-5065

Оригинальная статья / Original article
УДК 338.28
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-98-109

Оценка перспектив устойчивого развития в условиях пандемии

Назирхан Г. Гаджиев[1], Наталия А. Мурзак[2], Алла Е. Митенкова[2], Ольга В. Скрипкина[2], Сергей А. Коноваленко[3], Умугани А. Гаджиева[4], Оксана С. Исмаилова[4]

[1]Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия
[2]Коломенский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», Коломна, Россия
[3]Рязанский филиал Московского университета МВД России им. В.Я. Кикотя, Рязань, Россия
[4]Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо
Митенкова Алла Евгеньевна, кандидат экономических наук, доцент, кафедра экономики и промышленного менеджмента, Коломенский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»; 140402 Россия, г. Коломна, ул. Октябрьской Революции, д. 408.
Тел. +79160184536
Email lena-mitenkova10@rambler.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8662-0689

Формат цитирования
Гаджиев Н.Г., Мурзак Н.А., Митенкова А.Е., Скрипкина О.В., Коноваленко С.А., Гаджиева У.А., Исмаилова О.С. Оценка перспектив устойчивого развития в условиях пандемии // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 98-109. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-98-109

Получена 30 ноября 2020 г.
Прошла рецензирование 15 января 2021 г.
Принята 18 января 2021 г.

Резюме

Цель. Исследовать динамику выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ и их структуру; выявить влияние пандемии и ее последствий на развитие энергетики в РФ и обосновать необходимость перехода к возобновляемой энергетике для обеспечения устойчивого развития экономики в России.

Материал и методы. В процессе проведения данного исследования применены статистический метод анализа, метод системного анализа и сравнительный метод анализа.

Результаты. Результаты проведенного исследования подтвердили необходимость перехода к возобновляемой энергетике с целью обеспечения снижения выбросов в окружающую среду парниковых газов (каждая единица энергии, сгенерированной с помощью ВИЭ, на 50-200% позволит снизить выбросы парниковых газов), поскольку на сектор «Экономика» приходится почти 79%, что обусловливает актуальность перехода к возобновляемой энергетике для обеспечения устойчивого развития экономики в России.

Заключение. Достижение целей устойчивого развития, в частности, Цели 7 «Обеспечение доступа к недорогостоящим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех», в условиях пандемии и ее последствий обусловливает необходимость реформирования энергетики путем более активного роста доли возобновляемой энергетики с целью снижения выбросов парниковых газов в окружающую среду и, соответственно, предотвращения дальнейшего изменения климата, являющегося одной из основных причин не только экологического, но и экономического ущерба.

Ключевые слова
Энергетика, устойчивое развитие, парниковые газы, возобновляемые источники энергии, экономическая деятельность, пандемия.

© 2021 Авторы. Юг России: экология, развитие. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Assessing the prospects for sustainable development in the context of a pandemic

Nazirkhan G. Gadzhiev[1], Natalia A. Murzak[2], Alla E. Mitenkova[2], Olga V. Skripkina[2], Sergey A. Konovalenko[3], Umugani A. Gadzhieva[4] and Oksana S. Ismailova[4]

[1]Dagestan State University, Makhachkala, Russia
[2]Kolomna Institute (Branch), Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia
[3]Ryazan Branch, V. Kikot Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Ryazan, Russia
[4]Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

Principal contact
Alla E. Mitenkova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Industrial Management, Kolomna Institute (Branch), Moscow Polytechnic University; 408 Oktyabrskoi Revolyutsii St, Russia 140402.
Tel. +79160184536
Email lena-mitenkova10@rambler.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0001-8662-0689

How to cite this article
Gadzhiev N.G., Murzak N.A., Mitenkova A.E., Skripkina O.V., Konovalenko S.A., Gadzhieva U.A., Ismailova O.S. Assessing the prospects for sustainable development in the context of a pandemic. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 1, pp. 98-109. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-98-109

Received 30 November 2020
Revised 15 January 2021
Accepted 18 January 2021

Abstract

Aim. The article aims to study the dynamics of greenhouse gas emissions as they depend on the type and structure of economic activity in the Russian Federation (RF); to identify the impact of the pandemic and its consequences on the energy sector development and to justify the need to switch to renewable energy to ensure the sustainable economic development of Russia.

Materials and Methods. In the process of conducting this study, statistical methods of analysis, system analysis method and the comparative method of analysis were used.

Results. The results of the study have confirmed the need to switch to renewable energy in order to ensure the reduction of greenhouse gas emissions into the environment (each unit of energy generated by RES will reduce greenhouse gas emissions by 50-200 %). The reason is that the economy sector accounts for almost 79% of such emissions, which makes the transition to renewable energy relevant to ensuring the sustainable economic development of Russia.

Conclusion. Achievement of the internationally recognized Sustainable Development Goals, in particular Goal 7 «Ensuring Access to Affordable, Reliable, Sustainable and Modern Energy Sources for All» in the context of a pandemic and its consequences necessitates energy sector reform. This could be achieved by increasing the share of renewable energy in order to reduce greenhouse gas emissions into the environment and, accordingly, to prevent further climate change, one of the main causes of not only environmental but also of economic damage.

Key Words
Energy, sustainable development, greenhouse gases, renewable energy, economic activity, pandemic.

© 2021 The authors. South of Russia: ecology, development. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

В Париже в рамках Рамочной конвенции ООН (12 декабря 2015 года) относительно решения проблемы по снижению выбросов в окружающую среду парниковых газов была принята международная климатическая политика (Парижское соглашение), которую подписали 197 стран мирового сообщества [1]. 21 сентября 2019 г. Россия ратифицировала Парижское соглашение, согласно которому должна к 2030 году снизить на 25% по сравнению с аналогичными показателями 1990 года объем выбросов парниковых газов в основном за счет роста энергоэффективности ВВП.

Принятие Парижского соглашения было обусловлено ростом выбросов в окружающую среду парниковых газов, что неизбежно приводит к нарушению сбалансированности радиационной структуры Земли, и как следствие, к потеплению климата, повышению уровня океанов и морей.

В целях обеспечения выполнения Россией решений Рамочной конвенции ООН (12 декабря 2015 года) Президентом РФ был принят Указ «О сокращении выбросов парниковых газов» [2], согласно которому к 2030 году выбросы парниковых газов должны быть снижены до 70% по сравнению с 1990 годом с обеспечением устойчивого развития экономики страны, а Министерство экономического развития разработало «Стратегию социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» (далее – Стратегия) [3]. Согласно разработанной Стратегии предполагаются два варианта:

- базовый (основной), согласно которому снижение выбросов в окружающую среду парниковых газов должно быть достигнуто за счет значительного роста к 2030 г. энергоэффективности экономики РФ посредством использования энергосберегающих технологий и сокращения вырубки лесов; по отношению к 1990 г. в 2030 г. выброс парниковых газов должен составить 67%, а в 2050 г – 76%;

- интенсивный, согласно которому низкоуглеродное развитие экономики РФ должно быть обеспечено за счет роста по сравнению с 2017 годом генерации энергии с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в 2030 году в 22,73 раза (должен быть достигнут уровень 25 млрд. кВт*ч), в 2050 году в 50 раз (должен быть достигнут уровень 55 млрд. кВт*ч); по отношению к 1990 г. в 2030 г. выброс парниковых газов должен составить 64%, а в 2050 г. – 52%.

Предполагается, что каждая единица энергии, сгенерированной с помощью ВИЭ, на 50-200% позволит снизить выбросы парниковых газов.

Также согласно Стратегии, следует разработать национальную систему углеродного регулирования, для чего необходимо создать методологическую и правовую основы, а также создать условия для возможности разработки международной отчетности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Парниковый газ представляет собой прозрачный газ, препятствующий тепловому излучению Земли, а, следовательно, повышению температуры ее атмосферы и тем самым являющийся причиной возникновения так называемого «парникового эффекта» [4]. Основную часть парниковых газов составляет углекислый газ (76%); на долю остальных составляющих приходится: метан – 13%, фторуглероды – 5%, окись азота – 6% [5]. Следует отметить, что выброс парниковых газов связан с энергетикой, а углекислый газ в основном образуется в результате сгорания органического топлива с целью генерации электроэнергии и обеспечения тепла в объектах недвижимости, являясь, основным источником, обуславливающим изменение климата на планете, в частности, потепление.

Различают естественные источники выброса парниковых газов в окружающую среду (лесные пожары, испарение воды, вулканическая деятельность) и антропогенные, обусловленные в основном развитием промышленности.

Динамика выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ (не учтен вклад в улучшение состояния окружающей среды землепользования и лесного хозяйства) представлена на рис. 1, а динамика темпов изменения объема выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ представлена на рис. 2 (по [6] и [7]).

Анализ данных рис. 1 и рис. 2 показывает, что за период 1990-2018 гг. имеет место снижение выбросов в окружающую среду парниковых газов, как в целом, так и по отдельным видам экономической деятельности за исключением отходов.

В целом объем выбросов в окружающую среду парниковых газов за период 1990-2018 гг. снизился на 1096,7 млн. т или на 31,28%. Следует отметить, что выброс парниковых газов максимально снизился за период 1990-1998 гг. вследствие изменения структуры топливного баланса, отрицательных тенденций в развитии экономики страны, в частности, снижения объемов производства электроэнергии. Положительная динамика развития производства и потребления, обусловленная развитием экономики в стране (период 1999-2008 гг.), способствовала стабильному росту выбросов в окружающую среду парниковых газов. Положительным моментом является превышение объемов снижения выбросов в период 1990-1998 гг. по сравнению с их ростом в период 1999-2008 гг. (1308,2 млн. т против 197,4 млн. т), несмотря на рост производства.

Мировой экономический кризис (2009 год) и спад экономического роста экономики в 2014 году, обусловленный проведением реорганизации отраслей промышленности на фоне снижения мировых цен на нефть и сырьевые товары, и как следствие, сокращением объемов производства, в первую очередь, на «грязных» предприятиях вновь способствовали снижению объемов выбросов в атмосферу парниковых газов. На протяжении восстановления экономики (период 2010-2012 гг.) выбросы в окружающую среду снова увеличились на 88,6 млн. т или на 4,3%, однако не превысили уровень 1990 г. (составляли 67,35%).

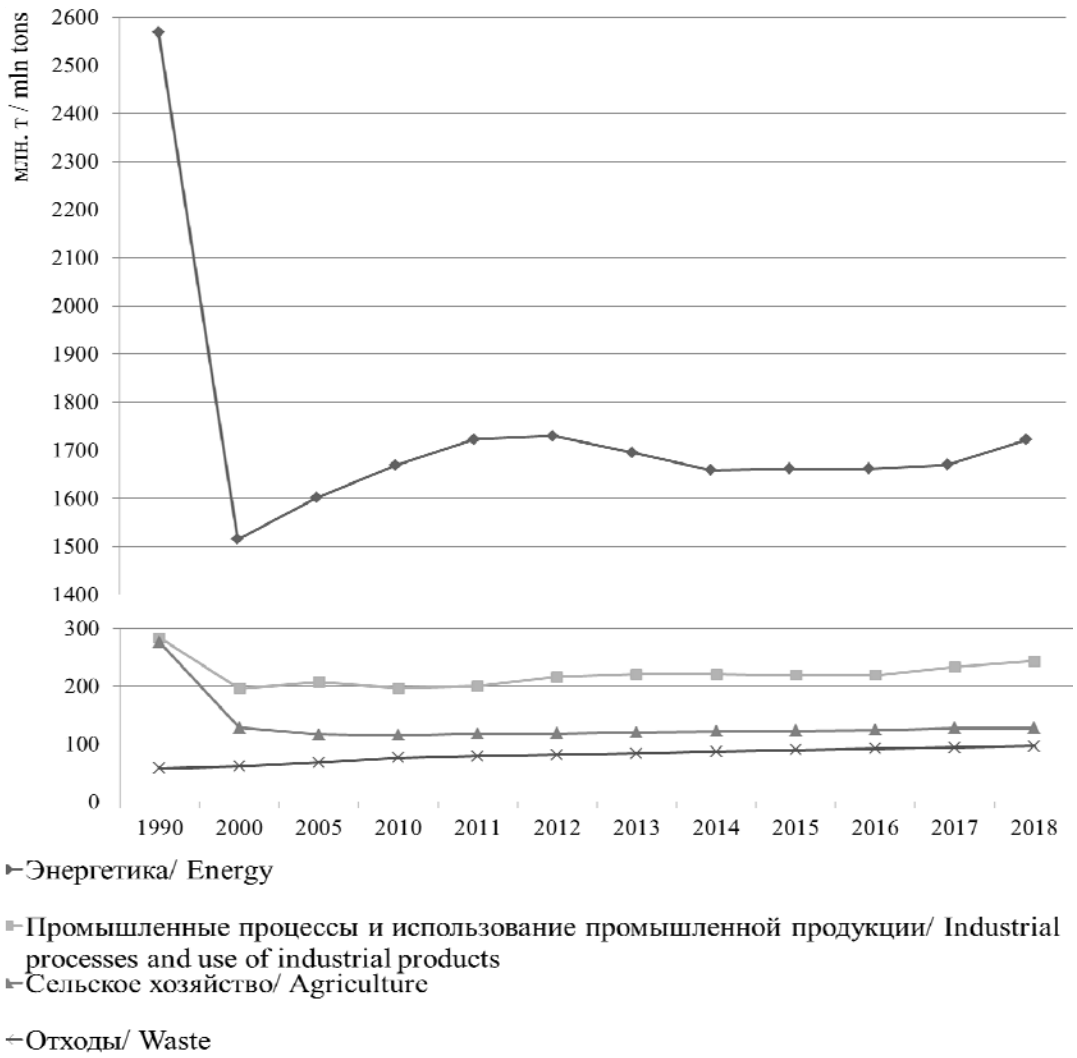


Рисунок 1. Динамика выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ
Figure 1. Dynamics of greenhouse gas emissions by type of economic activity in the Russian Federation

Период 2015-2018 гг. характеризуется незначительным ростом объемов выбросов парниковых газов в атмосферу: рост составил 96,4 млн. т или 4,6%. Тем не менее, объем выбросов парниковых газов в атмосферу ниже уровня 1990 года на 31,28%.

Однако за первые три месяца 2020 года уровень загрязнения окружающей среды рекордно увеличился (рост составил 57%) по сравнению с аналогичным периодом 2019 года; установлено 44 факта высокой степени загрязненности (на 17 случаев больше по сравнению с аналогичным периодом в 2019 г.), характеризующейся не менее чем десятикратным превышением установленных норм содержания вредных веществ в воздухе; положительным моментом является отсутствие случаев экстремально высокой степени загрязненности [8]. Анализ причин роста случаев повышения уровня загрязнения воздуха показал, что только 6 случаев признаны аварийными; по сравнению с предыдущими аналогичными периодами было увеличено число замеров.

В разрезе отдельных видов экономической деятельности за период 1990-2018 гг. объем выбросов в окружающую среду парниковых газов снизился наиболее значительно в сельском хозяйстве на 54%, наименее значительно в промышленности на 14%, в энергетике снижение составило 33%.

На снижение выбросов парниковых газов в атмосферу значительное влияние оказало не только корректировка структуры топливного баланса, но и изменение объемом энергопотребления, обусловленное трендом температуры воздуха.

Как было отмечено выше, в отличие от основных видов экономический деятельности, таких как сельское хозяйство, энергетика, промышленность, по отходам имеет место устойчивый рост выбросов в окружающую среду парниковых газов, который за период 1990-2018 гг. составил 38,1 млн. т или 65,34%.

Согласно Стратегии потенциал снижения выбросов парниковых газов должен составить для энергетики 62% от текущих объемов выбросов, для промышленности – 28%, для отходов – 28%.

Динамика структуры выбросов парниковых газов в окружающую среду по видам экономической деятельности в РФ представлена в табл. 1 и на рис. 3 (по [6] и [7]).

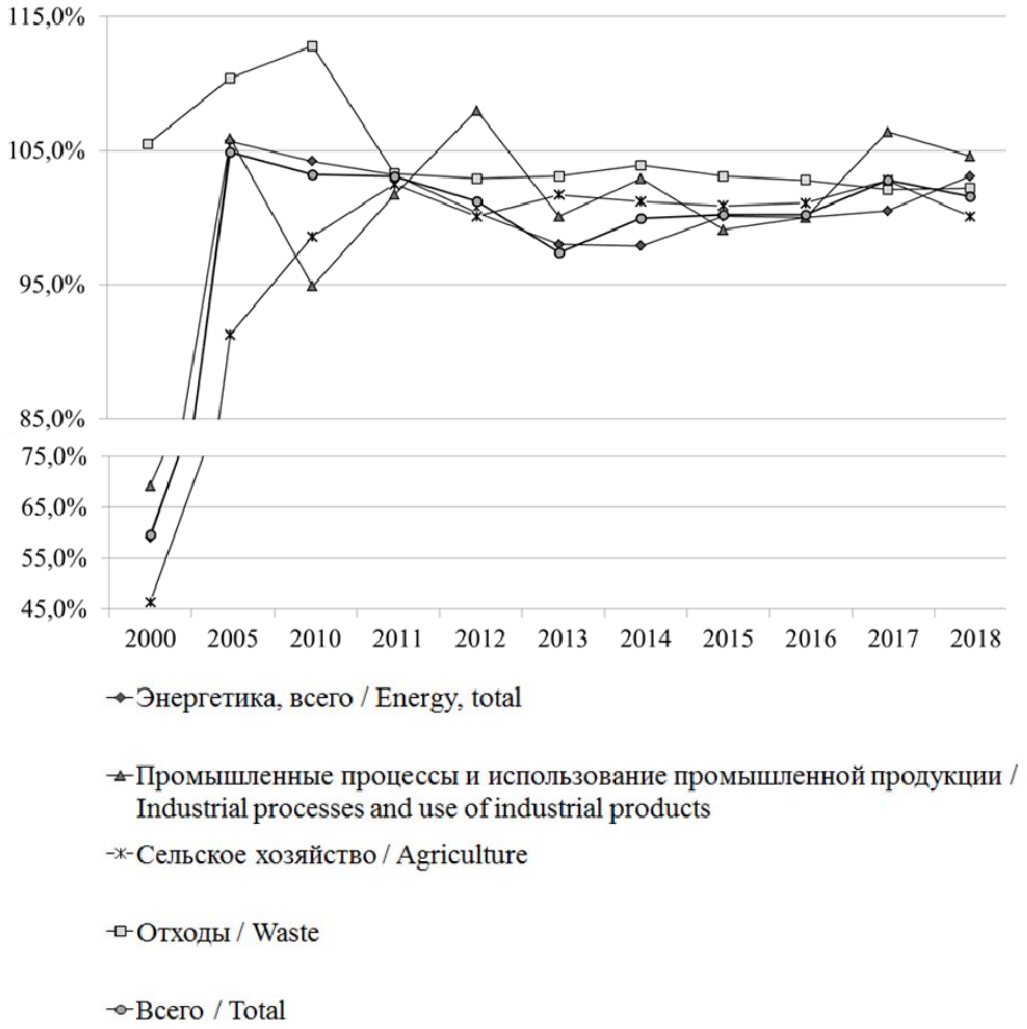


Рисунок 2. Динамика темпов изменения объемов выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ
Figure 2. Dynamics of the rate of change in greenhouse gas emissions by type of economic activity in the Russian Federation

Таблица 1. Динамика структуры выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ
Table 1. Dynamics of the structure of greenhouse gas emissions by type of economic activity in the Russian Federation

Вид экономической деятельности Type of economic activity	**Значение показателя, %** Indicator value, %							
	1990 год year	**2000 год** year	**2005 год** year	**2010 год** year	**2015 год** year	**2016 год** year	**2017 год** year	**2018 год** year
Энергетика Energy, total	80,60	79,69	80,30	81,08	79,36	79,21	78,57	78,61
Промышленные процессы и использование промышленной продукции Industrial processes and use of industrial product	8,90	10,33	10,42	9,58	10,46	10,45	10,97	11,14
Сельское хозяйство Agriculture	8,67	6,74	5,87	5,61	5,88	5,94	6,01	5,84
Отходы Waste	1,83	3,24	3,41	3,73	4,30	4,40	4,45	4,41
Всего Total	100	100	100	100	100	100	100	100

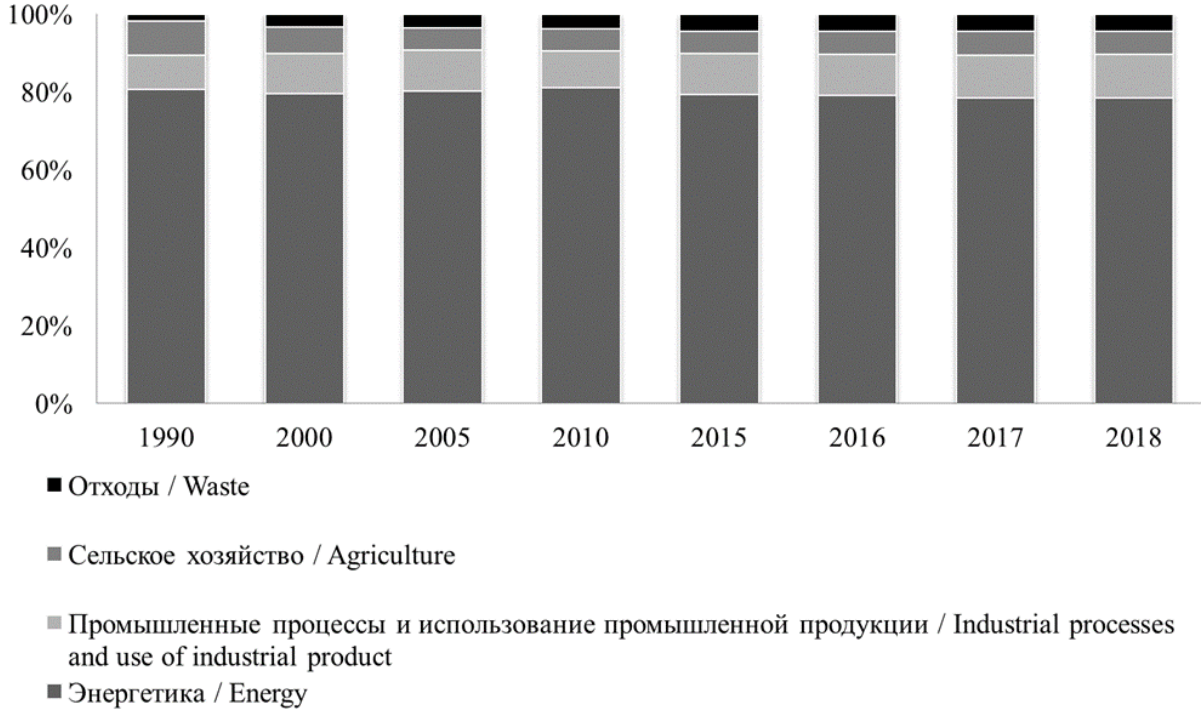


Рисунок 3. Динамика структуры выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ
Figure 3. Dynamics of the structure of greenhouse gas emissions by type of economic activity in the Russian Federation

Анализ данных табл. 1 и рис. 3 показывает, что за период 1990-2018 гг.:

- наибольшую долю в объеме выбросов парниковых газов приходится на энергетику, причем остается практически неизменной (незначительное снижение составило около 2%);
- доля сельского хозяйства снизилась почти на 3%;
- на фоне положительных тенденций снижения долей энергетики и сельского хозяйства имеет место рост долей промышленности и отходов;
- доля промышленности выросла более, чем на 24%;
- наиболее быстрыми темпами растет доля отходов – почти в 2,5 раза.

Таким образом, за анализируемый период по отходам имеет место не только устойчивый рост выбросов в окружающую среду парниковых газов, но и их доли в общем объеме выбросов в основном за счет энергетики, поэтому необходимо провести анализ динамики структуры источников парниковых газов в энергетике. Результаты анализа представлены в табл. 2 и на рис. 4 (по [6]).

Таблица 2. Динамика структуры выбросов парниковых газов в энергетике в РФ
Table 2. Dynamics of the structure of greenhouse gas emissions in the energy sector in the Russian Federation

Источник Source	**Значение показателя, %** Indicator value, %									
	2005 год year	**2010 год** year	**2011 год** year	**2012 год** year	**2013 год** year	**2014 год** year	**2015 год** year	**2016 год** year	**2017 год** year	**2018 год** year
Сжигание ископаемого топлива Burning of fossil fuels	84,4	84,8	84,7	84,7	84,5	85,2	85,5	85,2	84,4	84,1
Технологические выбросы в атмосферу Technological emissions to the atmosphere	15, 6	15,2	15,3	15,3	15,5	14,8	14,5	14,8	15,6	15,9
Всего Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

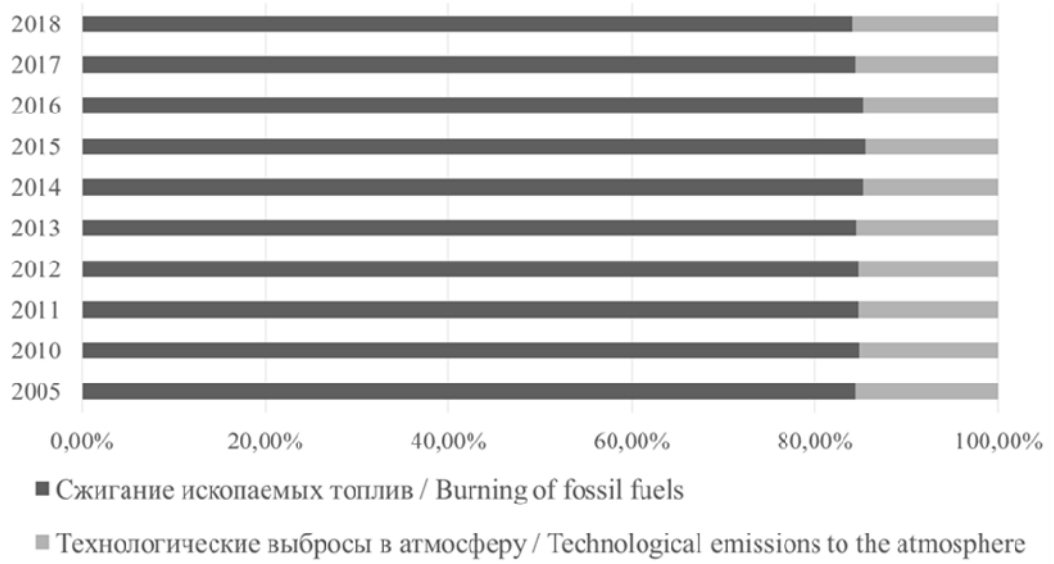


Рисунок 4. Динамика структуры выбросов парниковых газов в энергетике в РФ
Figure 4. Dynamics of the structure of greenhouse gas emissions in the energy sector in the Russian Federation

Анализ динамики структуры выбросов парниковых газов в энергетике в РФ, представленных в табл. 2 и на рис. 3, показывает, что основную долю в выбросах парниковых газов в энергетике в РФ (84-85%) составляет сжигание ископаемых топлив, причем на протяжении периода 2005-2018 гг. практически остается без изменения.

С целью ограничения выбросов парниковых газов в атмосферу ежегодно в России увеличиваются текущие затраты на охрану окружающей среды, в частности, на предотвращение изменения климата, обращение отходов, а также на проведение научно-исследовательских работ.

Анализ динамики текущих затрат на охрану окружающей среды представлен в табл. 3 и на рис. 5, анализ динамики структуры текущих затрат на охрану окружающей среды представлен на рис. 6 (по [6]).

Таблица 3. Анализ динамики текущих затрат на охрану окружающей среды
Table 3. Analysis of the dynamics of current environmental protection costs

Показатели Indicators	**Годы** / Years						
	2013	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Текущие затраты, всего, млн. руб. Current costs, total, million roubles	254377	269838	292074	306533	320947	345464	374411
В т.ч. / Incl.							
На проведение работ, предотвращающих изменение климата For work to prevent climate change	44800	50920	58250	56851	56906	61075	63760
Удельный вес, % Specific weight, %	17,61	18,87	19,94	18,55	17,73	17,68	17,03
На обращение с отходами For waste management	50402	55702	60256	63580	70041	79885	102396
Удельный вес, % Specific weight, %	19,81	20,64	20,63	20,74	21,82	23,12	27,45
На проведение НИОКР, снижающих негативное влияние антропогенных воздействий To conduct R & D that reduces the negative influences of anthropogenic impacts	1022	937	582	647	464	205	219
Удельный вес, % Specific weight, %	0,4	0,35	0,2	0,21	0,14	0,06	0,06
На другие направления For other purposes	158153	162279	172986	185455	193536	204299	208036
Удельный вес, % Specific weight, %	62,17	60,14	59,23	60,5	60,3	59,14	55,56

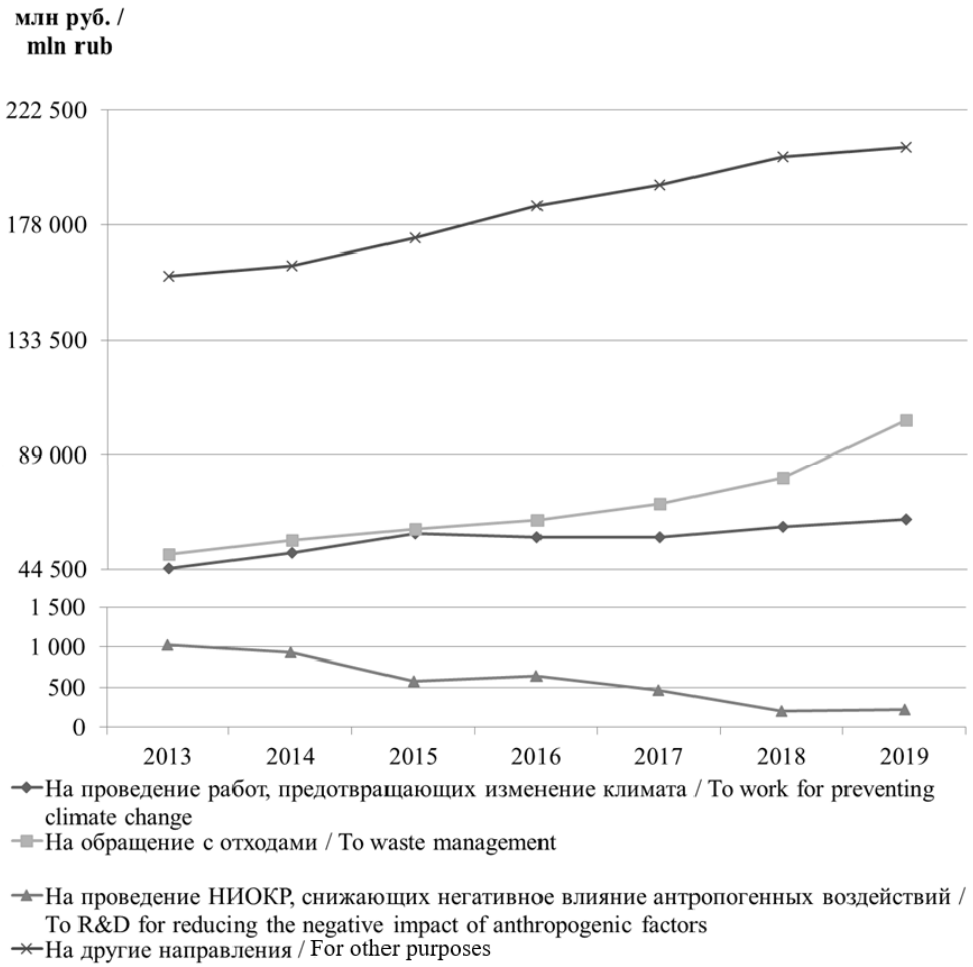


Рисунок 5. Динамика текущих затрат на охрану окружающей среды
Figure 5. The dynamics of current expenditure on environmental protection

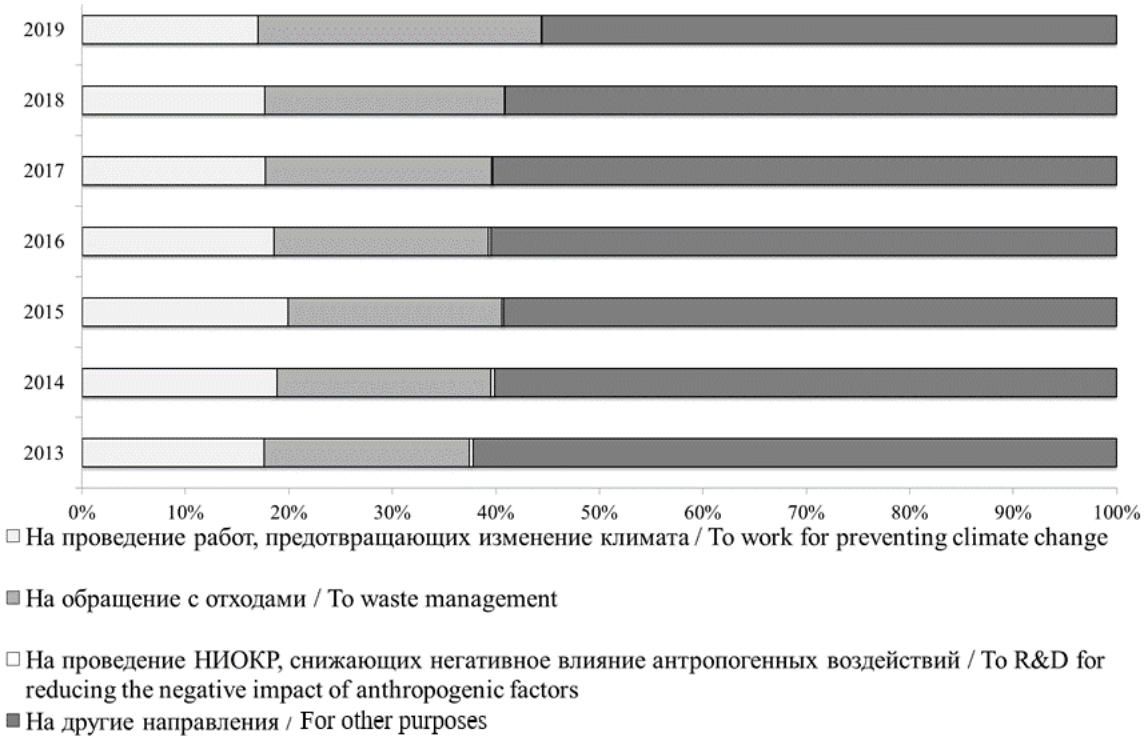


Рисунок 6. Динамика структуры текущих затрат на охрану окружающей среды
Figure 6. Dynamics of the structure of current environmental protection costs

Анализ динамики текущих затрат на охрану окружающей среды показал, что несмотря на рост затрат на проведение работ, предотвращающих изменение климата, на 8960 млн. руб. или на 42,32%, их доля в общем объеме текущих затрат осталась практически без изменения; затраты на обращение с отходами выросли и в абсолютных величинах - на 5194 млн. руб. или в 2 раза, и в относительных – доля увеличилась на 7,64%, тем не менее, составляют меньшую часть в общем объеме текущих затрат на охрану окружающей среды, что недостаточно для решения проблемы снижения отходов, о чем свидетельствуют результаты исследования, проведенного авторами: за анализируемый период 2012-2018 гг. объем отходов вырос на 2258,2 млн. т или на 45,09% в основном за счет добычи топливно-энергетических полезных ископаемых (свыше 90%) [9]. Кроме этого было установлено, что для Северо-Кавказского и Южного федеральных округов доля утилизации и обезвреживания отходов составляет менее половины от общего их объема образования, что неприемлемо для регионов, в рамках которых сельское хозяйство составляет основу хозяйственной деятельности.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ динамики структуры выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ, представленный в табл. 1 и на рис. 3, показал, что основная доля в объеме выбросов парниковых газов приходится на энергетику, обуславливая необходимость перехода к низкоуглеродному развитию экономики. Особенно необходимость этого перехода была выявлена в условиях пандемии. Этому способствовала и нестабильность нефтяного рынка.

Согласно прогнозу Moody's (Международное рейтинговое агентство), коронавирусная инфекция COVID-19 способствует снижению спроса на угольную энергетику, обусловливая переход к возобновляемой энергетике [10]. Этому способствует и проводимая в мире государственная поддержка возобновляемых источников энергии: рост инвестиций в мире в развитие возобновляемой энергетики, обусловленный и снижением значений показателя LCOE (Levelised cost of electricity) особенно для ветровых электростанций (ВЭС) и солнечной электроэнергии [11].

Согласно оценкам Сколково спрос на электроэнергию в отличие от тепловой генерации уменьшался на 10-30% в рамках карантина, однако восстанавливался со снятием карантина. При этом во многих странах снижение тепловой генерации электроэнергии не восстанавливалось, поскольку увеличивался объем электроэнергии, генерируемой на основе ВИЭ (возобновляемые источники энергии), что объясняется боле низкими операционными затратами, а также проводимой энергополитикой, обеспечивающей рост доли возобновляемой энергетики в общем объеме генерируемой электроэнергии. В России в рамках карантина и при его отмене отсутствовало существенное изменение объема спроса и цен, как на электроэнергию, так и на тепловую энергию, что в итоге не оказало влияния на объем выручки, однако имел место рост неплатежей, обусловивший существенное уменьшение выручки [10]. Более того, не наблюдался рост электроэнергии, генерируемой на базе ВИЭ, обусловленный возникшими сложностями в реализации проектов ВИЭ, в частности, с закупкой и поставкой необходимого оборудования, оформлением документации и т.д. (так, по итогам 2020 года поставка ветровых турбин для ВЭС уменьшатся на 30%) [12]. В результате возникли проблемы с выполнением сроков по вводу в строй ВЭС в Калмыкии и Ростовской области (01.12.2020 г.), входящими в состав Южного Федерального округа, и в Мурманской области (01.12.2021 г.), а также солнечных электростанций (СЭС) в Волгоградской области (Южный Федеральный округ), Ставропольском крае (Северо-Кавказский Федеральный округ), Башкортостане.

Дискуссионными остаются вопросы предоставления инвесторам возможности отсрочки без уплаты штрафа, если не будет сокращен период поставки мощности, а также продления программы поддержки проектов ВИЭ [13].

Решение данного вопроса имеет важное значение для инвесторов, поскольку с 2008-2009 гг. в России функционирует программа поддержки возобновляемой энергетики для оптового рынка посредством заключения договоров о предоставлении мощности (ДПМ), а с 2019 г. функционирует программа модернизации генерирующих объектов (ДПМ-2), согласно которым покрытие затрат инвесторам на возведение новых мощностей возобновляемой энергетики осуществляется посредством повышения стоимости продаваемой мощности.

В рамках сессии МИРЭС (Мировой энергетический конгресс) рассматривались следующие основные направления влияния коронавирусной инфекции COVID-19 на устойчивое развитие энергетического рынка в рамках мира:

- изменение структуры мирового энергетического рынка за счет снижения объема перевозок людей, в первую очередь, на автомобильном и авиационном транспорте, вследствие изменения образа жизни;
- изменение структуры генерации электроэнергии за счет снижения удельного веса нефти и, наоборот, роста удельного веса ВИЭ в мировом энергобалансе;
- развитие IT-технологий, способствующих развитию возобновляемой энергетики [14].

Рост уровня загрязнения окружающей среды и сопутствующее потепление климата (для РФ темп потепления в 2,5 раза превышает средний темп потепления в целом для планеты; ежегодно ущерб в РФ от природных катаклизмов составляет 30-60 млрд руб.; в 2010 г. результатом волны тепла стала гибель более 55 тыс. чел., снижение уровня урожайности сельскохозяйственных культур и качества дорог, значительный перегрев линий электропередачи и т. д.) обусловил Министерство экономического развития РФ принять решение об оценке проектов относительно степени влияния на климат [15]. В законодательство РФ вводится термин «адаптация к изменениям климата»,

предоставляющий отсутствующие в настоящее время полномочия органам власти рассматривать данную адаптацию как самостоятельную область.

По мнению экспертов, распространение COVID-19 и его последствия оказали отрицательное влияние на уровень устойчивого развития экономики по всем установленным целям [16]. Одним из основных перспективных направлений для реализации целей устойчивого развития (ЦУР), установленным Канадским Международным институтом устойчивого развития в результате проведения анализа реализованных в странах Европы и Азии мероприятий по обеспечению устойчивого развития, является возобновляемая энергетика. Согласно рассчитанным значениям SDG Index (Индекс прогресса по ЦУР ООН) в 2019 г. Россия заняла 55 место, набрав 70,9 баллов и пропустив вперед развитые европейские страны. Поэтому необходимо разработать стратегию устойчивого развития экономики РФ, ввести ЦУР, разработанные ООН, в разрабатываемые документы стратегического развития страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное авторами исследование относительно перспектив устойчивого развития экономики РФ в условиях пандемии и ее последствий показало, что для достижения целей устойчивого развития, в частности, Цели 7 «Обеспечение доступа к недорогостоящим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех», необходимо реформирование энергетики путем более активного роста доли возобновляемой энергетики с целью снижения выбросов парниковых газов в окружающую среду и, соответственно, предотвращения дальнейшего изменения климата, являющегося одной из основных причин не только экологического, но и экономического ущерба.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конференция Сторон Рамочной конвенции об изменении климата. 12.12.15. URL: http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/l09r.pdf (дата обращения: 20.11.2020)
2. Указ Президента РФ от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов». URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74756623/ (дата обращения: 10.01.2021)
3. Министерство экономического развития Проект «Стратегия долгосрочного развития Российской Федерации до 2050 года с низким выбросов парниковых газов». URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/ proekt_strategii.pdf (дата обращения: 10.01.2021)
4. Парниковый газ. Источники выбросов парниковых газов. URL: https://www.syl.ru/article/288869/new_parnikovyiy-gaz-istochniki-vyibrosov-parnikovyih-gazov (дата обращения: 10.01.2021)
5. Основные парниковые газы и их влияние на климат. URL: https://bezotxodov.ru/jekologija/parnikovye-gazy (дата обращения: 10.01.2021)
6. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. Окружающая среда. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/11194 (дата обращения: 10.01.2021)
7. Четвертый двухгодичный доклад Российской Федерации, представленный в соответствии с решением 1/CP.16 Конференции Сторон Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. URL: https://docviewer.yandex.ru/view/1212440168/ (дата обращения: 10.01.2021)
8. В России установлен пятилетний рекорд по уровню загрязнения воздуха. URL: https://www.rbc.ru/business/25/05/2020/5ec6a0b39a7947d276ceca8f (дата обращения: 10.01.2021)
9. Гаджиев Н.Г., Мурзак Н.А., Митенкова А.Е., Скрипкина О.В., Коноваленко С.А. Проблемы развития циркулярной экономики как фактора устойчивого развития России // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 3. С. 155-164. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-155-164
10. Что будет с энергетикой после пандемии. URL: http://www.acexpert.ru/articles/chto-budet-s-energetikoy-posle-pandemii.html. (дата обращения: 10.01.2021)
11. Митенкова А.Е. Государственная поддержка развития возобновляемых источников энергии в мире // Экономика и практический менеджмент в России и за рубежом: материалы Международной научно-практической конференции, 15 апреля 2014 г., г. Коломна – Коломна: Коломенский институт (филиал) ФГОУ ВПО Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ). Коломна, ИП Мажуга В.М., 2014. С. 242-248.
12. Инвесторы в зеленую энергетику в России предупредили о форс-мажорах. URL: https://www.rbc.ru/business/19/05/2020/5ec38a359a7947ec15d028ac (дата обращения: 10.01.2021)
13. Опасен ли вирус для возобновляемой энергетики. Обзор. URL: https://www.interfax.ru/business/710964 (дата обращения: 10.01.2021)
14. Александр Новак: Коронавирус изменил мировой энергетический рынок. URL: htrg.ru/2020/06/17/aleksandr-novak-koronavirus-izmenil-mirovoj-energeticheskij-rynok.ml. (дата обращения: 10.01.2021)
15. Минэкономразвития адаптирует экономику к изменениям климата 6 ноября 2020. URL: https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2020/11/16/847151-minekonomrazvitiya-adaptiruet (дата обращения: 10.01.2021)
16. Как коронавирус влияет на достижение целей устойчивого развития: усугубление проблем и «зеленые» планы на будущее. URL: https://ach.gov.ru/news/kak-koronavirus-vliyaet-na-dostizhenie-tseley-ustoychivogo-razvitiya-usugublenie-problem-i-zelenye-p (дата обращения: 10.01.2021)

REFERENCES

1. *Konferentsiya Storon Ramochnoi konventsii ob izmenenii klimata* [Conference of the Parties to the Framework Convention on Climate Change. 12.12.15]. Available at:

http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/l09r.pdf (accessed 20.11.2020) (In Russian)
2. *Ukaz Prezidenta RF ot 4 noyabrya 2020 g. № 666 «O sokrashchenii vybrosov parnikovykh gazov»* [Decree of the President of the Russian Federation No. 666 of November 4, 2020 «On Reducing Greenhouse Gas Emissions»]. Available at: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74756623/ (accessed 10.01.2021) (In Russian)
3. *Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya Proekt «Strategiya dolgosrochnogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii do 2050 goda s nizkim vybrosov parnikovykh gazov»* [Ministry of Economic Development Project «Strategy for long-term development of the Russian Federation until 2050 with low greenhouse gas emissions»]. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/ proekt_strategii.pdf (accessed 10.01.2021) (In Russian)
4. *Parnikovyi gaz. Istochniki vybrosov parnikovykh gazov* [Greenhouse gas. Sources of greenhouse gas emissions]. Available at: https://www.syl.ru/article/288869/new_parnikovyiy-gaz-istochniki-vyibrosov-parnikovyih-gazov (accessed 10.01.2021) (In Russian)
5. *Osnovnye parnikovye gazy i ikh vliyanie na klimat* [The main greenhouse gases and their impact on the climate]. Available at: https://bezotxodov.ru/jekologija/parnikovye-gazy (accessed 10.01.2021) (In Russian)
6. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki: ofitsial'nyi sait. Okruzhayushchaya sreda* [Federal State Statistics Service: official website. Environment]. Available at: https://rosstat.gov.ru/folder/11194 (accessed 10.01.2021) (In Russian)
7. *Chetvertyi dvukhgodichnyi doklad Rossiiskoi Federatsii, predstavlennyi v sootvetstvii s resheniem 1/SR.16 Konferentsii Storon Ramochnoi Konventsii Organizatsii Ob"edinennykh Natsii ob izmenenii klimata* [Fourth biennial report of the Russian Federation submitted pursuant to decision 1/CP. 16 of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change]. Available at: https://docviewer.yandex.ru/view/1212440168/ (accessed 10.01.2021) (In Russian)
8. *V Rossii ustanovlen pyatiletnii rekord po urovnyu zagryazneniya vozdukha* [Russia has set a five-year record for air pollution]. Available at: https://www.rbc.ru/business/25/05/2020/5ec6a0b39a7947d276ceca8f (accessed 10.01.2021) (In Russian)
9. Gadzhiev N.G., Murzak N.A., Mitenkova A.E., Skripkina O.V., Konovalenko S.A. Problems of development of the circular economy as a factor in Russia's sustainable development. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 155-164. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-155-164
10. *Chto budet s energetikoi posle pandemii* [What will happen to the energy sector after the pandemic]. Available at: http://www.acexpert.ru/articles/chto-budet-s-energetikoy-posle-pandemii.html (accessed 10.01.2021) (In Russian)
11. Mitenkova A.E. Gosudarstvennaya podderzhka razvitiya vozobnovlyaemykh istochnikov energii v mire [State support for the development of renewable energy sources in the World]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii « Ekonomika i prakticheskii menedzhment v Rossii i za rubezhom», 15 aprelya 2014 g., Kolomna* [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Economics and Practical Management in Russia and Abroad", 15 April, 2014, Kolomna]. Kolomna, 2014, pp. 242-248. (In Russian)
12. *Investory v zelenuyu energetiku v Rossii predupredili o fors-mazhorakh* [Investors in the green energy sector in Russia have warned of force majeure]. Available at: https://www.rbc.ru/business/19/05/2020/5ec38a359a7947ec15d028ac (In Russian) (accessed 10.01.2021)
13. *Opasen li virus dlya vozobnovlyaemoi energetiki. Obzor* [Is the virus dangerous for renewable energy? Review]. Available at: https://www.interfax.ru/business/710964 (accessed 10.01.2021) (In Russian)
14. Novak A. *Koronavirus izmenil mirovoi energeticheskii rynok* [The coronavirus has changed the global energy market]. Available at: htrg.ru/2020/06/17/aleksandr-novak-koronavirus-izmenil-mirovoj-energeticheskij-rynok.ml. (accessed 10.01.2021) (In Russian)
15. *Minekonomrazvitiya adaptiruet ekonomiku k izmeneniyam klimata 6 noyabrya 2020* [The Ministry of Economic Development adapts the economy to climate change on November 6, 2020]. Available at: https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2020/11/16/847151-minekonomrazvitiya-adaptiruet (accessed 10.01.2021) (In Russian)
16. *Kak koronavirus vliyaet na dostizhenie tselei ustoichivogo razvitiya: usugublenie problem i «zelenye» plany na budushchee* [How the coronavirus affects the achievement of the Sustainable Development Goals: aggravating problems and «green» plans for the future]. Available at: https://ach.gov.ru/news/kak-koronavirus-vliyaet-na-dostizhenie-tseley-ustoychivogo-razvitiya-usugublenie-problem-i-zelenye-p (accessed 10.01.2021) (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Назирхан Г. Гаджиев рассмотрел направления снижения выбросов парниковых газов, предусмотренных «Стратегией социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». Наталия А. Мурзак исследовала структуру выбросов парниковых газов по видам экономической деятельности в РФ и динамику спроса на электроэнергетику в условиях пандемии. Алла Е. Митенкова провела анализ динамики выбросов парниковых газов по видам экономической

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nazirkhan G. Gadzhiev reviewed the directions of reducing greenhouse gas emissions provided for by the "Strategy of Socio-economic Development of the Russian Federation with a low level of greenhouse gas emissions until 2050». Natalia A. Murzak studied the structure of greenhouse gas emissions depending on the type of economic activity in the Russian Federation and the dynamics of demand for electricity in the context of a pandemic. Alla E. Mitenkova conducted the analysis of the dynamics of greenhouse gas emissions by type of

деятельности в РФ, обосновала необходимость перехода к использованию ВИЭ для обеспечения устойчивого развития РФ в условиях пандемии. Ольга В. Скрипкина и Умугани А. Гаджиева изучили информацию о текущих затратах на охрану окружающей среды. Сергей А. Коноваленко и Оксана С. Исмаилова изучили информацию о динамике и структуре выбросов парниковых газов в энергетике в РФ. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

economic activity in the Russian Federation and justified the need to switch to the use of renewable energy to ensure the sustainable development of the Russian Federation in the context of a pandemic. Olga V. Skripkina and Umugani A. Gadzhieva studied the information on current environmental protection costs. Sergey A. Konovalenko and Oksana S. Ismailova studied the information on the dynamics and structure of greenhouse gas emissions in the energy sector in the Russian Federation. All authors 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

Назирхан Г. Гаджиев / Nazirkhan G. Gadzhiev https://orcid.org/0000-0002-6321-3543
Наталия А. Мурзак / Natalia A. Murzak https://orcid.org/0000-0002-1720-6633
Алла Е. Митенкова /Alla E. Mitenkova https://orcid.org/0000-0001-8662-0689
Ольга В. Скрипкина / Olga V. Skripkina https://orcid.org/0000-0002-7350-6614
Сергей А. Коноваленко / Sergey A. Konovalenko http://orcid.org/0000-0001-9696-942X
Умугани А. Гаджиева / Umugani A.Gadzhieva https://orcid.org/0000-0002-6617-9539
Оксана С. Исмаилова / Oksana S. Ismailova https://orcid.org/0000-0002-1920-9387

Оригинальная статья / Original article
УДК 911+574 (470.67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-110-116

Мощность солнечной радиации и ее распределение в высотно-широтных интервалах территории Дагестана

Лейла Ш. Ахмедова
Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо
Лейла Ш. Ахмедова, кандидат биологических наук, доцент кафедры рекреационной географии и устойчивого развития, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета, 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Email geoleyla@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1347-1429

Формат цитирования
Ахмедова Л.Ш. Мощность солнечной радиации и ее распределение в высотно-широтных интервалах территории Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 110-116. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-110-116

Получена 22 июня 2020 г.
Прошла рецензирование 14 августа 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Расчет энергетического потенциала первичной продуктивности земель, экологического нормирования техногенной нагрузки, выработки мероприятий по устойчивому развитию территорий.

Материал и методы. Автором разработан метод оценки пространственной дифференциации мощности солнечной радиации применительно к территории Республики Дагестан. В основу метода положены результаты многолетних актинометрических измерений по разновысотным метеорологическим станциям Дагестана и сопредельных территорий со сложным рельефом.

Результаты. Выполнен статистический анализ закономерностей распределения-мощности солнечной радиации в координатах территории Республики Дагестан. На основе вычисленных закономерностей построена номограмма для считывания показателей энергетики экосистем в широтно-высотных интервалах земной поверхности Республики Дагестан. Полученная номограмма позволяет считывать пределы и средние значения характеристик солнечной радиации исследуемой территории, например, административного района по всем интервалам высот и широт.

Заключение. Полученные результаты необходимы для расчета энергопотенциала первичной продуктивности земель, экологического нормирования антропогенной нагрузки, а также разработки мероприятий по устойчивому, сбалансированному эколого-экономическому развитию территорий.

Ключевые слова
Геосистема, геосферная модель, актинометрия, солнечная радиация, номограмма, устойчивость, устойчивое развитие.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Solar radiation power and its distribution in altitude-latitude intervals of the territory of Dagestan, Russia

Leyla Sh. Akhmedova
Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact
Leyla Sh. Akhmedova, PhD in Biology, Associate Professor, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St., Makhachkala, Russia 367001.
Email geoleyla@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1347-1429

How to cite this article
Akhmedova L.Sh. Solar radiation power and its distribution in altitude-latitude intervals of the territory of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 110-116. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-110-116

Received 22 June 2020
Revised 14 August 2020
Accepted 21 September 2020

Abstract
Aim. Calculation of the energy potential of primary land productivity, environmental regulation of technogenic load and development of measures for sustainable development of territories.
Materials and Methods. The author has developed a method for assessing the spatial differentiation of solar radiation power in relation to the territory of the Republic of Dagestan. The method is based on the results of long-term actinometric measurements taken at meteorological stations at different altitudes in Dagestan and adjacent territories.
Results. A statistical analysis has been carried out of the regularities of the distribution power of solar radiation in coordinates of the territory of the Republic of Dagestan. On the basis of calculated regularities, a nomogram was constructed for reading the indicators of the energy of ecosystems in the latitudinal-altitudinal intervals of the earth's surface of the Republic of Dagestan. The resulting nomogram allows the reading of the limits and average values of the characteristics of solar radiation in an area studied, for example, for all intervals of heights and latitudes in an administrative region.
Conclusion. The results obtained are necessary for the calculation of the energy potential of primary productivity of lands, ecological regulation of anthropogenic load, as well as the development of measures for sustainable, balanced ecological and economic development of territories.

Key Words
Geosystem, geospheric model, actinometry, solar radiation, nomogram, stability, sustainable development.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическое нормирование антропогенной нагрузки в интересах устойчивого развития окружающей среды может быть осуществлено по энергопотенциалу первичной продуктивности экосистем. В основе подобных оценок лежат результаты актинометрических измерений. Однако при нормировании антропогенной нагрузки в пределах административно-территориальных образований специалисты сталкиваются с трудностями двоякого рода: а) ограниченное число актинометрических станций и б) влияние рельефа местности на поступление солнечной радиации к земной поверхности. Интенсивность солнечной радиации на уровне моря от экватора к полюсам понижается по косинусу широты местности и существенно корректируется особенностями подстилающей поверхности. В их числе наибольшее влияние на мощность солнечной радиации оказывает рельеф территории. Поэтому гипсометрический анализ региона представляет собой первый шаг к оценке характеристик солнечной радиации. Такой анализ обязателен для Дагестана не только потому, что более половины его территории принадлежит горам, но и прежде всего малочисленности актинометрических наблюдений (всего три станции).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для преодоления этих и других трудностей нами разработан метод оценки пространственной дифференциации мощности солнечной радиации применительно к территории Республики Дагестан [1-7].

В основу метода положены результаты многолетних актинометрических измерений по разновысотным метеорологическим станциям Дагестана и сопредельных территорий со сложным рельефом.

Так как оценка устойчивости экосистем, как отношение фактической антропогенной нагрузки к емкости среды в энергетических единицах измерения, в нашем представлении, предполагает сложную многоходовую операцию, то решение этой задачи целесообразно выстроить в следующей последовательности: мощность и энергия экосистем, экологическая емкость, потенциал продуктивности, антропогенная нагрузка, устойчивость экосистем. Поэтому в основу всего алгоритма решения необходимо положить вычисленные результаты распределения мощности солнечной радиации (Y, кВт/км^2) по высотно-широтным интервалам.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа массива данных вычислены следующие градиенты изменения мощности солнечной радиации в диапазоне высотно-широтных интервалов территории Дагестана:

а) широтный

$$\gamma_\varphi = -dI/d\varphi = -3\cdot 10^3 кВт/км^2 на 1^0 \varphi$$

б) вертикальный

$$\gamma_h = dI/dh = 750\ кВт/км^2 = 0{,}75\ Вт/м^2 на\ 100\ м h$$

где φ °– географическая широта, градус;

I – мощность солнечной радиации, кВт/км^2;

h – высота местности.

Вычисленные результаты распределения мощности солнечной радиации (Y, кВт/км^2) по высотно-широтным интервалам (Z и X) территории Дагестана приведены в таблицах 1 и 2, кроме того в таблицах даны преобразованные величины переменных, необходимые для соответствующих статистических заключений.

Таблица 1. Распределение мощности солнечной радиации в зависимости от географической широты местности
Table 1. Distribution of solar radiation power depending on geographical latitude of an area

№	X, ф°	Y, 10^3 кВт/км^2 / kW/km^2	X-A	$(X-A)^2$	Y-Б	$(Y-Б)^2$	XY
1.	40	162,5	-1	1	12	144	-12
2.	41	159,5	0	0	9	81	0
3.	42	156,5	1	1	6	36	6
4.	43	153,5	2	4	3	9	6
5.	44	150,5	3	9	0	0	0
6.	45	147,5	4	16	-3	9	-12
I	255	930	+9	31	27	279	-12
		n-6		A-41		Б-150,5·10^3	

Примечание: 1) столбцы 2 и 3 исходные величины эмпирических вариант; 2) остальные столбцы - вспомогательные величины вариант, преобразованные способом условного нуля, необходимые для статистических заключений; 3) п – число вариант, А и Б – условные средние для X и Y

Note: 1) Columns 2 and 3 are the original values of empirical variants; 2) the other columns are the auxiliary values of a variant, transformed by the method of zero conditional, necessary for statistical conclusions; 3) n is the number of variants, A and B are conditional averages for X and Y

Таблица 2. Распределение мощности солнечной радиации в зависимости от высоты местности
Table 2. Distribution of solar radiation power depending on altitude of an area

№	Z км / km	Y,10^3 кВт/км^2 / kW/km^2	Y-A	(Y-A)^2	Z^2	ZY
1.	0,0	162,5	-3,75	14,06	0,0	0,0
2.	0,5	166,25	0,00	0,00	0,25	0,0
3	1,0	170,00	3,75	14,06	1,0	3,75
4.	1,5	173,75	7,50	56,25	2,25	11,25
5.	2,0	177,50	11,25	126,56	4,00	22,50
6.	2, 5	181,25	15,00	225,00	6,25	37,50
Σ	7,5	1031,25	33,75	435,93	13,75	75,00
		n-6		A-166,25·10^3		

Примечание: 1) столбцы 2 и 3 исходные величины эмпирических вариант; 2) остальные столбцы - вспомогательные величины вариант, преобразованные способом условного нуля, необходимые для статистических заключений; 3) п – число вариант, А и Б– условные средние для X и Y
Note: 1) Columns 2 and 3 are the original values of empirical variants; 2) the other columns are the auxiliary values of variants, transformed by the method of zero conditional, necessary for statistical conclusions; 3) n is the number of variants, A and B are conditional averages for X and Y

Задача заключается в установлении парной корреляции (силы связи) между зависимой переменной (Y) и двумя другими независимыми переменными (X и Z). Применяемая при трех переменных множественная корреляция и регрессия в данном случае невозможна, поскольку анализируемые связи являются односторонними (Y по X и Z), а корреляция географической широты (X) и высоты (Z) лишена логического смысла [2-4].

Согласно данным вспомогательных таблиц 1 и 2 коэффициенты корреляции определяются по упрощенной формуле для малых выборок [3].

$$Z = \frac{\sum XY - (\sum X \sum Y) : n}{\sqrt{(\sum X^2 - (\sum X)^2 : n)(\sum Y^2 - (\sum X)^2 : n)}};$$

Отсюда

$$Z_{xy} = \frac{-12 - (9 \cdot 27) : 6}{\sqrt{(31 - (9)^2 : 6)(279 - (27)^2 : 6)}} = -1{,}0$$

$$Z_{ZY} = \frac{75 - (7{,}5 \cdot 33{,}75) : 6}{\sqrt{(13{,}75 - (7{,}5)^2 : 6)(435{,}93 - (33{,}75)^2 : 6)}} = 1{,}0$$

В данном случае корреляционная связь соответствует функциональной, поскольку каждой величине аргументов (X и Z) соответствует только одна величина функции (Y). При этом корреляция мощности солнечной радиации (Y) с географической широтой (X) линейная, отрицательная (Z_{yx}= -1,0), а с высотой местности - корреляция также линейная, но положительная (Z_{yx}= +l,0). Следовательно, в обоих случаях стандартная ошибка сводится к нулю.

Регрессионный анализ данных (см. табл. 1 и 2) дополняет корреляционные заключения и дает количественное представление зависимости изменения функции на единицу изменений аргумента. Рисунок 1 дает графическое изображение Y по X и Z.

Для завершения регрессионного анализа [8-11] вычислим коэффициенты регрессии и составим уравнение регрессии Y по X и Z.

Коэффициент регрессии (b) выполняется по общей формуле:

$$b = \frac{\sum (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum (Y - \bar{y})^2} = \frac{\sum XY - (\sum X \sum Y) : n}{\sum X^2 - (\sum X)^2 : n}$$

Согласно приведенным выше данным вспомогательных таблиц 1 и 2, коэффициент регрессии результативного признака (Y) по факториальному (X) равен

$$b_{xy} = \frac{-12 - (9 \cdot 27}{31 - (9)^2 : 6} = \frac{-52{,}5}{17{,}5} = -3 \hat{e} \hat{A} \grave{o} \; / \; \hat{e} \grave{i}^{\;2}$$

По найденному значению коэффициента уравнение линейной регрессии составит

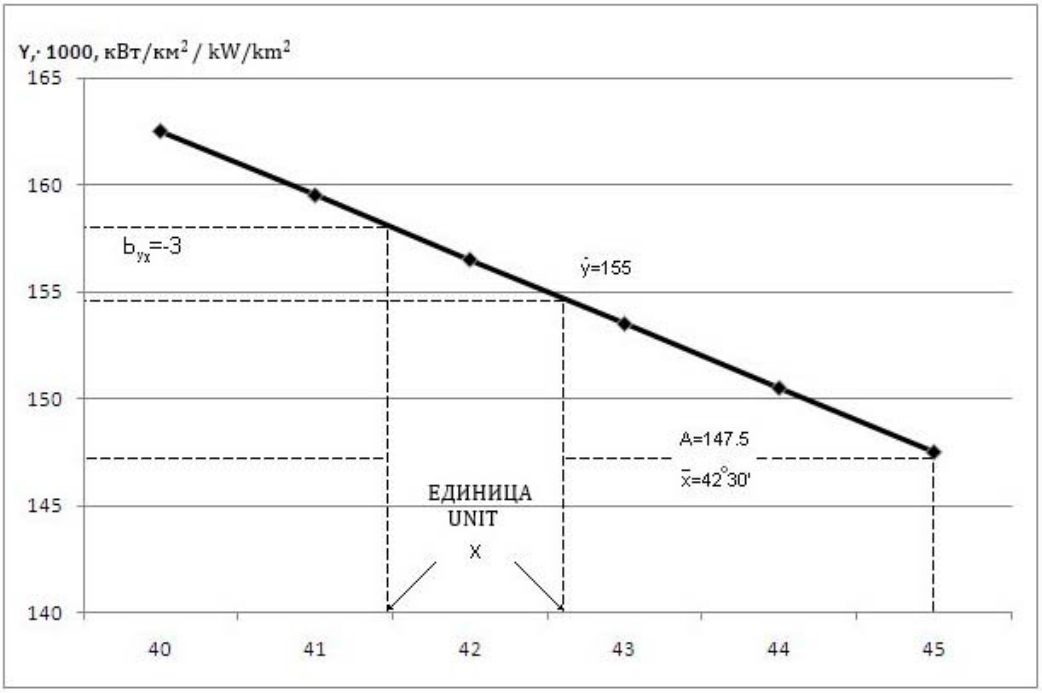
$$Y = \bar{y} + b_{xy}(X - \bar{x}) = 155 + [-3(X - 42{,}5)] = 155 - 3x + 127{,}5 = -3x + 282{,}5$$

где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – условные средние.

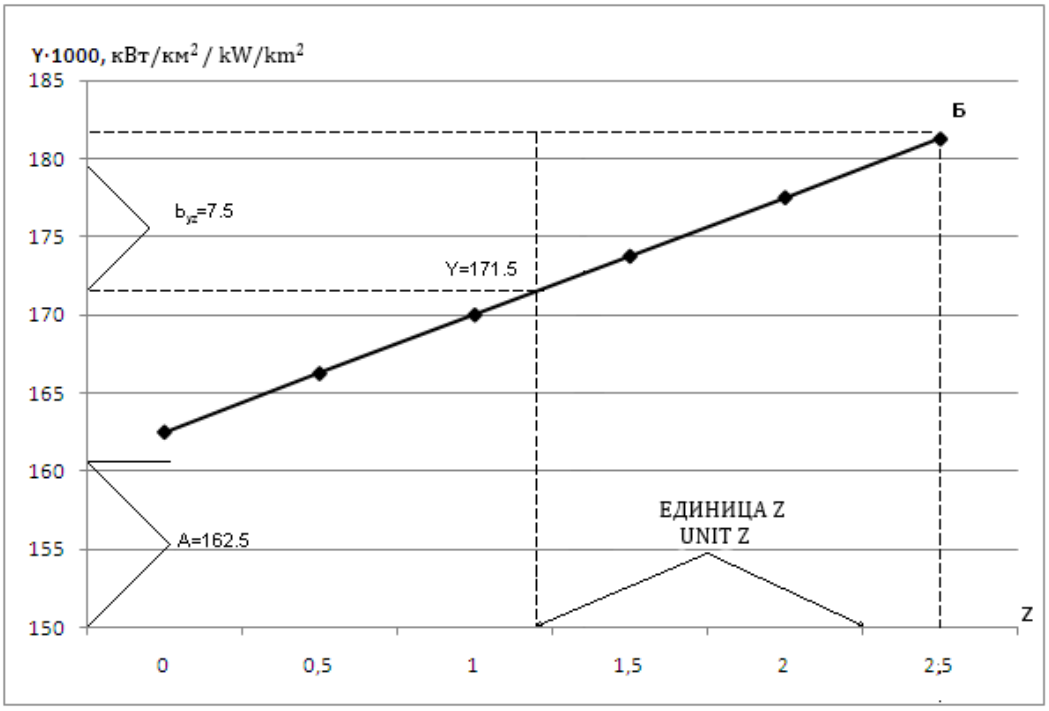
Аналогично коэффициент регрессии Y по Z и уравнение регрессии составит

$$b_{zy} = \frac{75 - 7{,}5 \cdot 33{,}75) : 6}{13{,}75 - 9{,}375} = \frac{32{,}812}{4{,}375} = 7{,}5 \kappa Bm \; / \; \kappa м^2;$$

$$Y = \bar{y} + b_{zy}(Z - \bar{z}) = 171{,}5 + 7{,}5(Z - 1{,}25) = 7{,}5Z + 162{,}125$$



А



В

Рисунок 1. График линейной регрессии Y и X (А) и Y по Z(В)
Figure 1. Linear regression graph of Y and X (A) and Y along Z (B)

Таким образом, оба показателя регрессии Y по X и Z характеризуют одностороннюю линейную корреляционную связь мощности солнечной радиации с географической широтой (x) и высотой местности (Z). В первом случае связь отрицательная, во втором – положительная (рис.1). Полученные уравнения регрессии позволяют вычислить мощность солнечной радиации в любой точке или фрагменте территории (районе) Республики Дагестан.

В итоге выполненной работы парные функциональные связи сведены в номограмму (рис. 2) в единицах энергетической мощности солнечной радиации (кВт/км^2) и суммарной радиации в пределах географических широт (ф°) и высот (Н, м) территории Дагестана.

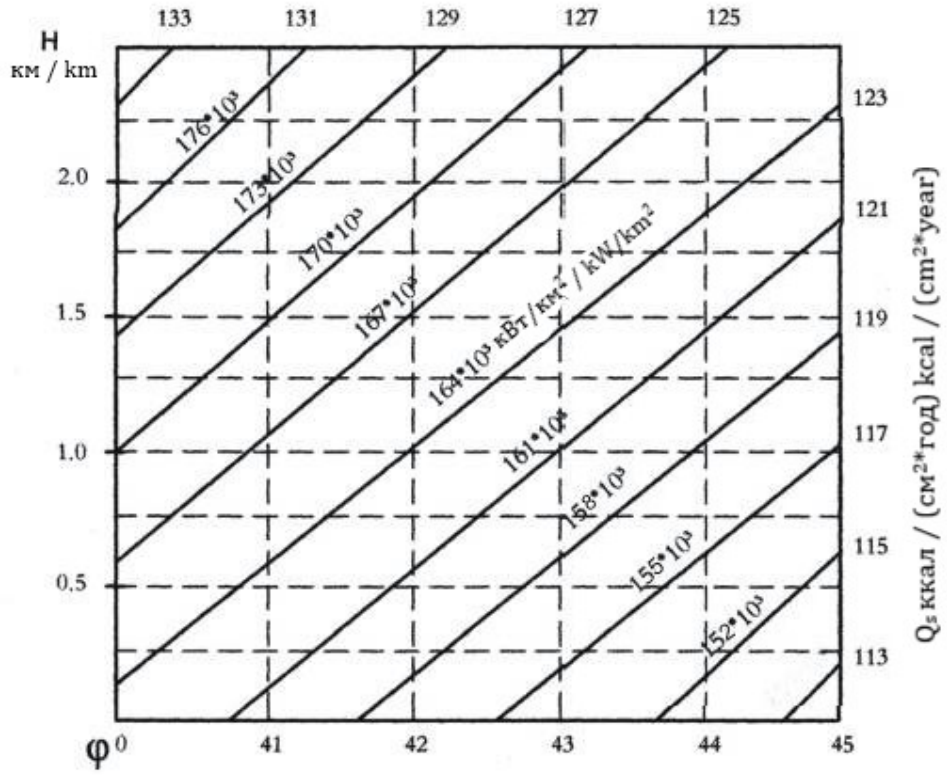


Рисунок 2. Номограмма для расчета мощности суммарной радиации в широтно-высотных интервалах территории Дагестана. *Цифры на углах прямоугольника в штриховых осях – предельные значения мощности солнечной радиации*

Figure 2. Nomogram for calculating power of total radiation in latitude-altitude intervals of the territory of Dagestan. *The numbers at the corners of the rectangle in the dashed axes are the limit values of the power of solar radiation*

В приведенных координатах получаем «семейство» параллельных прямых, которые отображают мощность солнечной радиации относительно высоты местности при изменении географических широт от 40° до 45°, т.е. в интервале территории Дагестана. График позволяет также определить изменение мощности солнечной радиации по заданной географической широте или ее предельные и средние значения в широтно-высотных интервалах изучаемой территории [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный регрессионный анализ, а также номограмма позволяют получить количественные показатели энергетики экосистем территории Дагестана, которые лежат в основе оценки современного состояния окружающей среды и выработки рекомендаций по стабилизации, устойчивому эколого-экономическому развитию территорий.

Практика индексации устойчивости окружающей среды отдельных районов Дагестана показала достаточно высокую надежность исходных показателей: 1) мощность первичной продуктивности; 2) экологическая емкость; 3) экологическое нормирование антропогенной нагрузки [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Ахмедова Л.Ш., Гасанов Ш.Ш. Информационно-статистический метод оперативной оценки показателей солнечной радиации на территории Дагестана // Труды Географического общества Дагестана. 2004. N 31-32. С. 106-109.

2.Гасанов Ш.Ш. Структурная экология. Методология и методы. Махачкала: ИД Наука плюс, 2006. 200 с.

3.Гасанов Ш.Ш. Эколометрия. Махачкала: Изд. ДГУ, 2008. 260 с.

4.Ахмедова Л.Ш. Методы измерения и оценки устойчивости геосистем. Махачкала: Изд-во «АЛЕФ», 2008. 100 с.

5.Ахмедова Л.Ш., Гасанов Ш.Ш. Биоразнообразие и устойчивость экосистем. Махачкала: Изд-во «АЛЕФ», 2015. 352 с.

6.Ахмедова Л.Ш., Раджабова Р.Т., Гусейнова Н.О., Курамагомедов Б.К. Геоэкологическая оценка устойчивого развития Республики Дагестан с использованием нормирования антропогенной нагрузки // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10. N 1. С. 177-184. DOI: 10.18470/1992-1098-2015-1-177-184

7.Ахмедова Л.Ш., Гусейнова Н.О. Статистический анализ и интерпретация гипсометрической однородности (неоднородности) в целях реализации геосферной модели устойчивости геосистем Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 1. С. 54-66. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-54-66

8.Trask P.D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932. 281 p.

9.Kempton R.A., Taylor L.R. The Q-statistics and the diversity of floras // Nature. 1978. V. 275. P. 252-253. DOI: 10.1038/275252a0

10. Shannon C.B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 1963. 345 p.
11. Simpson E.H. Measurement of diversity // Nature (London). 1949. V. 163. N 4148. P. 668. DOI: 10.1038/163688a0

REFERENCES

1. Akhmedova L.Sh., Gasanov Sh.Sh. [Information and statistical method for the operational assessment of solar radiation indicators in the territory of Dagestan]. In: *Trudy Geograficheskogo obshchestva Dagestana* [Scientific works of Daghestan geographical society]. 2004, no. 31-32, pp. 106-109. (In Russian)
2. Gasanov Sh.Sh. *Strukturnaya ekologiya. Metodologiya i metody* [Structural ecology. Methodology and methods]. Makhachkala, Nauka plyus Publ., 2006, 200 p. (In Russian)
3. Gasanov Sh.Sh. *Ekolometriya* [Ecolometry]. Makhachkala, DSU Publ., 2008, 260 p. (In Russian)
4. Akhmedova L.Sh. *Metody izmereniya i otsenki ustoichivosti geosistem* [Methods for measuring and assessing the stability of geosystems]. Makhachkala, Alef Publ., 2008, 100 p. (In Russian)
5. Akhmedova L.Sh., Gasanov Sh. Sh. *Bioraznoobrazie i ustoichivost' ekosistem* [Biodiversity and ecosystem resilience]. Makhachkala, Alef Publ., 2015, 352 p. (In Russian)
6.Akhmedova L.Sh., Radzhabova R.T., Guseynova N.O., Kuramagomedov B.M. Geoecological evaluation of sustainable development of the Republic of Dagestan and normalizing the anthropogenic burden. *South of Russia: ecology, development*, 2015, vol. 10, no. 1, pp. 177-184. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2015-1-177-184
7. Akhmedova L.Sh., Guseynova N.O. Statistical analysis and interpretation of the hypsometric uniformity (non-uniformity) for the realization of the geosphere model of stability of geosystems in Daghestan. *South of Russia: ecology, development*. 2019, vol. 14, no. 1, pp. 54-66. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-54-66
8.Trask P.D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932, 281 p.
9. Kempton R.A., Taylor L.R. The Q-statistics and the diversity of floras. *Nature*, 1978, vol. 275, pp. 252-253. DOI: 10.1038/275252a0
10. Shannon C.B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois), Univ. of Illinois Press, 1963, 345p.
11. Simpson E.H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, vol. 163, no. 4148, pp. 668. DOI: 10.1038/163688a0

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лейла Ш. Ахмедова написала рукопись и несет ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Leyla Sh. Akhmedova 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

Лейла Ш. Ахмедова / Leyla Sh. Akhmedova https://orcid.org/0000-0003-1347-1429

Оригинальная статья / Original article
УДК 332:142.4: 591.543.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-117-127

Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья для целей прогнозирования урожайности озимой пшеницы

Сергей Н. Волков[1], Светлана В. Савинова[1], Елена В. Черкашина[1], Дмитрий А. Шаповалов[1], Виталий В. Братков[2], Павел В. Клюшин[1]
[1]Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия,
[2]Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

Контактное лицо
Павел В. Клюшин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экономики недвижимости, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»; 105064 Россия, Москва, ул. Казакова, 15.
Тел. +79647989844
Email klyushinpv@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-4221-036X

Формат цитирования
Волков С.Н., Савинова С.В., Черкашина Е.В., Шаповалов Д.А., Братков В.В., Клюшин П.В. Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья для целей прогнозирования урожайности озимой пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 117-127. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-117-127

Получена 17 август 2020 г.
Прошла рецензирование 5 октября 2020 г.
Принята 5 ноября 2020 г.

Резюме

Цель. Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья с целью прогнозирования урожайности озимой пшеницы.

Методы. Интегральные показатели климатических условий для ведения сельскохозяйственного производства. Для исследований выбрали пятилетия, для которых осреднялись метеорологические параметры, а для выявления тенденций данных конкретных пятилетий сравнивались со средним значением за весь ряд наблюдений (1960-2020 гг.).

Результаты. Отклонение осадков в апреле была максимальным в 2011-2015 гг., когда они увеличились на 22 мм, а также в 1986-1990 и 1991-1995 гг., когда они сократились на 15 и 10 мм соответственно. В Восточном Предкавказье, где условия более засушливые по сравнению с Западным и Центральным, в XXI в. улучшились как для всего периода активной вегетации, как роста температуры воздуха, так и количества выпадающих осадков, особенно в апреле и мае.

Заключение. Установлено, что величина гидротермического коэффициента на протяжении 1960-2020 гг. практически не изменяется. В конце 1990-х – начале 2000-х гг. отмечается рост продуктивности на фоне относительно высокого уровня годовой суммы осадков, и эта стабильность подтверждается и в настоящее время. Существует очень тесная связь между природно-климатическими факторами и уровнем урожайности озимой пшеницы.

Ключевые слова
Россия, Предкавказье, климат, температура, осадки, ГТК, озимая пшеница, рекомендации.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Assessment of current climate conditions changes in the territory of Ciscaucasia for the purposes of forecasting winter wheat yield

Sergey N. Volkov[1], Svetlana V. Savinova[1], Elena V. Cherkashina[1], Dmitry A. Shapovalov[1], Vitaly V. Bratkov[2] and Pavel V. Klyushin[1]
[1]State University of Land Management, Moscow, Russia,
[2]Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Principal contact
Pavel V. Klyushin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Real Estate Economics, State University of Land Use Planning; 15 Kazakova St, Moscow, Russia 105064.
Tel. +79647989844
Email klyushinpv@gmail.com
ORCID https://orcid.org/0000-0002-4221-036X

How to cite this article
Volkov S.N., Savinova S.V., Cherkashina E.V., Shapovalov D.A., Bratkov V.V., Klyushin P.V. Assessment of current climate conditions changes in the territory of Ciscaucasia for the purposes of forecasting winter wheat yield. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 117-127. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-117-127

Received 17 August 2020
Revised 5 October 2020
Accepted 5 November 2020

Abstract
Aim. Assessment of current climate changes in the territory of Ciscaucasia in order to predict the yield of winter wheat.
Methods. Integral indicators of climatic conditions for agricultural production were employed. For the investigations, we selected five-year periods for which the meteorological parameters were averaged, and to identify trends the data of specific five-year periods were compared with the average value for the entire series of observations (1960-2020).
Results. The deviation of precipitation in April was highest in 2011-2015, when it increased by 22 mm, and in 1986-1990 and 1991-1995, when it decreased by 15 and 10 mm respectively. In Eastern Ciscaucasia, where conditions are more arid than in the Western and Central regions, in both the rise in air temperature and the amount of precipitation, especially in April and May, increased in the 21st century for the entire period of active vegetation.
Conclusion. It was established that the value of the hydrothermal coefficient practically did not change during the 1960-2020 period. In the late 1990s and early 2000s, there was an increase in productivity against the background of a relatively high level of annual precipitation and this stability is confirmed at the present time. There is a very close relationship between natural and climatic factors and the level of winter wheat yield.

Key Words
Russia, Ciscaucasia, climate, temperature, precipitation, HTC, winter wheat, recommendations.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Правительство Российской Федерации от 09.08.2013 г. №681 утвердило положение о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды). Так, по данным Всемирной метеорологической организации, 2018 год в мире стал четвертым из самых теплых за всю историю всемирных наблюдений, а последние четыре года – с 2015 по 2018 г. – с начала регистрации наблюдений за глобальной температурой были самыми теплыми. Глобальная средняя температура в 2018 г. была на 0,99 ± 0,13°C выше показателя доиндустриального базового уровня (1850-1900 гг.). Тепло в 2018 г. отличалось своей пространственной протяженностью, на всех континентах были зафиксированы температурные аномалии. По данным Росгидромета 2019 г. стал четвертым среди самых теплых с 1936 г.: осредненная по территории Российской Федерации среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-1990 гг.) составила +2,07ºС, в том числе в Северо-Кавказском федеральном округе (+1,89ºС). В 2019 г. средняя по Российской Федерации годовая сумма осадков составила 108% нормы (шестая величина в ряду). Доля площади с избытком осадков (более 80-го процентиля) составила 25%, с дефицитом осадков (менее 20-го процентиля) – 12%. В тоже время сильный дефицит осадков наблюдался в Северо-Кавказском федеральном округе (выпало 84% нормы – среди четырех «самых сухих») [1-3].

Многими учеными, в том числе и нами, установлено, что климат существенно влияет на формирование урожая всех сельскохозяйственных культур. Особенно это отмечается к засушливым и неустойчивого увлажнения зонам, к которым относятся основная территория Предкавказья. При этом необходимо отметить, что долговременные изменения температуры или осадков менее важны для сельского хозяйства, чем такие экстремальные явления, как засухи, сильные морозы, переувлажнение почвы, пыльные бури, но без знания и прогнозирования этих основных показателей невозможно интенсивное сельскохозяйственное производство.

Степные ландшафты, распространённые ранее в равнинной части Северного Кавказа, в Предкавказье, на протяжение как минимум с конца XIX в. являются одним из наиболее успешных сельскохозяйственных регионов страны. Этому способствуют как благоприятные природные факторы, прежде всего – климат, так и сложившаяся хозяйственная специализация региона. Так, здесь имеются крупные научно-исследовательские организации, занимающиеся селекций в области посадочного материала, предприятия сельскохозяйственного машиностроения («Ростсельмаш»), химические предприятия, специализирующиеся на выпуске минеральных удобрений (Невинномысский «Азот»), сложившаяся логистическая сеть и возможности хранения (элеваторная сеть) и первичной переработки урожая.

Результатом благоприятных природных условий стала специализация этого региона на продукции растениеводства, которая складывалась еще с дореволюционного времени. В советское время она дополнилась также системой мелиорации земель, что позволило выйти на высокие устойчивые сборы и урожаи зерновых сельскохозяйственных культур. В постсоветское время отмечалось снижение валовых сборов за счет перехода к другой экономической модели и ухудшения материально-технической базы сельского хозяйства. Однако в последние годы валовые сборы зерна, прежде всего, на территориях Краснодарского и Ставропольского краев, сравнились с советским периодом. Частично это можно объяснить с адаптацией хозяйства к новым условиям хозяйствования и достижениями сельскохозяйственной науки.

Помимо сугубо экономических причин, в увеличении валового сбора зерновых культур и их урожайности, на наш взгляд, внес вклад также процесс изменения глобального климата, который в каждом регионе имеет свои особенности. Так, на территории Северного Кавказа, начиная с конца XX века, отмечается в разной степени рост средней годовой температуры, сопровождающийся в целом некоторым увеличением количества осадков. Повышение температуры воздуха увеличивает продолжительность периода активной вегетации и сдвигает во времени как агротехнические мероприятия, так и условия произрастания сельскохозяйственных культур. Наряду с изменениями термических условий происходит изменение количества годовых осадков, чаще всего в сторону их увеличения, однако они, в отличие от температуры, изменяются не столь выражено [4-7].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления и оценки климатических условий на прогнозирования урожайности озимой пшеницы нами использовались данные метеостанций «Краснодар», «Ставрополь», «Минеральные Воды» и «Грозный» за 1960-2020 гг., имеющиеся в свободном доступе на портале Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) (www.meteo.ru). Для их обработки применялись статистические методы. Так, были определены средние температуры и количество осадков за этот период, которые позволили вычислить погодичные значения ГТК для выявления общих условий вегетационного периода и тенденций их изменения от одного временного отрезка к другому (рис. 1).

Интегральным показателем климатических условий для ведения сельскохозяйственного производства традиционно выступают различные климатические коэффициенты и индексы, среди которых традиционным является гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), представляющий собой соотношение осадков к испаряемости. Он позволяет оценить условия вегетационного периода в целом, но при этом не дает представления, во-первых, об условиях холодного периода, и, во-вторых, о вкладе отдельных месяцев в общую его величину в течение отдельных лет. Для расчета показателей увлажненности ИС (индекс сухости), ГТК и КУ (коэффициент увлажнения) определяли по формулам необходим

минимальный объем гидрометеорологической информации – среднесуточные значения температуры воздуха и суточные суммы осадков. В качестве таких отрезков выбрали пятилетия, для которых осреднялись метеорологические параметры, а для выявления тенденций данных конкретных пятилетий сравнивались со средним значением за весь ряд наблюдений (1960-2020 гг.). В дальнейшем мы исключили метеостанцию «Ставрополь», потому что достоверность этих показателей более или менее подтверждались только на территории Ставропольской возвышенности на высотах от 350 до 800 м над уровнем моря или менее 10% от площади Предкавказья (его площадь приблизительно равна 1,2 млн га). При этом проанализировали метеостанцию «Минеральные Воды», результаты которых более приближены к Центральному Предкавказью [5-9].

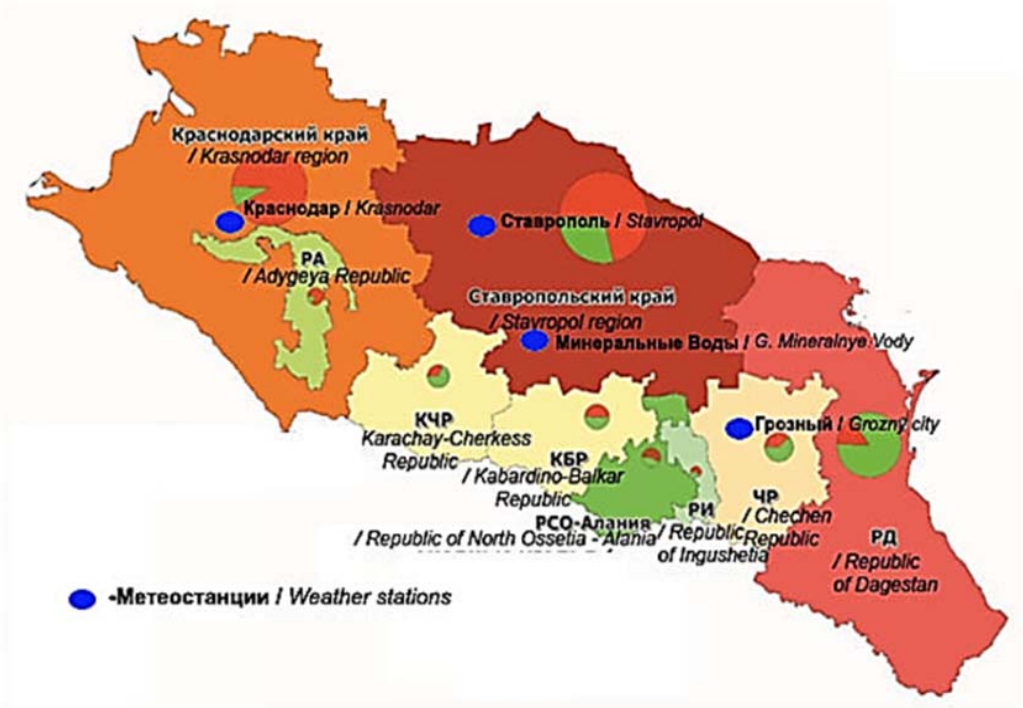


Рисунок 1. Метеостанции исследований на территории Предкавказья
Figure 1. Meteorological research stations in the territory of Ciscaucasia

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки данных в качестве основного показателя для оценки влияния климатических условий на ведение сельскохозяйственного производства зернового типа были выбраны такие параметры, как ГТК, температуры и осадки начала и разгара периода активной вегетации, которые оказывают влияние на формирование колоса (апрель, май, июнь), а также сумма осадков холодного периода. Изменение климатических условий за 1960-2020 гг. для метеостанции «Краснодар» (Западное Предкавказье) иллюстрируют рис. 2 и табл. 1.

Как следует из представленных данных, несмотря на современные климатические изменения, условия тепло- и влагообеспечения вегетационного периода характеризуются определенной стабильностью. Величина ГТК составляет 1,01, что соответствует нижнему пределу недостаточного увлажнения (1,0-1,3), в условиях которого формируется лесостепь. Однако за это время довольно часто отмечались условия увлажнения, которых были характерны как для зоны избыточного увлажнения (лесной, 1,3-1-6), так и для засушливой зоны (степной, 1,0-0,7), а в экстремальные годы увлажнение выходила даже за указанные интервалы. Еще одной особенностью, на которую обращали внимание и другие исследователи, является то, что этого временного отрезка отмечаются разнонаправленные тенденции. Так, например, с 1966 по 1969 гг. отмечалось устойчивое снижение величины ГТК, а с 1981 по 1988 гг., наоборот, его повышение. Поэтому в целом аппроксимация посредством полинома 4-ой степени указывает на цикличность процесса изменения условий тепло- и влагообеспечения вегетационного периода, а также то, что современные климатические изменения не отразились на этом периоде. Что касается его изменчивости по пятилетним отрезкам, то можно выделить периоды, когда отклонения его величины от средней были существенно выше или ниже. Так, до 1980 г. его колебания были минимальны и не превышали 0,05. Далее существенно возросла межгодовая изменчивость ГТК, что привело к его изменению на 0,11-0,16 в 1986-1990 гг. Максимальный его прирост в последнем пятилетии XX был обусловлен абсолютным максимумом 1997 г. (1,92). Далее условия вегетационного периода существенно ухудшились лишь в 2006-2010 гг., когда ГТК опустился ниже 1,0, что соответствует степным условиям и именно такие условия благоприятны для произрастания коренных степных растительных ассоциаций, а также злаковых культур на их месте в агроценозах.

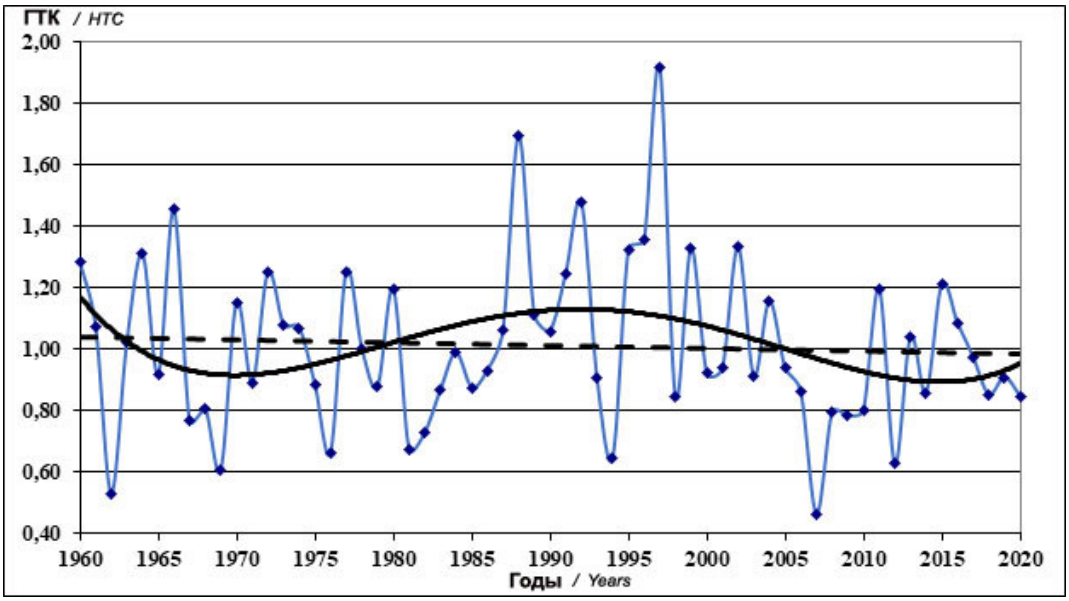


Рисунок 2. Изменение величины ГТК за 1960-2020 гг. по данным метеостанции «Краснодар» [здесь и далее (рисунки 3 и 4) пунктиром представлена линейная аппроксимация, сплошной – полиноминальная 4-ой степени)]
Figure 2. Change in the value of the HTC for 1960-2020 according to data of the Krasnodar Meteorological Research Station [here and further below (Figures 3 and 4), the dotted line is a linear approximation, while the solid line is a polynomial of the 4th degree)]

Таблица 1. Изменение ГТК, температур и осадков начала – разгара активной вегетации (апрель-июнь) и осадков холодного периода по данным метеостанции «Краснодар» за 1960-2020 гг. по пятилетним отрезкам
Table 1. Changes in the HTC, temperatures and precipitation at the beginning and height of the active vegetation period (April-June) and precipitation of the cold period according to the Krasnodar Meteorological Research Station for 1960-2020 by five-year segments

Пятилетия Five-year segments	**ΔГТК** ΔHTC	**ΔT_{04}**	**ΔT_{05}**	**ΔT_{06}**	**ΔR_{04}**	**ΔR_{05}**	**ΔR_{06}**	**ΔR<0**
1961-1965	-0,04	-1,1	-0,6	0,4	29	-15	0	58
1966-1970	-0,05	0,6	0,4	-1,2	-5	5	5	-32
1971-1975	0,02	0,4	-0,1	0,1	3	-12	-14	-17
1976-1980	-0,01	-0,4	-0,5	-1,0	2	-12	-30	-5
1981-1985	-0,18	-0,4	0,4	-0,9	2	-20	-25	21
1986-1990	0,16	0,4	-1,6	-0,9	-8	41	47	21
1991-1995	0,11	-0,4	-1,3	-0,7	9	14	6	13
1996-1990	0,26	0,8	0,0	0,1	3	10	21	-36
2001-2005	0,05	-0,6	0,4	-1,0	-7	-11	3	13
2006-2010	-0,27	-0,1	0,3	1,8	-6	-13	-18	3
2011-2015	-0,02	0,7	2,3	1,6	5	-2	6	9
2016-2020	-0,08	0,4	0,5	1,9	-23	8	-16	-37
Средние значения Average values	**1,01**	**12,2**	**17,5**	**21,5**	**55**	**62**	**80**	**51**

Примечание здесь, а также для 2 и 3 таблиц: здесь и далее: ΔГТК – отклонение величины ГТК от среднего значения; ΔT_{04}-ΔT_{06} – отклонение температур апреля-июня от среднего значения в ℃; ΔR_{04}-ΔR_{06} – отклонение количества осадков апреля-июня от среднего значения в мм; ΔR<0 ℃ – отклонение количества осадков холодного периода (температуры ниже 0 ℃) от среднего значения.
Note here, as well as for 2 and 3 tables: here and further: ΔHTC – deviation of HTC from the mean value; ΔT_{04}-ΔT_{06} – deviation of temperature of April-June from the average value in ℃; ΔR_{04}-ΔR_{06} deviation in precipitation April-June from the mean value in mm; ΔR<0 ℃ deviation in precipitation of the cold period (temperature below 0 ℃) of the average.

Изменения произошли в термическом режиме начала и разгара периода активной вегетации. Что касается начала периода вегетации, то в целом в конце апреля температура воздуха переходит через 10℃, а в результате повышения температуры процесс перехода температуры через это значение стал проходить в 2011-

2020 гг. немного раньше. Что касается мая месяца, то устойчивый рост температуры этого месяца начался с 2000 г. и достиг максимума в 2011-2015 гг. (2,3°С). Аналогичная ситуация характерна и для разгара вегетации, когда окончательно формируется сельскохозяйственные культуры: начиная с 2006 г. отмечается рост температуры воздуха на 1,6-1,9°С.

Наряду с изменениями термических условий, также отмечаются изменения в количестве осадков во время начала и разгара активной вегетации. Так, наиболее существенное сокращение осадков в начале вегетационного периода произошло в последнее рассматриваемое пятилетие, когда они сократились на 23 мм. За исключением 1961-1965 гг., когда, наоборот, отмечалось сопоставимое увеличение количества осадков в апреле (29 мм), в остальные годы колебания осадков были незначительны. Что касается майских осадков, то они характеризуются существенной изменчивостью, при этом в последнее рассматриваемое десятилетие их количество было близко к норме, тогда как наиболее влажными были 1986-1990 гг. (+41 мм). В изменении июньских осадков также нет выраженных тенденций, обусловленных современными климатическими изменениями: наибольшие колебания июньских осадков, отмечались в середине рассматриваемого периода (+47 мм в 1986-1990 гг. и -30 мм в 1976-1980 гг.).

Осадки холодного периода, когда температура воздуха опускается ниже 0°С, также иллюстрируют довольно слабую связь с современными климатическими тенденциями. Отмечаемое их максимальное сокращение в последнее рассматриваемое пятилетие (-37 мм) не является уникальным, а сопоставимое по величине сокращение было также в 1996-2000 гг., при этом в первое рассматриваемое пятилетие фиксировался их максимальный прирост (+58 мм). В целом в Западном Предкавказье в последние годы отмечаются гидротермические условия, в большей степени соответствующие степной зоне, при этом отмечается в разной степени рост температура в начале и разгаре периода активной вегетации при некотором снижении количества осадков в это время года. Изменение климатических условий за 1960-2020 гг. для метеостанции «Минеральные Воды» (Центральное Предкавказье) иллюстрирует рис. 3 и табл. 2.

Средняя величина ГТК здесь составляет 1,02, что также соответствует нижней границе зоны недостаточного увлажнения. Линейный тренд указывает на общую стабильность гидротермических условий, однако довольно существенно изменяется от одного года к другому. Так, минимальные его значения отмечались в 1965 и 1979 гг. (0,46 и 0,50 соответственно), а в 1973 г. он достигал 1,70. В 1970-1980 гг. отмечалась максимальная амплитуда колебаний, а с 2005 г. значения ГТК преимущественно находятся в интервале 0,8-1,2. Устойчивые тенденции роста или уменьшения ГТК на протяжении 5-7 лет практически не выявляются, представлены преимущественно 2-3-летние отрезки, когда условия тепловлагообеспечения улучшаются или ухудшаются. Например, в 2002 г. отмечались условия, характерные для лесной зоны (ГТК=1,46), которые постепенно изменялись до 2007 г., года они соответствовали засушливой (степной зоне). Что касается изменчивости ГТК по пятилетиям, то наиболее влажные условия отмечались в 1981-1985 гг., когда ГТК была на 0,21 выше нормы, а ранее, в 1976-1980 году отмечались его значения на такую же величину ниже среднего значения. Также улучшение условий увлажнения отмечалось в 2001-2005 гг. (+0,17), тогда как в остальные пятилетия величина отклонения редко превышала 0,1. Начиная с 2006 г. условия увлажнения соответствуют преимущественно степной зоне, и эти условия являются наиболее благоприятными для произрастания озимой пшеницы.

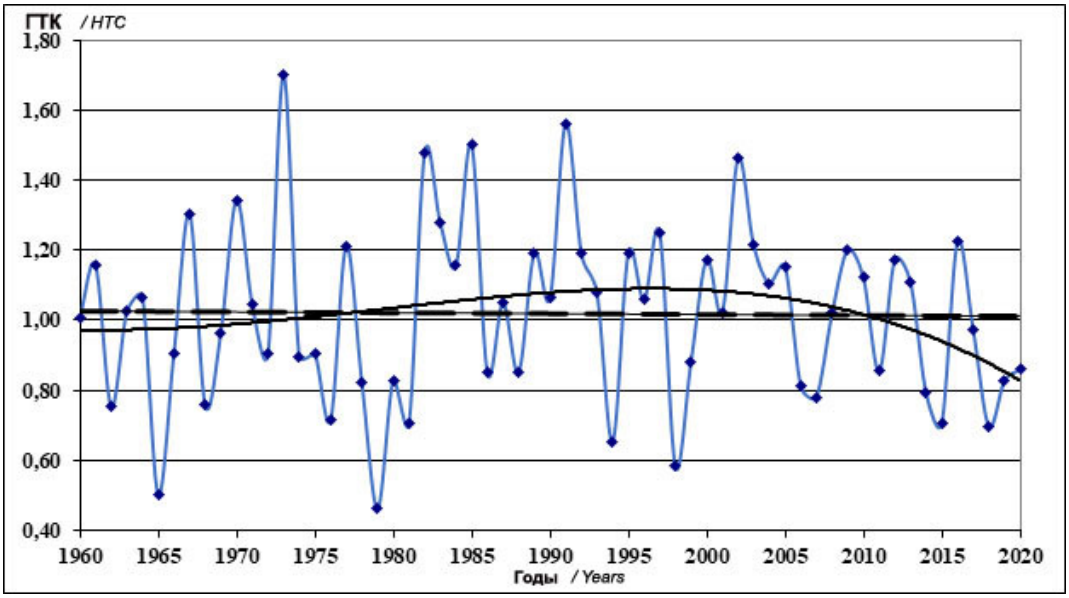


Рисунок 3. Изменение величины ГТК за 1960-2020 гг. по данным метеостанции «Минеральные Воды»
Figure 3. Change in the value of the HTC for 1960-2020 according to data of the Mineralnye Vody Meteorological Research Station

Таблица 2. Изменение ГТК, температур и осадков начала – разгара активной вегетации (апрель-июнь) и осадков холодного периода по данным метеостанции «Минеральные Воды» за 1960-2020 гг. по пятилетним отрезкам
Table 2. Changes in the HTC, temperatures and precipitation at the beginning and height of the active vegetation period (April-June) and precipitation of the cold period according to data of the Mineralnye Vody Meteorological Research Station for 1960-2020 by five-year segments

Пятилетия Five-year segments	**ΔГТК** ΔHTC	**ΔT_{04}**	**ΔT_{05}**	**ΔT_{06}**	**ΔR_{04}**	**ΔR_{05}**	**ΔR_{06}**	**ΔR<0**
1961-1965	-0,12	-1,2	0,3	0,6	-7	8	-28	-17
1966-1970	0,04	0,6	0,7	-0,9	5	-7	11	8
1971-1975	0,07	0,4	0,1	0,0	5	-14	6	3
1976-1980	-0,21	-0,1	-0,4	-0,9	-1	-19	-31	7
1981-1985	0,21	0,1	-0,3	-1,2	1	23	24	-14
1986-1990	-0,02	0,4	-1,3	-0,2	-20	8	4	20
1991-1995	0,12	-0,3	-1,2	-0,9	42	-4	3	17
1996-1990	-0,03	0,5	-0,4	0,1	0	-18	-10	-13
2001-2005	0,17	-1,0	0,0	-1,0	6	-16	27	-7
2006-2010	-0,03	-0,2	-0,3	1,2	1	2	-11	2
2011-2015	-0,09	0,6	1,9	1,2	0	9	8	2
2016-2020	-0,10	0,6	1,1	2,0	-25	29	-3	-17
Средние значения Average values	**1,02**	**10,1**	**15,7**	**19,9**	**49**	**67**	**79**	**53**

Изменчивость в Центральном Предкавказье характеризуются также условия начала вегетационного периода. Наиболее холодным был апрель в 1961-1965 и 2001-2005 гг., когда температура опускалась до 1,0℃ и более. До 2011 г. лишь в 1966-1970 гг. температура в этом месяце была выше нормы на 0,6℃, а в остальные годы ниже этой величины. поэтому ее устойчивое увеличение в последнее рассматриваемое десятилетие можно считать благоприятным условием для вегетации озимой пшеницы. Аналогичная тенденция, то есть существенное увеличение температуры воздуха на 1,2 и 2,0℃ в 2011-2015 и 2016-2020 гг. соответственно, выявляется в мае месяце. По этому же сценарию произошли изменения термических условий и в разгар периода активной вегетации, в июне: начиная с 2006 г. рост температуры составил 1,2℃ в 2006-2010 и 2011-2015 гг., и 2,0℃ в последнее рассматриваемое пятилетие. С учетом того, что ранее отмечались температуры преимущественно ниже средней, можно констатировать, что термические условия начала и разгара периода активной вегетации стали более благоприятными для произрастания озимой пшеницы.

Изменчивость выпадения осадков в начале и разгаре периода активной вегетации более значительная, чем изменчивость температур. В апреле преимущественно отмечается относительная стабильность в выпадении осадков, которая наиболее сильно нарушалась в 1991-1995 гг., когда количество осадков было на 42 мм выше нормы, а также в 1986-1990 и 2016-2020 гг., когда отмечалось их сокращение на 20 и 25 мм соответственно. В целом в последние пятилетия активная вегетация начинается в условиях, близких к многолетним, или при дефиците осадков. Несколько другая картина выпадения осадков характера для мая. На начало рассматриваемого периода приходится в разной степени сокращение осадков (от 7 мм в 1966-1970 гг. до 19 мм в 1976-1980 гг.). В начале 1980-х годов отмечается рост осадков в мае (+23 мм), которых замедлился в конце этого десятилетия. Далее на протяжении 15 лет вновь количество осадков сокращается, после чего, с 2006 года они сначала близки к норме, а в последнее рассматриваемое пятилетие увеличились на 29 мм, что является максимальной величиной за весь рассматриваемы период. Изменение июньских осадков менее упорядочено во времени по сравнению с майскими, так как они чаще изменяются на протяжении более коротких промежутков времени. Так их наибольшее сокращение произошло в 1976-1980 гг. (31 мм), а затем, в 1981-1985 гг. последовал рост на 24 мм, а максимальное увеличение произошло в 2001-2005 гг. (на 27 мм). Что касается последнего десятилетия, то их количество было близко к норме.

Осадки холодного периода также характеризуются периодами их в разной степени сокращения и увеличения, при этом они слабо коррелируют с глобальным изменением термических условий, поскольку их минимальное количество отмечалось как в 1961-1965, так и в 2016-2020 гг. Наибольший прирост зимних осадков отмечался в 1986-1990 и 1991-1995 гг. (на 20 и 17 мм соответственно). Сокращение осадков холодного периода в последние пятилетие объясняется ростом температуры в это время и, соответственно, сокращением этого периода года. В целом это явление следует отнести к неблагоприятным с точки зрения условий перезимовки озимой пшеницы.

В целом в Центральном Предкавказье за последние 10-15 лет гидротермические условия вегетационного периода изменились в сторону остепнения, при этом отмечается рост температуры воздуха в начале и разгаре активной вегетации, который сопровождается увеличением количества

осадков в мае месяце. Изменение климатических условий за 1960-2020 гг. для метеостанции «Грозный» (Восточное Предкавказье) иллюстрирует рис. 4 и табл. 3.

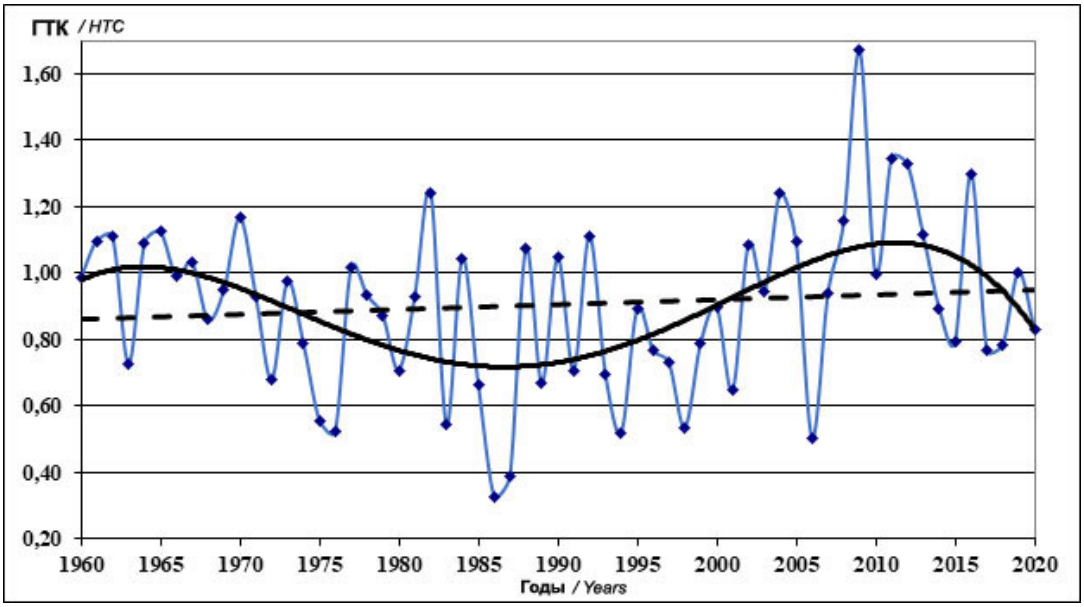


Рисунок 4. Изменение величины ГТК за 1960-2020 гг. по данным метеостанции «Грозный»
Figure 4. Change in the value of the HTC for 1960-2020 according to data of the Grozny Meteorological Research Station

Таблица 3. Изменение ГТК, температур и осадков начала – разгара активной вегетации (апрель-июнь) и осадков холодного периода по данным метеостанции «Грозный» за 1960-2020 гг. по пятилетним отрезкам
Table 3. Changes in HTC, temperatures and precipitation of the beginning and height of active vegetation (April-June) and precipitation of the cold period according to data of the Grozny Meteorological Research Station for 1960-2020 by five-year segments

Пятилетия Five-year segments	**ΔГТК** ΔHTC	ΔT_{04}	ΔT_{05}	ΔT_{06}	ΔR_{04}	ΔR_{05}	ΔR_{06}	**ΔR<0**
1961-1965	0,13	-1,2	0,0	0,4	-6	7	4	2
1966-1970	0,10	0,3	0,7	-0,3	-4	5	13	-4
1971-1975	-0,12	0,4	0,6	0,6	5	-13	4	1
1976-1980	-0,09	0,0	-0,3	-0,4	1	-15	-3	-15
1981-1985	-0,02	0,3	-0,2	-0,7	-3	7	-2	-2
1986-1990	-0,20	0,3	-1,2	0,6	-15	-9	-20	15
1991-1995	-0,12	-0,2	-1,2	-4,5	-10	-4	-25	34
1996-1990	-0,16	1,0	0,7	1,2	-7	-11	-12	-18
2001-2005	0,10	0,0	0,7	0,4	8	-23	50	-33
2006-2010	0,15	-0,6	-0,6	1,0	4	10	-10	0
2011-2015	0,19	0,0	0,7	0,7	22	8	9	23
2016-2020	0,03	-0,1	0,3	1,0	7	41	-2	-19
Средние значения Average values	**0,90**	**10,9**	**16,9**	**21,1**	**37**	**61**	**74**	**48**

Средняя величина ГТК в этом ареале степных ландшафтов Предкавказья составляет 0,9, что соответствует именно засушливой зоне, при этом линейный тренд иллюстрирует незначительный рост при выраженной циклической составляющей процесса изменения данного параметра во времени. Минимальные значения ГТК опускались ниже 0,4 в 1986-1987 гг., а максимальные превышали 1,6 в 2009 г. До середины 1970-х годов изменчивость условий периода активной вегетации была минимальной. Первый контрастный период отмечался в 1980-е годы, когда условия изменялись от сухостепных до лесостепных, а максимальное разнообразие условий наблюдалось, начиная с 2006 г., когда происходил рост ГТК от 0,50 до 1,67 в 2009 г., то есть от сухостепных до избыточно влажных. Что касается изменения данного показателя по пятилетним отрезкам, то хорошо выделяется периоды, когда величина ГТК была

устойчиво ниже в разной степени средней величины в середине рассматриваемого временного отрезка (с 1971-1975 по 1996-2000 гг.), а также выше нее в первое рассматриваемое десятилетие, а также в XXI веке. Превышение ГТК в это время в условиях типичной степной зоны в целом свидетельствует об улучшении условий активной вегетации для произрастания озимой пшеницы.

Тенденции изменения температуры воздуха в период начала и разгара активной вегетации отличаются. Наиболее холодный апрель отмечался в первое рассматриваемое пятилетие, когда температура воздуха была ниже средней на 1,2℃; несколько ниже средней она была в 2006-2010 гг. (на 0,6℃). Наибольшее положительное отклонение отмечалось в 1996-2000 г. (+1,0℃). Что касается последних лет, то она была близка к норме. Майская температура в разной степени ниже нормы отмечалась с 1976-1980 гг. до 1991-1995 гг., при этом в последнее десятилетие она была ниже на 1,2℃. Положительное отклонения температуры отмечались как в начале, так и в конце рассматриваемого временного отрезка, а температура в это время поднималась незначительно – на 0,3-0,7℃. Что касается июньской температуры, начиная с 1996 г. отмечается ее в разной степени положительные отклонения, которые чаше всего были выше предшествующих периодов. Минимальные температуры июня были в 1991-1995 гг., когда температура опустилась на 4,5℃. В целом в последнее десятилетие отмечается устойчивое повышение температуры воздуха в мае и июне при ее близости к норме в апреле.

Отклонение осадков в апреле была максимальным в 2011-2015 гг., когда они увеличились на 22 мм, а также в 1986-1990 и 1991-1995 гг., когда они сократились на 15 и 10 мм соответственно. В остальные годы их отклонения от нормы были гораздо ниже, но при этом начиная с 2001-2005 гг. отмечается их положительно отклонение от нормы. Анализ изменения майских осадков показывает, что до начала XX века чаще отмечалась условия чаще всего с небольшим недостатком осадков: от 4 мм в 1991-1995 гг. до 15 мм в 1976-1980 гг. Наибольший дефицит майских осадков был в 2001-2005 гг. (23 мм), после чего их количество стабильно увеличивалось и достигла максимума в последнее пятилетие, когда прирост составил 41 мм. Июньские осадки изменяются в гораздо большем количестве по сравнению с апрелем и маем. Так, в 2001-2005 гг. их прирост составил 50 мм, или 68%. Перед этим на протяжении 15 лет отмечался их существенный дефицит. Что касается последних лет, то количество осадков в июне довольно близко к норме. В целом прирост осадков в апреле-мае, который отмечается на протяжении последних 15-лет, следует считать благоприятным фактором для произрастания озимой пшеницы, особенно в сочетании с увеличением температуры воздуха в этот же период.

Изменение количества осадков холодного периода, как в и других районах, характеризуется слабой связью с глобальным трендом изменения температуры. Так, в течение первых 15 лет в холодное время года количество осадков было близко норме. Первое существенное их сокращение отмечалось в 1976-1980 гг. (на 15 мм), а максимальное уменьшение произошло в 1996-2000 и 2001-2005 гг. (на 18 и 33 мм), при этом в последнее пятилетие осадков также выпало на 19 мм меньше нормы. Значительный прирост зимних осадков отмечался в 1991-1995 гг. (34 мм), а также в 2011-2015 гг. (23 мм). В целом, в Восточном Предкавказье, где условия немногим более засушливые по сравнению с Западным и Центральным, в XXI в. в течение всего периода активной вегетации климатические условия улучшились, как температура воздуха, так и количества выпадающих осадков, особенно в апреле и мае [10-12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что рост температуры воздуха в Предкавказье, который обусловлен глобальными климатическими процессами, осложняется разнонаправленными изменениями количества атмосферных осадков, которые в совокупности формируют условия тепло-, и влагообеспечения периода активной вегетации, от которых зависит продуктивность естественных растительных группировок и урожайность культурных растений. В целом, как показали наши исследования, величина гидротермического коэффициента на протяжении 1960-2020 гг. практически не изменяется, но испытывает существенные колебания от одного года к другому, при этом относительно хорошо выражены 2-3-летние однонаправленные изменения, а более длительные встречаются реже.

На фоне общего роста температуры воздуха отмечается его в разной степени рост во время начала и разгара активной вегетации, от которых при прочих равных условия значительно зависит урожайность озимой пшеницы. Так, в последние десятилетия во всех районах Предкавказья, специализирующихся на выращивании озимой пшеницы, отмечается общее улучшение условий периода активной вегетации. Оно выражается в том, что в Западном и Центральном Предкавказье, где ГТК=1,0 отмечается его некоторое снижение, тогда как в Восточном Предкавказье, где ГТК=0,9, наоборот, величины этого показателя незначительно возрастают. Схожие тенденции выявляются также в начале и разгаре периода активной вегетации. Они проявляются в том, что в последние 10-15 лет в это время отмечается рост средней температуры воздуха в апреле-июне, который сопровождается либо количеством осадков, близким к норме в Западном Предкавказье, либо их ростом, особенно в мае, в Центральном и Восточном. Эти факторы и их сочетание создают благоприятные природные условия и возможности при прочих равных условия (агротехника, агрохимия и т.п.) максимального сбора озимой пшеницы [13; 14].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена при поддержке гранта Минобрнауки (Соглашение от «10» декабря 2019 г. № 075-15-2019-1939. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI60719X0302).

ACKNOWLEDGMENT
This article was prepared with the support of a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement of "10" December 2019 N 075-15-2019-1939. Unique project ID RFMEFI60719X0302).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.
2.О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с.
3.О деятельности Росгидромета в 2018 году и задачах на 2019 год (итоговый доклад). Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2019. М.: Росгидромет. 63 с.
4.Темникова Н.С. Некоторые характеристики климата Северного Кавказа и прилежащих степей. Л., 1964. 175 с.
5.Заурбеков Ш.Ш., Джандубаева Т.З. Тенденции климатических изменений в степных ландшафтах Западного Предкавказья // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2014. N 3. С. 76-84.
6.Братков В.В., Атаев З.В. Оценка влияния современных климатических условий на природно-территориальные комплексы Северо-Восточного Кавказа (по материалам дистанционного зондирования Земли) // Мониторинг. Наука и технологии. 2017. N 2 (31). С. 6-14.
7.Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 3. Мониторинг и моделирование ландшафтов / под редакцией академика РАН В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. Т. 3. 352 с.
8.Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. М.: Издательство «Перо», 2019. 235 с.
9.Блюм И., Столбовой В.С. Оценка качества земель в Европе для устойчивой интенсификации сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. N 7. С. 11-13.
10. Клюшин П.В., Мурашева А.А., Широкова В.А., Хуторова А.О., Савинова С.В. Пути повышения эффективного использования сельскохозяйственных угодий на территории Северо-Кавказского федерального округа // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. N 1. С. 4-7.
11. Клюшин П.В., Братков В.В., Шаповалов Д.А., Савинова С.В., Мусаев М.Р. Состояние землепользования равнинных и предгорно-холмистых ландшафтов Северного Кавказа // Материалы Международного научно-практического форума, посвященного 240-летию со дня основания Государственного университета по землеустройству «Землеустроительное образование и наука: из XVIII в XXI век». Т.1. ГУЗ. М., 2019. С. 199-207.
12. Chasek P., Safriel U., Shikongo S., Fuhrman V.F. Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification? // Journal of Arid Environments. 2015. V. 112. Part A. P. 5-13. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.05.020
13. Shapovalov D., Klyushin P., Shirokova V., Khutorova A., Savinov S. Problems and efficiency of land use in the North Caucasian federal district // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, 02-08 July, 2018. V. 18. N 5.1. P. 667-674. DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.086
14. Приказ Минсельхоза России от 02.04.2018 N 130 «О вводе в эксплуатацию Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий».

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu»* [State report "On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018"]. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; RPE "Cadastre" Publ., 2019, 844 p. (In Russian)
2. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu. Gos-udarstvennyi doklad* [On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2019. State report]. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Moscow State University Publ., 2020, 1000 p. (In Russian)
3. *O deyatel'nosti Rosgidrometa v 2018 godu i zadachakh na 2019 god (itogovyi doklad)* [On the activities of Roshydromet in 2018 and the tasks for 2019 (final report)]. Moscow, Roshydromet Publ., 2019, 63 p. (In Russian)
4. Temnikova N.S. *Nekotorye kharakteristiki klimata Severnogo Kavkaza i prilezhashchikh stepei* [Some characteristics of the climate of the North Caucasus and adjacent steppes]. Leningrad, 1964, 175 p. (In Russian)
5. Zaurbekov Sh.Sh., Dzhandubaeva T.Z. Trends of the climate change in the steppe landscapes of the Western Ciscaucasia. Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki [Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences]. 2014, no. 3, pp. 76-84. (In Russian)
6. Bratkov V.V., Ataev Z.V. Evaluation of the influence of current climatic conditions on the natural territorial complexes of the North-Eastern Caucasus (based on the Earth's remote sensing data). Monitoring. Nauka i tekhnologii [Monitoring. Science and Technologies]. 2017. N 2 (31). pp. 6-14.
7. Sychev V.G., Muller L., eds. [New methods and results of landscape research in Europe, Central Asia and Siberia]. In: *Monitoring i modelirovanie landshaftov* [Monitoring and modeling of landscapes].Moscow, "Research Institute of Agrochemistry" Publ., 2018, vol. 3, 352 p. (In Russian)
8. *Degradatsiya zemel' i opustynivanie v Rossii: Noveishie podkhody k analizu problemy i poisku putei resheniya* [Land degradation and desertification in Russia: The latest approaches to the analysis of the problem and the search for solutions]. Moscow, Pero Publ., 2019, 235 p. (In Russian)

9. Blum W., Stolbovoy V.S. Assessment of land quality in Europe for sustainable intensification of agricultural. Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. 2016, vol. 30, no. 7, pp. 11-13. (In Russian)
10. Klyushin P.V., Murasheva A.A., Shirokova V.A., Khutorova A.O., Savinova S.V. Ways to increase the effective use of agricultural land on the territory of the North Caucasus Federal District. Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [International Agricultural Journal]. 2018, no. 1, pp. 4-7. (In Russian)
11. Klyushin P.V., Bratkov V.V., Shapovalov D.A., Savinova S.V., Musaev M.R. Sostoyanie zemlepol'zovaniya ravninnykh i predgorno-kholmistykh landshaftov Severnogo Kavkaza [The state of land use in plains and foothill-hilly landscapes of the North Caucasus]. *Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyashchennogo 240-letiyu so dnya osnovaniya Gosudarstvennogo universiteta po zemleustroistvu «Zemleustroitel'noe obrazovanie i nauka: iz XVIII v XXI vek», Moscow, 2019* [Materials of the International Scientific and Practical Forum dedicated to the 240th anniversary of the founding of the State University for Land Management "Land management education and science: from the 18th to the 21st century", Moscow, 2019]. Moscow, 2019, vol. 1, pp. 199-207. (In Russian)
12. Chasek P., Safriel U., Shikongo S., Fuhrman V.F. Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification? *Journal of Arid Environments*, 2015, vol. 112, part A, pp. 5-13. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.05.020
13. Shapovalov D., Klyushin P., Shirokova V., Khutorova A., Savinov S. Problems and efficiency of land use in the North Caucasian federal district. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*, 02-08 July, 2018, vol. 18, no. 5.1, pp. 667-674. DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.086
14. *Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 02.04.2018 N 130 «O vvode v ekspluatatsiyu Edinoi federal'noi informatsionnoi sistemy o zemlyakh sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya i zemlyakh, ispol'zuemykh ili predostavlennykh dlya vedeniya sel'skogo khozyaistva v sostave zemel' inykh kategorii»* [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 130 of 02.04.2018 "On the commissioning of the Unified Federal Information System on Agricultural Land and Land used or provided for agriculture as part of other categories of land"]. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей Н. Волков принимал участие в обработке данных и написании статьи. Светлана В. Савинова выполнила все полевые и лабораторные исследования. Елена В. Черкашина осуществляла статистическую обработку материала. Дмитрий А. Шаповалов участвовал в обработке и изготовлении графического материала статьи. Виталий В. Братков осуществил поиск исторических данных и литературный обзор. Павел В. Клюшин анализировал и интерпретировал результаты исследований, подготовил рукопись. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey N. Volkov participated in data processing and writing the article. Svetlana V. Savinova carried out all field and laboratory studies. Elena V. Cherkashina carried out statistical processing of the material. Dmitry A. Shapovalov participated in the processing and production of the graphic material of the article. Vitaly V. Bratkov carried out a search for historical data and a literary review. Pavel V. Klyushin analysed and interpreted the research results and prepared the manuscript. All authors 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

Сергей Н. Волков / Sergey N. Volkov https://orcid.org/0000-0002-0931-065X
Светлана В. Савинова / Svetlana V. Savinova https://orcid.rg/0000-0003-4433-2528
Елена В. Черкашина / Elena V. Cherkashina https://orcid.org/0000-0002-1371-7778
Дмитрий А. Шаповалов / Dmitry A. Shapovalov https://orcid.org/0000-0001-8268-911X
Виталий В. Братков / Vitaly V. Bratkov https://orcid.org/0000-0001-5072-1859
Павел В. Клюшин / Pavel V. Klyushin https://orcid.org/0000-0002-4221-036X

Оригинальная статья / Original article
УДК 591.5/636.3
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-128-137

Двигательная активность овец на пастбище в условиях Восточной Сибири

Тимур Н. Хамируев, Бадма З. Базарон, Иван В. Волков, Солбон М. Дашинимаев, Валерий Г. Черных
Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Чита, Россия

Контактное лицо
Тимур Н. Хамируев, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории разведения и селекции животных, Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири, филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН; 672010 Россия, г. Чита, ул. Кирова, 49.
Тел. +79245076547
Email tnik0979@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0147-2929

Формат цитирования
Хамируев Т.Н., Базарон Б.З., Волков И.В., Дашинимаев С.М., Черных В.Г. Двигательная активность овец на пастбище в условиях Восточной Сибири // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 128-137. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-128-137

Получена 3 марта 2020 г.
Прошла рецензирование 25 июня 2020 г.
Принята 21 июля 2020 г.

Цель. Изучить двигательную активность овец забайкальской и агинской пород при круглогодовом пастбищном содержании в зависимости от сезона года.
Материал и методы. Исследования проведены в степной зоне Агинского района Забайкальского края. В исследованиях были использованы GPS-приемники GarmineTrex 20x, с помощью которых изучены двигательная активность, скорость передвижения овец на пастбище.
Результаты. Среднесуточная температура воздуха в зимний период составила -23,3°С, скорость движения воздуха – 1,3 м/с и относительная влажность воздуха – 67,3%, в весенний – 13,7°С; 4,1 м/с и 35,6%, в летний – 20,9°С; 1,6 м/с и 77,3% и осенний период – 1,1°С ниже нуля, 2,4 м/с и 50,1%. Установлено, что подопытные овцы на пастбище, в зависимости от сезона года и происхождения, проходят различное расстояние с разной скоростью передвижения. Наибольшее расстояние ими было пройдено в зимний период с большей средней скоростью передвижения, меньшее – в летний. При этом отмечено, что полугрубошерстные овцы в зимний период за 8-часовой период выпаса прошли 12378 м, что больше чем тонкорунные на 24,9% (P<0,01), в весенний – 8168 м (на 22,3%, P<0,05), летний – 6511 м (на 24,5%, P<0,01) и осенний – 9214 м (на 40,3%). Средняя скорость передвижения у них была выше на 80,0% (P<0,05), 25,0; 9,1 и 23,1% (P<0,05), соответственно. Питательная ценность 1 кг сухого вещества пастбищного травостоя была выше в летний период и составляла 0,68 к.ед. при содержании на 1 к.ед. 93,1 г переваримого протеина.
Заключение. Проведенные исследования позволяют заключить, что двигательная активность и скорость передвижения овец на пастбище напрямую зависит от сезона года и питательности пастбищной травы, а также направления продуктивности.

Ключевые слова
Овцы, двигательная активность, пастбище, сезон года, химический состав травы, температура воздуха, скорость движения воздуха, относительная влажность воздуха.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Motor activity of sheep on pasture in the conditions of Eastern Siberia, Russia

Timur N. Khamiruev, Badma Z. Bazaron, Ivan V. Volkov, Solbon M. Dashinimaev and Valeriy G. Chernykh
Veterinary Research Institute, East Siberian Branch, Siberian Federal Scientific Centre for Agricultural Biotechnology, Russian Academy of Sciences, Chita, Russia

Principal contact
Timur N. Khamiruev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Animal Breeding and Selection Laboratory, Eastern Siberia Research Institute of Veterinary Medicine, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology, Russian Academy of Sciences; 49 Kirova St, Chita, Russia 672010.
Tel. +79245076547
Email tnik0979@mail.ru
ORCIDhttps://orcid.org/0000-0002-0147-2929

How to cite this article
Khamiruev T.N., Bazaron B.Z., Volkov I.V., Dashinimaev S.M., Chernykh V.G. Motor activity of sheep on pasture in the conditions of Eastern Siberia, Russia. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 128-137. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-128-137

Received 3 March 2020
Revised 25 June 2020
Accepted 21 July 2020

Abstract
Aim. To study the motor activity of sheep of the Zabaykal **(**Transbaikal) and Agin breeds in year-round grazing in relation to the season of the year.
Material and Methods. The research was carried out in the steppe zone of the Aginsky District of Zabaykalsky Territory. Garmin eTrex 20x GPS receivers were used in the research with the help of which motor activity and the speed of sheep in pasture were monitored. Weather conditions were taken into account for the relevant research periods using data from the meteorological service.
Results. Average daily air temperature in winter was – 23.30°C, air velocity 1.3 m/s and relative air humidity 67.3%, and in spring was 13.70°C; 4.1 m/s and 35.6%, in summer – 20.90°C; 1.6 m/s and 77.3% and in autumn – 1.10°C below zero, 2.4 m/s and 50.1%. It was found that the sheep being monitored travelled different distances with different speeds of movement depending on the season of the year and origin. They travelled the greatest distance in winter with a higher average speed of movement and a shorter distance in the summer. At the same time, it was noted that semi-coarse-wooled (Agin) sheep passed 12378 m during the 8-hour grazing period, which is 24.9% more than fine-wooled (Zabaykal) sheep ($P<0.01$), in spring – 8,168 m (22.3% more, $P<0.05$), summer – 6,511 m (24.5% more, $P<0.01$) and autumn – 9,214 m (40.3% more). The average speed of movement of semi-coarse-wooled sheep was higher than fine-wooled by 80.0% ($P<0.05$), 25.0, 9.1 and 23.1% ($P<0.05$), respectively. The nutritional value of 1 kg of dry matter of pasture grass was higher in the summer and amounted to 0.68 units with a content of 1 unit 93.1 g of digestible protein.
Conclusion. The research data allow us to conclude that the motor activity and the speed of movement of sheep in pasture directly depends on the season of the year and the nutritional value of pasture grass, as well as on type of breed.

Key Words
Sheep, motor activity, pasture, season of the year, grass chemical composition, air temperature, air velocity, relative air humidity.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Существование овец в суровых условиях Забайкалья сказалось на их поведенческих особенностях при пастьбе. Отмечено, что у всех травоядных животных, стадных в особенности, в процессе длительной эволюции выработался инстинкт «сохранения» пастбищного корма. Они постоянно перемещаются на пастбище, не поедая всю траву на одном месте.

На пастбищную активность жвачных оказывают влияние различные факторы: кормовые особенности пастбищной растительности, физиологическое состояние животных [1], условия окружающей среды. Высокопродуктивные животные больше времени затрачивают на отдых и жвачку [2].

В настоящее время климатические изменения характеризуются маловодной фазой и сухим климатом. По данным [3] в среднем количество осадков на территории края за последние 50-60 лет уменьшилось на 45 мм, усилилась неравномерность внутригодового распределения осадков.

При этом 90-98% мелких рек и озер, которые являются важнейшим условием развития пастбищных экосистем [4], в засушливую фазу климатического цикла пересыхают на 100% [5].

Изменения климата могут привести к увеличению теплового напряжения из-за изменений баланса тепловой энергии между животным и средой обитания, на которые влияют характеристики окружающей среды (температура, относительная влажность и скорость ветра) и теплообмен [6]. Любые изменения в этих факторах могут изменить термонейтральную зону и вызвать изменения в биологических функциях овец, включая снижение потребления и использования пищи [7]. По мнению [8] такие факторы, как вид животных, их упитанность, направление продуктивности, темперамент и пол влияют на реакцию на тепловой стресс.

Кроме того, считается, что активность животных на естественных пастбищах зависит от температуры воздуха [9; 10]. При постоянном воздействии высоких температур окружающей среды у баранов-производителей повышается риск нарушения их воспроизводительной способности [11], что может привести к бесплодию [12; 13]. Чем ниже температура воздуха, тем активность животных идет более интенсивно [14].

Для оценки двигательной активности животных необходимо учитывать четыре относительно независимых составляющих элементов поведения: эмоциональность, двигательно-поисковую активность, обонятельные характеристики животного, устойчивость к неблагоприятным эмоциональным воздействиям [15].

Цель исследований – изучить двигательную активность овец хангильского типа забайкальской породы и зугалайского типа агинской породы при круглогодовом пастбищном содержании в зависимости от сезона года.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научно-исследовательская работа проводилась в агрокооперативе «Цокто-Хангил» Агинского района Забайкальского края по периодам года, а также в лабораториях НИИВ Восточной Сибири – филиал СФНЦА РАН и ФГБУ «Станция агрохимической службы «Читинская».

Материал исследований – клинически здоровые тонкорунные овцы хангильского типа забайкальской породы (ХЗТ/НТВ) и полугрубошерстные овцы зугалайского типаагинской породы (ЗАГ/ZAB), выращиваемые по технологии круглогодового пастбищного содержания.

В исследованиях были использованы GPS-приемники Garmin eTrex 20x (s/n 470173519; 470173534), которые были закреплены в утреннее время в течение 3 смежных дней на полновозрастных овцематках на время пастьбы в зависимости от сезона года (весной – середина мая, летом – середина июля, осенью – середина октября и зимой – середина января). В летний период исследования проводили на неостриженных особях.

Изучаемые показатели:

1.длительность маршрута;

2.средняя скорость передвижения по маршруту;

3.элементы поведения на пастбище.

Этологические особенности овцематок селекционных достижений изучались методом визуальных хронометрических наблюдений по методике В.И. Великжанина (2004). На основании полученных результатов были рассчитаны индекс пищевой активности (ИПА) и индекс двигательной активности (ИДА) по методике И.И. Нечаева, М.К. Нурушева (1984):

ИПА = время кормления + время жвачки / время пастьбы;

ИДА = время стояния + жвачка лежа / время пастьбы.

Были учтены температурно-влажностный режим и скорость движения воздуха по данным метеорологической службы утром, днем и вечером, в зимнее время – высота снежного покрова.

По маршруту отобраны образцы пастбищной травы для определения химического и ботанического состава. Ботанический состав растений пастбища определяли по общепринятой методике маршрутных наблюдений и сбора гербария основных доминантов и содоминантов с использованием определителя [16]. Питательная ценность пастбищной травы определена в ФГБУ «Агрохимическая лаборатория Читинская» по общепринятой методике.

Обработка полученных материалов проведена с помощью программ Sports Analyzer, Google Earth и программного обеспечения Microsoft.

Данные обрабатывали в программе Microsoft Excel 2010 и выражали в виде средней арифметической и ее стандартной ошибки. Уровень значимости различий между группами определяли с помощью t-критерия Стьюдента, корреляцию фенотипических признаков по [17].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОСУЖДЕНИЕ

Влияние экологических факторов (излучение, температура, относительная влажность и скорость движения воздуха) и теплообмен (теплопроводность, конвекция и испарение) могут привести к увеличению

теплового стресса овец в связи с изменением теплового энергетического баланса между животным и окружающей средой [6].

Средняя температура воздуха в весенний период в утреннее время составила 4,6±2,72°С, в дневное – 12,7±3,18 и в вечернее – 12,3±0,33°С; в летний – 16,0±0,58, 24,7±1,73 и 23,7±0,88°С выше нуля; осенью в утреннее время отмечена отрицательная температура равная -6,3±0,88, а в дневное и вечернее положительная, составляющая 2,3±1,33 и 0,7±1,20°С и в зимний период – 26,3±0,33, 22,7±0,33 и 21,0±0,58°С ниже нуля соответственно. Наибольшие перепады температуры воздуха в течение суток отмечены в летний период, разница между наивысшим и наименьшим показателями дневной и утренней температуры составила 8,7°С. При повышенной температуре воздуха активность дневной пастьбы животных снижается [18; 19].

Овцы, подобно всем млекопитающим, имеют свою зону термонейтральности. А.А. Покотило и В.И. Коноплев сообщают, что для остриженных животных оптимальной является температура окружающей среды равная 24-27°С, которая на 14-17°С выше, чем таковая у овец в шерсти, т.е. для неостриженных овец комфортной температурой считается 10°С выше нуля [20].

Исследованиями Ж.А. Карабаева установлено, что при снижении температуры внешней среды до 15°С ниже нуля и более, регуляция теплопродукции у остриженных овец затрудняется, и температура их тела понижается до 35°С [21]. В свою очередь И.И. Дмитрик и Г.В. Завгородняя [22], О.В. Пономаренко и др. считают, что при коротком шерстном покрове холод оказывает стимулирующее влияние на рост шерсти [23].

Повышенная влажность воздуха в зимнее и летнее время усугубляет отрицательное влияние низких и высоких температур на организм овец. При этом затрудняются процессы терморегуляции.

Относительная влажность воздуха в течение дня (время пастьбы) в летнее время выше в сравнении с другими сезонами года, тогда как весенний период отличается наименьшими показателями. Кроме того, из полученных данных следует, что изучаемый показатель свой максимум имеет в утреннее время и к вечеру постепенно снижается во все периоды. Отметим, что в зимний период данный показатель более стабилен в течение дня. Так, разница между показателем в утреннее и вечернее время составляет 8,3%, тогда как весной она равна 41,3%, весной – 41,0 и летом – 28,0%.

Максимальный показатель скорости движения воздуха отмечен в весенний период и составила в утреннее время 2,6 м/с, в дневное – 4,2 и в вечернее – 5,6 м/с. Наименьшая скорость ветра выявлена в зимний период (1,2-1,9 м/с).

А.А. Подкорытов и др., на основании мониторинга природно-климатических условий, установил оптимальные сроки стрижки и окота овец с использованием помещений для укрытия в неблагоприятную погоду: среднесуточная температура внешней среды должна составлять 4,5°С, влажность воздуха – 60% и скорость движения воздуха – 1,5 м/с [24].

На рисунках 1 и 2 представлены результаты изучения двигательной активности овец при круглогодовом пастбищном содержании по сезонам года.

Длительность пастьбы овец по сезонам года была различной и зависела от продолжительности светового дня. Так, в весенний и летний периоды она составила 14 часов, в осенний – 10 и в зимний период – 8 часов.

За весенний период тонкорунные особи на пастбище прошли в среднем 6691±370,0 м, при этом средняя скорость их передвижения составила 0,5±0,09 км/час; в летний период – 5231±187,5 м и 0,4±0,07 км/ч; в осенний – 8761±230,5 м и 1,1±0,14 км/ч и в зимний период, при средней высоте снежного покрова равной 2,8±0,11 см – 9914±288,8 м и 1,3±0,06 км/ч.

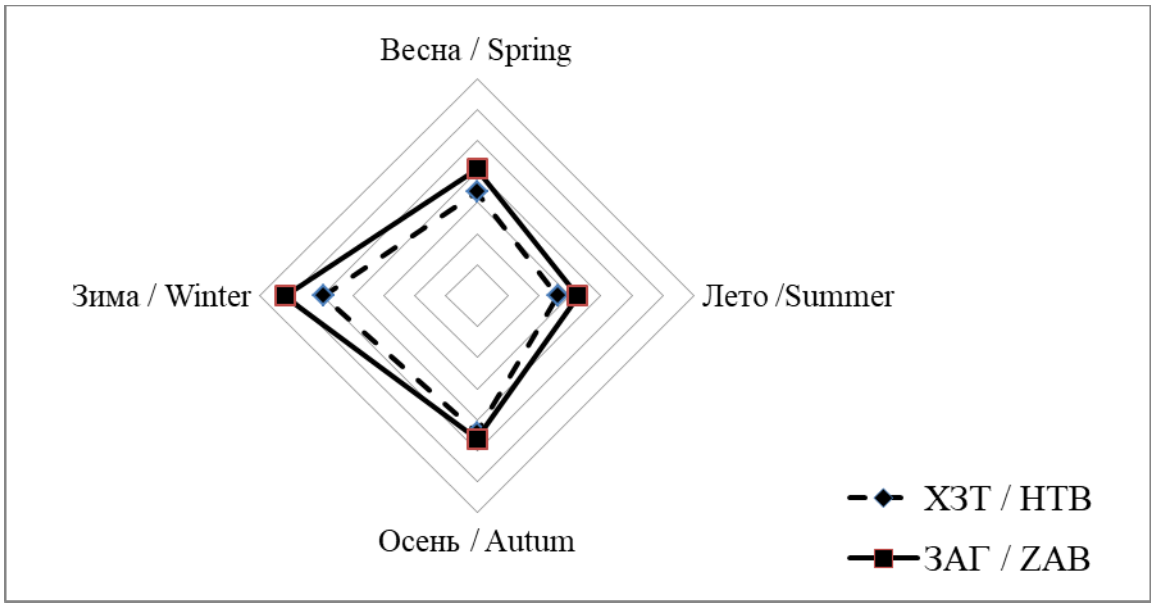


Рисунок 1. Пройденное расстояние, м
Figure 1. Distance traveled in m

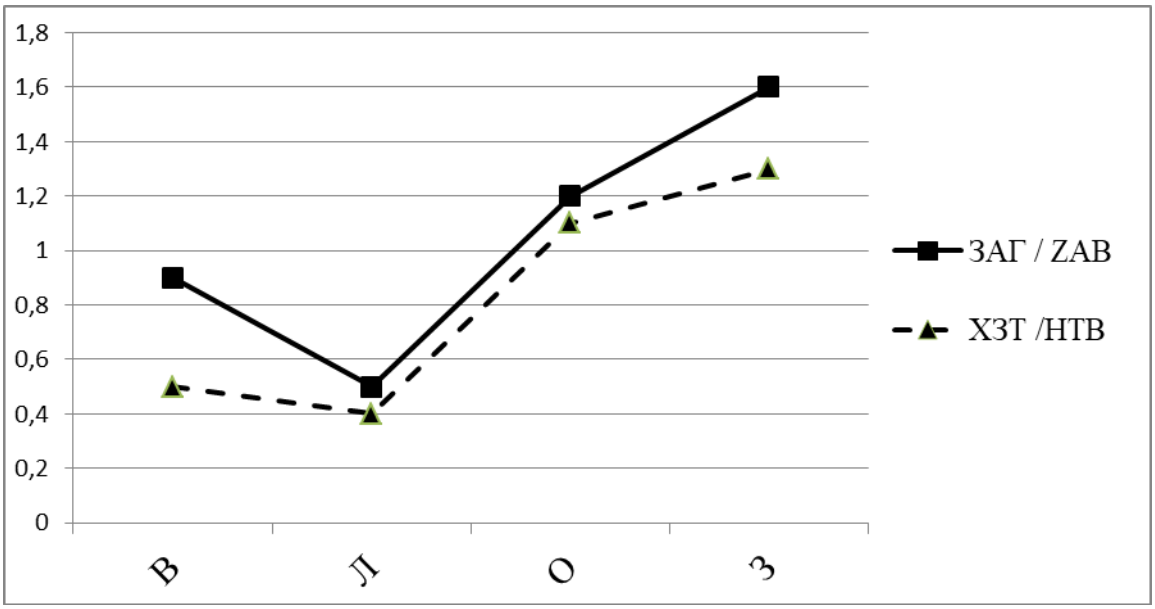


Рисунок 2. Скорость передвижения овец на пастбище, км/ч
Figure 2. Speed of movement of sheep in pasture, km/h

Полугрубошерстные аналоги на пастбище проявили большую двигательную активность и в весенний период покрыли расстояние равное 8168±411,4 м при средней скорости равной 0,9±0,08 км/час; в летний – 6511±112,9 м и 0,5±0,14 км/ч; в осенний – 9114±258,6 м и 1,2±0,09 км/ч и в зимний – 12378±324,9 м и 1,6±0,06 км/ч.

По нашим наблюдениям, особенностью поведенческих актов овец агинской породы является то, что они большую часть времени нахождения на пастбище используют на передвижение и поедание корма. Так, весной за период пастьбы они передвигались на 22,3% (P<0,05) больше, чем тонкорунные, летом – на 24,5% (P<0,01), осенью – на 40,3% (P>0,05) и зимой – на 24,9% (P<0,01) при средней скорости, превышающей особей забайкальской породы на 80,0% (P<0,05), 25,0% (P>0,05), 9,1% (P>0,05) и 23,1% (P<0,05) соответственно.

Для сбора кормов овцы способны в сутки проходить до 15-25 км [25]. Двигательная активность на пастбище аборигенных бурятских овец в сравнении с тонкорунными заметно отличается, скорость движения по пастбищу в весенне-летний период у них составила 37,6 м/мин или 2,3 км/ч, а у тонкорунных – 1,6 км/ч [26]. Грубошерстные овцы отличаются от тонкорунных особей более высокой двигательной активностью, затрачивая на передвижение на 17,8% больше времени [19].

На двигательную активность тонкорунных особей в некоторой степени может влиять тонина шерсти. Так овцематки с более тонкой шерстью больше времени затрачивают на прием корма и воды, и меньше – на движение [27]. Меньшая двигательная активность положительно влияет на среднесуточные приросты молодняка [28]. При этом двигательная активность животных на пастбище зависит от времени суток, которая наиболее выражена в прохладное время суток – утром и вечером [29].

Поведение животного сложно оценить методом количественного анализа, поэтому основным методом изучения является метод хронометража.

Кормовое поведение маток с приплодом оценивали в первой декаде июня, под учет были взяты основные акты животных за 14-часовой период нахождения на пастбище: двигательная активность, продолжительность приема корма, время отдыха стоя, лежа, время кормления ягнят и другие элементы поведения (табл. 1).

Таблица 1. Поведение маток на пастбище, %
Table 1. Behavior of the queen in pasture, %

Элемент поведения Behaviorial element	**ХЗТ** / HTB, **(n=5)**	**ЗАГ** / ZAB, **(n=5)**
Двигаются/ Moving	6,7±0,32	7,2±0,21
Двигаются и едят / Moving and eating	68,0±1,97*	76,7±2,03
Кормят ягнят / Lambs fed	1,9±0,10	1,5±0,08
Отдых лежа / Lying down	14,2±0,68	7,9±0,31**
Отдых стоя / Rest standing	8,7±0,22	6,3±0,24**
Другие акты / Other activities	0,5±0,04	0,4±0,02
Итого / Total	100,0	100,0

*Примечание: * – P<0,05; ** – P<0,01*
*Note: * – P <0.05; ** – P <0.01*

Анализ представленных данных свидетельствует, что наибольший удельный вес бюджета времени пастьбы подопытные овцы потратили на движение и прием корма, при этом полугрубошерстные особи затратили на 8,7 абс.% больше времени в сравнении тонкорунными аналогами (P<0,05). Это косвенно может свидетельствовать о достаточно высокой выносливости созданных генотипов, способных в поисках корма длительное время находиться в движении.

На отдых лежа и стоя у тонкорунных овец хангильского типа ушло 22,9%, а у аналогов зугалайского типа – на 8,7 абс.% меньше (P<0,01).

Изучение основных форм поведения овцематок проводили использованием индексов функциональной активности, таких как индекс двигательной и пищевой активности (рис. 3).

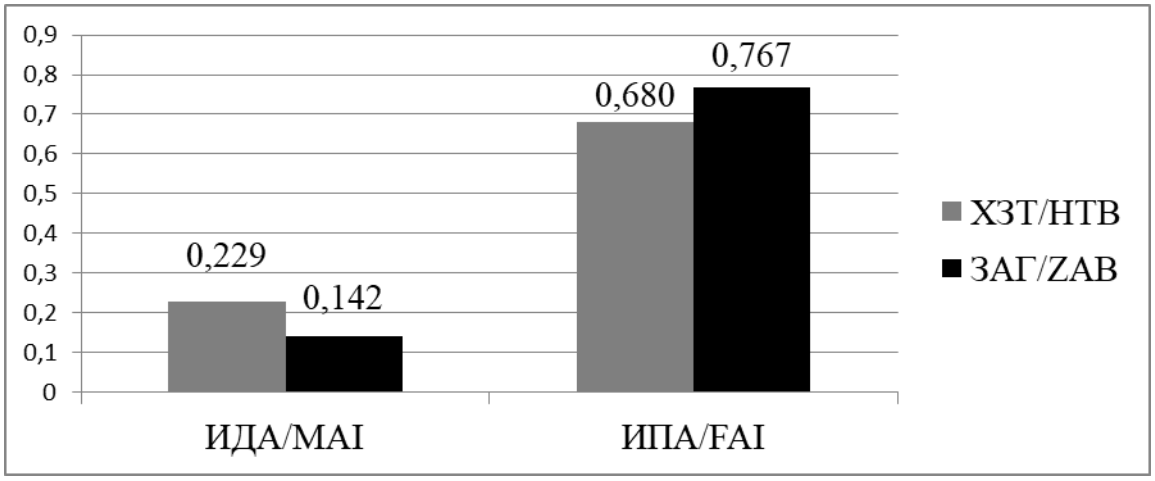


Рисунок 3. Показатели индексов функциональной активности
Figure 3. Indicators of functional activity indices

Анализ показателей функциональной активности свидетельствуют, что более активными на пастбище в двигательном и пищевом отношении оказались полугрубошерстные особи агинской породы зугалайского типа. Так индекс двигательной активности, в расчете которого использовали время, затраченное на отдых стоя и отдых лежа, относительно времени пастьбы, у них был ниже на 0,087 ед.

Низкая температура воздуха активизирует животных к более интенсивному поеданию корма и перемещениям, при положительных температурах они больше времени затрачивают на отдых [14].

В таблице 2 представлена взаимосвязь между показателями двигательной активности и факторами среды у исследуемых генотипов.

Таблица 2. Взаимосвязь между показателями двигательной активности и факторами среды
Table 2. The relationship between indicators of physical activity and environmental factors

Показатель Indicator	**Сезон года** Season of the year	**Температура воздуха** Air temperature		**Относительная влажность воздуха** Relative humidity		**Скорость движения воздуха** Airspeed	
		ХЗТ/HTB	ЗАГ/ZAB	ХЗТ/HTB	ЗАГ/ZAB	ХЗТ/HTB	ЗАГ/ZAB
Пройденное расстояние Distance travelled	Весна Spring	-0,042	0,926	-0,738	0,920	0,500	-0,996
	Лето Summer	0,734	-0,118	-0,920	-0,223	-0,279	-0,941
	Осень Autumn	0,000	0,884	-0,615	-0,410	0,771	-0,923
	Зима Winter	0,870	0,987	0,116	-0,236	-0,277	-0,593
Скорость движения Movement speed	Весна Spring	-0,230	0,930	-0,852	0,396	0,655	-0,655
	Лето Summer	-0,765	0,866	0,504	-0,984	-0,918	-0,060
	Осень Autumn	0,167	0,817	-0,738	-0,291	0,655	-0,964
	Зима Winter	0,939	0,948	-0,681	-0,074	-0,911	-0,454

У полугрубошерстных особей выявлена положительная и на высоком уровне взаимосвязь пройденного расстояния и скорости передвижения с температурой окружающей среды и отрицательная со скоростью

движения воздуха во все сезоны года. Тогда как у тонкорунных овец тесная корреляция указанных показателей отмечена в зимний период, что может быть связано с терморегуляцией организма животных и скудными кормовыми условиями.

В связи с возрастающим антропогенным влиянием увеличивается доля пастбищ со сниженной флористической насыщенностью, низкой продуктивностью, с преобладанием сообществ упрощенного состава и структуры.

Территория пастбища выпаса подопытных овец относится к ковыльно-типчаково-пятилистниковому сообществу. Пастбищная трава имеет сравнительно равномерный, высокий, достаточно густой зеленовато-соломенный травостой высотой от 10 до 80 см. На 1м^2 травостоя нами обнаружено 11 видов различных трав. В состав сообщества входят разнотравье – 68%, злаки – 31% и бобовые – менее 1%.

Из 11 видов пастбищных трав только 6 имеют кормовое значение. При этом подопытными овцами поедались все виды трав.

По маршруту следования овец были отобраны смешанные образцы пастбищной травы для исследований.

Анализ химического состава пастбищной растительности указывает на различную питательность травы в зависимости от сезона года. Так, содержание кормовых единиц в одном килограмме сухого вещества снизилось с 0,68 (питательность травостоя в летний период) до 0,41 в весенний период.

На одну кормовую единицу приходится 93,1; 61,7; 46,8; 25,9 г переваримого протеина, при этом максимум его содержания приходится на летний травостой, минимум – на весенний.

Необходимо обратить внимание на соотношение кальция к фосфору, которое в норме должно быть 1,25-1,5:1 в зависимости от физиологического состояния овец. В наших исследованиях это соотношение было выше нормы от 4,4 (в летний период) до 19 раз (весной) из-за низкого содержания фосфора. Отметим отсутствие каротина в образцах пастбищной травы в зимне-весенний период, так как под действием света и других факторов он окисляется и разрушается.

Одними из основных факторов, определяющих активность животного на пастбище в течение суток, являются обилие, питательная ценность и доступность кормовых ресурсов [7]. Характер двигательной активности овец зависит не только от состояния пастбищ, но и от температуры и скорости движения воздуха, освещенности, размера и структуры стада [19].

Сочетание факторов окружающей среды (повышенная температура воздуха и кормовые ресурсы) определяет поведенческую реакцию пасущихся животных [30], что подтверждается исследованиями [31]. Установлено, что двигательная активность бизонов на пастбище в летний период составила 59,2%, в зимний – 55,0%, что связано, прежде всего, с температурой окружающей среды и питанием готовыми кормами в холодное время года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшее расстояние подопытные особи прошли в зимний самый короткий период пастьбы, который составлял 8 часов, при этом полугрубошерстные овцы покрыли расстояние в 12378 м, а тонкорунные – 9914 м, при средней скорости передвижения равной 1,6 и 1,3 км/ч. Среднесуточная температура воздуха составила 23,3°С ниже нуля, скорость движения воздуха – 1,3 м/с и относительная влажность воздуха – 67,3 процентов. Питательная ценность одного килограмма пастбищного травостоя в этот период в кормовых единицах составила 0,44, при содержании переваримого протеина на 1 к.ед. равном 46,8 граммов.

Установлена положительная взаимосвязь пройденного расстояния и скорости передвижения с температурой воздуха и отрицательная со скоростью его движения во все сезоны года. Тогда как у тонкорунных аналогов тесная корреляция указанных показателей отмечена в зимний период, что может быть связано с терморегуляторной способностью организма животных и скудными кормовыми условиями.

В летний период подопытные овцы при большем времени выпаса на пастбище покрыли меньшее расстояние с меньшей скоростью передвижения, в сравнении с показателем в зимнее время. По-нашему мнению это связано высокой температурой внешней среды и достаточным количеством питательной пастбищной травы. Более активными на пастбище в двигательном и пищевом отношении оказались полугрубошерстные особи агинской породы, при этом они затратили на 8,7 абс.% больше времени на движение и прием корма в сравнении с тонкорунными аналогами.

Таким образом, нами установлено, что двигательная активность и скорость передвижения овец на пастбище напрямую зависит от сезона года и питательности пастбищной травы, а также от направления продуктивности животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙСПИСОК

1.Ермоленко Е.И., Абдурасулова И.Н., Котылева М.П., Свиридо Д.А., Мацулевич А.В., Карасева А.Б., Тарасова Е.А., Сизов В.В., Суворов А.Н. Влияние индигенных энтерококков на микробиоту кишечника и поведение крыс при коррекции экспериментального дисбиоза // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2017. Т. 103. N 1. С. 22-37.

2.Филинская О.В. Этологическая оценка коров разного класса активности // Материалы конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения», Ульяновск, 2018. С. 398-401.

3.Обязов В.А. Изменения климата в междуречье Аргуни и Онона в контексте глобального потепления // Вестник Читинского государственного университета. 2011. N 7. С. 78-85.

4.Sala O.E., Yahdjian L., Havstad K., Aguiar M.R. Rangeland Ecosystem Services: Nature's Supply and Humans' Demand // Rangeland Systems. Springer Series on Environmental Management. Springer, Cham. 2017. P. 467-489. DOI: 10.1007/978-3-319-46709-2_14

5.Кирилюк В.Е., Ткачук Т.Е., Кирилюк О.К. Влияние изменений климата на местообитания и биоту в Даурии // Науч. тр. Гос. природного биосферного заповедника Даурский, Чита, 2012. С. 46-62.
6.Sirohi S., Michaelowa A. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change // Climatic Change. 2007. N 85. P. 285-298. DOI: 10.1007/s10584-007-9241-8
7.Marai I.F.M., El-Darawany A.A., Abou-Fandoud E.I., Abdel-Hafez M.A.M. Serum blood components during pre-oestrus, oestrus and pregnancy phases in Egyptian Suffolk ewes as affected by heat stress: under the conditions of Egypt // J. Sheep Goats Desert Anim. Sci. 2006. V. 1. Iss. 1. P. 47-62. DOI: 10.21608/EJSGS.2006.28074
8.Scholtz M.M., McManus C., Leeuw K.-J., Louvandini H., Seixas L., Melo C.B., Theunissen A., Neser F.W.C. The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere // Natural Science. 2013. V. 5. N 1A. P. 106-119. DOI: 10.4236/ns.2013.51A017
9.Абатуров Б.Д., Ларионов, К.О., Колесников, М.П., Никонова, О.А. Состояние и обеспеченность сайгаков (*Saiga tatarica*) кормом на пастбищах с растительностью разных типов // Зоологический журнал. 2005. N 3. С. 377-390.
10. du Toit J.T., Yetman C.A. Effects of body size on the diurnal activity budgets of African browsing ruminants // Oecologia. 2005. N 143. P. 317-325. DOI: 10.1007/s00442-004-1789-7
11. Rasooli A., TahaJalali M., Nouri M., Mohammadian B., Barati F. Effects of chronic heat stress on testicular structures, serum testosterone and cortisol concentrations in developing lambs // Animal Reproduction Science. 2010. V. 117. Iss. 1-2. P. 55-59. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2009.03.012
12. Garcia A.R. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais // Rev. Bras. Reprod. Anim., Belo Horizonte. 2013. V. 37. N 2. P. 121-130.
13. Marai I.F.M., El-Darawany A.A., Fadiel A., Abdel-Hafez M.A.M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep – a review // Small Ruminant Research. 2007. V. 71. Iss. 1-3. P. 1-12. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2006.10.003
14. Ильин А.Н., Хомподоева У.В., Иванов Р.В. Двигательная активность молодняка до года лошадей якутской породы в условиях зимнего стационарного содержания // Коневодство и конный спорт. 2018. N 3. С. 25-26. DOI: 10.25727/HS.2018.3.19811
15. Мельников А.В., Куликов М.А., Новикова М.Р., Шарова Е.В.. Выбор показателей поведенческих тестов для оценки типологических особенностей поведения крыс // Журнал Высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2004. Т. 54. N 5. С. 712-717.
16. Корсун О.В. Полевой атлас видового разнообразия Забайкалья: Каталог. Чита, 2006. 272 с.
17. Яковенко А.М., Антоненко Т.И., Селионова М.И. Биометрические методы анализа качественных и количественных признаков в зоотехнии: учебное пособие. Ставрополь: АГРУС, 2013. 91 с.
18. Ларионов К.О., Никонова О.А., Абатуров Б.Д. Суточная активность сайгаков и овец на полупустынном пастбище в северном Прикаспии // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. N 5. С. 111-120.
19. Доржиев Ц.З., Прозоровский В.М., Баатартуяа Д. Некоторые этологические особенности овец пастбищного содержания // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2013. N 4. С. 96-99.
20. Покотило А.А., Коноплев А.А. Влияние стрижки молодняка овец в раннем возрасте на формирование шерстной продуктивности // Материалы конференции «Актуальные проблемы повышения продуктивности и охраны здоровья животных», Ставрополь, 2006. С. 75-80.
21. Карабаев Ж.А. Опыт акклиматизации и адаптации овец в Казахстане // Аграрная Наука. 2003. N 2. P. 26.
22. Дмитрик И.И., Завгородняя Г.В. Гистоструктура и свойства шерсти у баранчиков ставропольской породы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2001. N 3. С. 39-41.
23. Пономаренко О.В., Чернобай Е.Н., Гузенко В.И. Продуктивные качества молодняка, полученного от маток, подвергшихся предродовой стрижке // Зоотехния. 2015. N 2. С. 27-28.
24. Подкорытов А.А., Рядинская Н.И., Владимиров Н.И. Влияние стрижки поярка на гистоструктуру кожи овец прикатунского типа горноалтайской породы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2011. N 1. С. 44-46.
25. Юсупов С.Ю., Бобокулов Н.А. Состояние и перспективы развития каракулеводства в Узбекистане // Овцы, козы, шерстяное дело. 2013. N 2. С. 98-100.
26. Тайшин В.А., Лхасаранов Б.Б. Аборигенная бурятская овца. Улан-Удэ, 1997. 123 с.
27. Цымбалова Н.В. Особенности поведения тонкорунных маток с разной тониной шерсти // Науч. тр. Ставропольского НИИЖК. Ставрополь. 2003. N 1. С. 96-99.
28. Амерханов Х.А., Макаев Ш.А., Тайгузин Р.Ш., Сарбаев М.Г., Картекенов К.Ш. Этологическая реактивность линейных бычков казахского белоголового скота // Вестник мясного скотоводства. 2013. N 4. С. 27-31.
29. Щукина И. Активность мясного скота в разное время суток // Материалы конференции «Современная наука – агропромышленному производству», Тюмень, 2014. С. 155-157.
30. Owen-Smith N. How high ambient temperature affects the daily activity and foraging time of a subtropical ungulate, the greater kudu (*Tragelaphus streptoceros*) // Journal of Zoology. 1998. V. 246. Iss. 2. P. 183-192. DOI: 10.1111/j.1469-7998.1998.tb00147.x
31. Сафронов В.М., Сметанин Р.Н., Степанова В.В. Интродукция лесного бизона (Bison bison athabascae Rhoads, 1897) в Центральной Якутии // Российский журнал биологических инвазий. 2011. Т. 4. N 4. С. 50-71.

REFERENCES

1. Ermolenko E.I., Abdurasulova I.N., Kotyleva M.P., Svirido D.A., Matsulevich A.V., Karaseva A.B., Tarasova E.A., Sizov V.V., Suvorov A.N. Effect of indigenous enterococci on intestinal microbiota and behavior of rats during experimental dysbiosis correction. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova* [Russian Physiological Journal. THEM.Sechenov]. 2017, no. 103-1, pp. 22-37. (In Russian)
2. Filinskaya O.V. Etologicheskaya otsenka korov raznogo klassa aktivnosti [Ethological evaluation of cows of different classes of activity]. *Materialy konferentsii «Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya», Ul'yanovsk,*

2018 [Materials of the conference "Agricultural science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions", Ulyanovsk, 2018], Ulyanovsk, 2018, pp. 398-401. (In Russian)
3. Obyazov V.A. Climate changes between the rivers Argun and Onon in the context of global warming. Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Chita State University]. 2011, no. 7, pp. 78-85. (In Russian)
4. Sala O.E., Yahdjian L., Havstad K., Aguiar M.R. Rangeland Ecosystem Services: Nature's Supply and Humans 'Demand. *Rangeland Systems*, Springer Series on Environmental Management. Springer, Cham. 2017, pp. 467-489. DOI: 10.1007/978-3-319-46709-2_14
5. Kirilyuk V.E., Tkachuk T.E., Kirilyuk O.K. The impact of climate change on habitats and biota in Dauria. In: *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika* Daurskii [Scientific works of the state natural biosphere reserve Daursky]. Chita, 2012, pp. 46-62. (In Russian)
6. Sirohi S., Michaelowa A. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. *Climatic Change*, 2007, no. 85, pp. 285-298. DOI: 10.1007/s10584-007-9241-8
7. Marai I.F.M., El-Darawany A.A., Abou-Fandoud E.I., Abdel-Hafez M.A.M. Serum blood components during pre-oestrus, oestrus and pregnancy phases inEgyptian Suffolk ewes as affected by heat stress: under the conditions of Egypt. *J. Sheep Goats Desert Anim. Sci*., 2006, vol. 1, iss. 1, pp. 47-62. DOI: 10.21608/EJSGS.2006.28074
8. Scholtz M.M., McManus C., Leeuw K.-J., Louvandini H., Seixas L., Melo C.B., Theunissen A., Neser F.W.C. The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere. *Natural Science*, 2013, vol. 5, no. 1A, pp. 106-119. DOI: 10.4236/ns.2013.51A017
9. Abaturov B.D., Larionov K.O., Kolesnikov M.P., Nikonova O.A. Providing of saigas (*Saiga tatarica*) with forage and their state in pastures with vegetation of different types. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological Journal]. 2005, no. 3, pp. 377-390. (In Russian)
10. du Toit J.T., Yetman C.A. Effects of body size on the diurnal activity budgets of African browsing ruminants. Oecologia, 2005, no. 143, pp. 317-325. DOI: 10.1007/s00442-004-1789-7
11. Rasooli A., TahaJalali M., Nouri M., Mohammadian B., Barati F. Effects of chronic heat stress on testicular structures, serum testosterone and cortisol concentrations in developing lambs. *Animal Reproduction Science*, 2010, vol. 117, iss. 1-2, pp. 55-59. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2009.03.012
12. Garcia A.R. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. Rev. Bras. Reprod. Anim., Belo Horizonte. 2013, vol. 37, no. 2, pp. 121-130.
13. Marai I.F.M., El-Darawany A.A., Fadiel A., Abdel-Hafez M.A.M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep – a review. *Small Ruminant Research*, 2007, vol. 71, iss. 1-3, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2006.10.003
14. Iljin A.N., Khompodoeva U.V., Ivanov R.V. Physical activity of the young stock of Yakut horse breed in conditions of stationary keeping. *Konevodstvo i konnyi sport*, 2018, no. 3, pp. 25-26. (In Russian) DOI: 10.25727/HS.2018.3.19811
15. Melnikov A.V., Kulikov M.A., Novikova M.R., Sharova E.V. Choice of behavioral tests for estimation of typological features of rat behavior. Zhurnal Vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I.P. Pavlova [I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity]. 2004, vol. 54, no. 5, pp. 712-717. (In Russian)
16. Korsun O.V. *Polevoi atlas vidovogo raznoobraziya Zabaikal'ya: Katalog* [Field atlas of species diversity in Transbaikalia: Catalog]. Chita, 2006, 272 p. (In Russian)
17. Yakovenko A.M., Antonenko T.I., Selionova M.I. *Biometricheskie metody analiza kachestvennykh i kolichestvennykh priznakov v zootekhnii: uchebnoe posobie* [Biometric methods for the analysis of qualitative and quantitative traits in zootechnics: a tutorial]. Stavropol, AGRUS Publ., 2013, 91 p. (In Russian)
18. Larionov K.O., Nikonova O.A., Abaturov B.D. Daily activity of saiga and sheep in semi-desert pastures on Northern Caspian lowland. Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]. 2010, vol. 16, no. 5, pp. 111-120. (In Russian)
19. Dorzhiev Ts.Z., Prozorovskii V.M., Baartuja D. Some ethological features of sheep on pastures. [Bulletin of the Buryat State University. Biology, geography]. 2013, no. 4, pp. 96-99. (In Russian)
20. Pokotilo A.A., Konoplev A.A. Vliyanie strizhki molodnyaka ovets v rannem vozraste na formirovanie sherstnoi produktivnosti [The influence of shearing young sheep at an early age on the formation of wool productivity]. *Materialy konferentsii «Aktual'nye problemy povysheniya produktivnosti i okhrany zdorov'ya zhivotnykh», Stavropol', 2006* [Materials of the conference "Actual problems of increasing productivity and protecting animal health", Stavropol, 2006]. Stavropol, 2006, pp. 75-80. (In Russian)
21. Karabaev Zh.A. Trial on acclimatization and adaptation of sheeps in Kazakchstan. Agrarnaya Nauka [Agrarian Science]. 2003, no. 2, 26 p. (In Russian)
22. Dmitrik I.I., Zavgorodnaya G.V. The histostructure and properties of wool in rams of the Stavropol breed. Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo [Sheep, goats, woolen business]. 2001, no. 3, pp. 39-41. (In Russian)
23. Ponomarenko O.V., Chernobay E.N., Guzenko V.I. Productive characteristics of the offspring derived from ewes subjected to prenatal haircut. Zootekhniya [Zootechniya]. 2015, no. 2, pp. 27-28. (In Russian)
24. Podkorytov A.A., Ryadinskaya N.I., Vladimirov N.I. The effect of the cutting of the bream on the histostructure of the skin of sheep of the Prikatunsky type of the Gorno-Altai breed. Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo [Sheep, goats, woolen business]. 2011, no. 1, pp. 44-46. (In Russian)
25. Yusupov S.Yu., Bobokulov N.A. Status and prospects of development of karakul breeding in Uzbekistan. Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo [Sheep, goats, woolen business]. 2013, no. 2, pp. 98-100. (In Russian)
26. Taishin V.A., Lkhasaranov B.B. *Aborigennaya buryatskaya ovtsa* [Aboriginal Buryat sheep]. Ulan-Ude, 1997, 123 p. (In Russian)
27. Tsymbalova N.V. Features of the behavior of fine-wooled queens with different fineness of wool. Nauchnye trudy Stavropol'skogo NIIZhK [Scientific works Stavropol research institute]. Stavropol, 2003, no. 1, pp. 96-99. (In Russian)
28. Amerkhanov Kh.A., Macaev Sh.A., Taiguzin R.Sh., Sarbaev M.G., Kartekenov K.Sh. Ethological reactivity of

linear gobies of Kazakh white-headed cattle. Vestnik myasnogo skotovodstva [Bulletin of beef cattle breeding]. 2013, no. 4, pp. 27-31. (In Russian)
29. Schukina I. Aktivnost' myasnogo skota v raznoe vremya sutok [Activity of beef cattle at different times of the day]. *Materialy konferentsii «Sovremennaya nauka – agropromyshlennomu proizvodstvu», Tyumen', 2014* [Materials of the conference "Modern Science - Agricultural Production", Tyumen, 2014]. Tyumen, 2014, pp. 155-157. (In Russian)
30. Owen-Smith N. How high ambient temperature affects the daily activity and foraging time of a subtropical ungulate, the greater kudu (*Tragelaphus streptoceros*). *Journal of Zoology*, 1998, vol. 246, iss. 2, pp. 183-192. DOI: 10.1111/j.1469-7998.1998.tb00147.x
31. Safronov V.M., Smetanin R.N., Stepanova V.V. Introduction of the wood bison (Bison bison athabascae Rhoads, 1898) in Central Yakutia. Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii [Russian Journal of Biological Invasions]. 2011, vol. 4, no. 4, pp. 50-71. (In Russian)

КРИТЕРИИАВТОРСТВА
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
All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION
The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Тимур Н. Хамируев / Timur N. Khamiruev https://orcid.org/0000-0002-0147-2929
Бадма З. Базарон / Badma Z. Bazaron https://orcid.org/0000-0001-7525-5815
Иван В. Волков / Ivan V. Volkov https://orcid.org/0000-0002-0506-0606
Солбон М. Дашинимаев / Solbon M. Dashinimaev https://orcid.org/0000-0002-1294-5963
Валерий Г. Черных / Valeriy G. Chernykh https://orcid.org/0000-0001-5699-3185

Original article / Оригинальная статья
УДК 504.05:62/69
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-138-150

The state of hydrobionts in the Tyub-Karagan Bay structure, Kazakhstan

Akimgali Kenzhegaliev, Assylbek Sh. Kanbetov, Ainagul A. Abilgazieva, Aiauzhan K. Sakhmanova and Dauren K. Kulbatyrov
NJSC «Atyrau Oil and Gas University named after S.Utebayev», Atyrau, Kazakhstan

Principal contact
Akimgali Kenzhegaliev, Doctor of Technical Science, Professor & Chief Researcher, Geoecology Research Laboratory, NJSC «Atyrau Oil and Gas University named after S.Utebayev»; 1 Azattyk Ave., Atyrau, Kazakhstan 060002.
Tel. +77122320831
Email akimgali_k@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-0571-4056

How to cite this article
Kenzhegaliev A., Kanbetov A.Sh., Abilgazieva A.A., Sakhmanova A.K., Kulbatyrov D.K. The state of hydrobionts in the Tyub-Karagan Bay structure, Kazakhstan. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 138-150. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-138-150

Received 12 April 2020
Revised 22 July 2020
Accepted 21 September 2020

Abstract
Aim. The purpose of the research was to study the state of hydrobionts in the Tyub-Karagan Bay structure by season for a comparative analysis of their state with previous studies by the authors.
Material and Methods. The conditions of hydrobionts (phyto, zooplankton and macrozoobenthos) of the Tyub-Karagan Bay structure have been studied for three seasons. Studies were carried out by traditional methodology.
Results. The species composition of phytoplankton communities in spring was found to be less constant than in autumn; this is associated with heterogeneity in external conditions at the beginning of the growing season. The seasonal dynamics of zooplankton conformed to certain patterns. As a rule, from the beginning to the end of the growing season there was an enrichment of species composition and an increase in the quantitative indicators of zooplankton communities. The highest biomass was formed by bottom cenoses, where large mollusks play a leading role.
Conclusion. During the 2018 research period, species richness and species diversity of phytoplankton were at a high level. Representatives of two categories were observed most often. Blue-green dominated in number, while diatoms formed the basis of biomass. Species richness and species diversity of zooplankton was at a low or moderate level and most often constant. The seasonal dynamics of macrozoobenthos had common and specific features, depending on the research station location. Disproportionate changes in the quantitative indicators of bentonites are associated with a decrease in the average weight of individuals by autumn. This happened both through the strengthening of the role of small species and by an increase in the proportion of younger age stages in populations of bottom invertebrates.

Key Words
Gulf, phytoplankton, zooplankton, macrobenthos, population, biomass.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Состояние гидробионтов структуры Тюб-Караган, Казахстан

Акимгали Кенжегалиев, Асылбек Ш. Канбетов, Айнагуль А. Абилгазиева, Аяужан К. Шахманова, Даурен К. Кулбатыров
НАО «Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева», Атырау, Казахстан

Контактное лицо
Акимгали Кенжегалиев, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Геоэкология», НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева»; 060002 Казахстан, г. Атырау, пр. Азаттык, 1.
Тел. +77122320831
Email akimgali_k@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0003-0571-4056

Формат цитирования
Кенжегалиев А., Канбетов А.Ш., Абилгазиева А.А., Шахманова А.К., Кулбатыров Д.К. Состояние гидробионтов структуры Тюб-Караган, Казахстан // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 138-150. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-138-150

Получена 12 апреля 2020 г.
Прошла рецензирование 22 июля 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме
Целью исследований было изучение состояния гидробионтов в районе структуры Тюб-Караган по сезонам для сравнительного анализа состояния гидробионтов с предыдущими исследованиями авторов.
Материал и методы. Изучены состояния гидробионтов (фито- и зоопланктон и макрозообентос) структуры Тюб-Караган в трех сезонах. Исследования состояния гидробионтов проводились традиционным методом.
Результаты. Видовой состав фитопланктонных сообществ весной был менее постоянным, чем осенью, что связано гетерогенностью внешних условий в начале вегетационного сезона. Сезонная динамика зоопланктона подчинялась определённым закономерностям. Как правило, от начала к концу вегетационного сезона происходило обогащение видового состава и рост количественных показателей зоопланктонных сообществ. Наиболее высокую биомассу формировали донные ценозы, где ведущую роль играли крупные моллюски.
Заключение. В период исследований (2018 г.) видовое богатство и разнообразие фитопланктона находились на высоком уровне. В основном часто встречались представители двух отделов: сине-зеленые и диатомовые водоросли. Сине-зеленые доминировали по численности, а диатомовые формировали основу биомассы. Видовое богатство и разнообразие зоопланктона в период исследований на акватории находилось на низком или умеренном уровнях. Чаще всего видовой состав зоопланктона был постоянным. Сезонная динамика макрозообентоса имела общие и специфические черты, в зависимости от станции исследований. Непропорциональные изменения количественных показателей бентонитов связаны с уменьшением средней массы особей к осени. Это происходило как за счет усиления роли мелких видов, так и за счет увеличения доли младших возрастных стадий в популяциях донных беспозвоночных.

Ключевые слова
Залив, фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос, численность, биомасса.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

INTRODUCTION

Work by the authors in this research domain has been carried out since seismic survey operations in the region began, i.e. since the end of the 20th and beginning of the 21st century, and enough has been published as background to the study results reported here.

Phytoplankton are a plurality of microscopic plants (especially algae) living in marine and fresh waters and passively moving under the influence of water currents.

Phytoplankton includes protococcal algae, dinoflagellate diatoms, coccolithophorids, and other unicellular algae (often colonial), as well as cyanobacteria.

Phytoplankton are the primary producers of organic matter in these waters and serve as food for zooplankton and zoobenthos. Rapid reproduction of phytoplankton causes what is known as "water bloom".

Published studies of the state of phytoplankton in the study area [1-4] indicate that different types of algae prevail in numbers and biomass in different years.

Plankton plays an importance role in the nutritional balance of aquatic ecosystems, being fed upon by many fish species, whales and certain birds. This fact makes plankton an essential source of life for all aquatic ecosystems, seas, oceans, rivers and lakes alike. The impact of plankton on water resources is so great that it can even affect the chemical composition of water.

Phytoplankton, bacterioplankton and zooplankton compose a plankton structural formation. All these organisms are small, being at most tens of micrometres in size for algae and a few centimetres for zooplankton. On the other hand, many animals, even the largest freshwater daphnia, are much smaller and reach only 5 mm in size. The organisms that make up plankton are in a constant state of suspension in the water column. At night zooplankton rise to the surface layers in seas and oceans and filter out microscopic algae. In the morning, zooplankton sink to a depth of 300 metres or more.

The majority of planktonic organisms spend their whole lives in water columns and are not related to a solid substrate. However, inactive stages of many of these organisms in assemble in bottom waters in the winter period, where they shelter from unfavourable conditions. There are also some organisms which spend only part of their lives in the water column. An example is meroplankton (from the Greek "meros" meaning part). It appears that the larvae of many benthic organisms – sea urchins, stars, worms, mollusks, crabs, corals, etc. conduct a planktonic life, directed by currents and, eventually, find locations for further habitation. There they assemble at bottom level and do not abandon their places for the rest of their life cycle. This life strategy is due to the fact that bottom organisms have a disadvantage in comparison with plankton, as they move from place to place relatively slowly. However, thanks to this planktonic larval stage, they are drifted by currents over extensive areas, similar to the seeds of terrestrial plants which are transmitted long distances by the wind. The eggs and larvae of some fish also lead a planktonic lifestyle.

However, as noted previously, most planktonic organisms are real plankters. They are born and die in the water column, which contains bacteria, microscopic algae, various animals (protozoa, rotifers, mollusks, crustaceans, etc.).

Many planktonic crustaceans accomplish vertical migrations. At night they move up to the upper layer, where they eat algae. Closer to the morning they move to a depth of several hundred metres, where they are concealed from fish in these dark locations. Moreover, low temperatures reduce metabolism and consequently the energy rate for maintaining vital functions is lowered. At depths, the density of water is higher than at the surface and therefore organisms are in a state of neutral buoyancy, allowing them to exist in the water column with zero energy consumption.

Sea water may be coloured not only by algae but also by the presence of zooplankton. Most euphausiids are translucent and colorless but some are bright red. The red ones live in the colder northern and southern hemispheres and sometime make the whole sea seem red by accumulating in larger quantities.

The abundance of organisms available as food is very important for the intensive growth and development of larvae, as well as fish fry. It determines the degree of fish productivity.

The authors of the work have been studying hydrobionts in this region since the time seismic surveys have been conducted on this structure and many works have been published relating to the phenomena described here [3; 5-8].

The benthos is composed of organisms living at the bottom of water bodies and which are not able to swim in water for a long period of time. Systematically, it is divided into plant benthos (phytobenthos) and animal benthos (zoobenthos).

In contrast to planktonic organisms, benthic animals and plants do not need to lower their weight, so many of them, especially those living in coastal areas, are characterized by structural strength and often heavy deposits of lime. There are a quite large number of organisms, mainly crustaceans and worms, which can move up the water column during the breeding period or for food. Some species which spend a long period in water can lead both benthic and planktic lifestyles and belong to the group of planktobenthos or bentoplankton.

The structure of benthic organisms mainly depends on the nature of the substrate on which they live, as well as on light, wave strength, etc. Therefore, there are strong differences in the structure of similar forms living on soft ground or on stones, in the surf zone or at depth, in full light or in the dark. In relation to the substrate, benthic organisms are divided into the groups described below [9].

Attached organisms (sessile benthos). The bulk of plant benthos is comprised of attached forms; e.g. flowering plants which usually are secured into soft ground with the help of rhizomes and a large number of algae which attach to a solid substrate with their rhizoids. Among sessile zoobenthic organisms are sponges, hydroids, corals, sea lilies, worms, bryozoans, bivalve mollusks, barnacle crayfish, ascidia and a number of other animals. The general body shape of attached animals is usually elongated. Very often they are colonial organisms, such as sponges, hydroids, corals and bryozoans, which form

colonies by budding. Their organs of motion are usually reduced or change their function.

Attached animals, despite their lack of movement, easily spread due to the formation of free-floating larval stages carried by currents. Animals can lead a sedentary lifestyle only in the aquatic environment, as only in it can they get the food they need in the form of water-borne plankton or organic detritus descending from above.

Lying organisms. Animals lying on soft ground have a very wide and low body. Many flat forms are found among bottom fish, for example flatfish, as well as cephalopods. Some crabs, bivalves, sea urchins and other animals also have a flat body shape, some having outgrowths located in the same plane.

Burrowing organisms. Animals buried in the ground, the totality of which is called infauna, as opposed to epifauna, are represented mainly by attached and freely moving organisms and are found in many groups of the animal world, mainly among worms, sea urchins, holothurii, gastropods and bivalves, crustaceans, insect larvae and a number of other groups. Many animals immerse themselves in the ground for protective purposes. They live in passages or tubes, often strengthened by secretions; the length of the passages sometimes being several times the length of the organism itself. Some animals move freely in the ground, absorbing it to extract the organic matter in it or actively seeking prey.

Burrowing in the ground is associated with a number of changes in the structure of animals. The irregular sea urchins which are buried in the sand are devoid of the Aristotle's lantern; their needles being turned into digging organs. The shell of mollusks living in the soil becomes smooth, thin, not tightly closed; a well-developed leg lacks a byssus gland; long siphons, often exceeding the length of the animal itself, are used to communicate with the external environment.

Boring organisms. Dense sedimentary rocks, those of limestone, sandstone, slate and even granite, as well as marble, concrete, brick, wood and mollusk shells are drilled or bored by such organisms. Marine boring organisms include certain algae, sponges, worms, mollusks and crayfish. Drilling organisms usually never leave their home, increasing their volume as they grow; therefore, they are essentially prisoners. Food comes from small planktonic organisms and organic detritus suspended in water. The presence of free-swimming larval forms, however, allows the wide spread of drilling organisms.

Free-moving organisms (vagile benthos). Many animals move along the bottom with the help of variously arranged limbs; echinoderms have ambulacral legs, a leg serves as an organ of movement for mollusks and protozoa move with the help of cilia or pseudopodia. Some plants, such as bottom diatoms, also have the ability to move.

The development of benthos is determined by the nature of the grouns, the availability of food and the speed of the current. Zoobenthos organisms respond slightly to short-term changes in water quality.

On pure sand, the zoobenthos contains numerous worms, cryptochiron larvae, midge larvae, etc. With silting of a sandy bottom, large oligochaetes, mollusks develop and with silting of a clay bottom, a biocenosis forms consisting of mollusks, amphipods, shell crustaceans, numerous larvae of tendipids, etc. The temperature of water has a great influence on the life of the zoobenthos – it determines its growth, development, reproduction, metabolism and biological cycles. In winter, the abundance of the zoobenthos is insignificant but when the water temperature rises above 10°C the reproduction of most bottom invertebrate species begins.

MATERIAL AND METHODS

The object of the study was the region of the Tyub-Karagan Bay. As in previous years, studies were carried out from three sides of the Tyub-Karagan structure at equal distances from the perimeter. Unlike in previous years, no studies were conducted in the summer of 2018.

Phytoplankton samples were taken from the surface layer of water and fixed with 4% formalin. They were then concentrated by the sedimentary method [10-12]. In laboratory conditions, samples were processed by generally accepted methods [13-15] and the following were determined: species composition, species abundance – million cells per cube m., biomass – mg per cubic metre of algae.

Zooplankton samples were taken from the surface layer of water using an Apstein net and fixed with 4% formalin. Then they were concentrated by the sedimentary method [10-12] and sent for processing to an accredited laboratory. In laboratory conditions, samples were processed according to generally accepted methods [13-15], the taxonomic composition, abundance (species per 1 m^3) and biomass (mg. per 1 m^3) of zooplankton were determined.

Macrozoobenthos samples were taken from the sea bottom with a Peterson bottom grab and fixed with 4% formalin. They were then concentrated by the sedimentary method [10-12]. In the laboratory samples were processed by conventional methods [13-15] to the taxonomic composition, abundance (species per 1 m^2) and biomass (mg. per 1 m^2).

RESULTS

State of phytoplankton

The results are shown in Table 1 and in Figs. 1 and 2. Table 1 shows the species composition of phytoplankton by season for the studied period.

As can be seen from this table, the research recorded 37 species in winter, 31 species in spring and 67 species in autumn, of which 21 species were first detected by studies undertaken in the previous two years, such as dinophytic, euglenozoic, myozoic, ochrophytic and cyanobacteria. The number of species encountered from winter to spring decreased but by autumn increased more than twice, due to new species. Moreover, four were found only during the autumn study period. Briefly, they are as follow:

- Cyanobacteria – a blue-green algae, or cyanene which is a category of large gram-negative bacteria capable of photosynthesis accompanied by oxygen evolution.
- Ochrophyte algae or ochrophytes (lat. *Ochrophyta*) – a category of unicellular, colonial and multicellular algae.
- Euglenozoans (lat. *Euglenozoa*) – a type of unicellular protists, which includes a variety of free-living species, as well as a number of parasites including those that cause human diseases. The group consists mainly of monophyletic taxa.
- Miozoa – a taxonomic type within the supertype *Alveolata* (Alveolates) (lat. *Alveolata*) or Alveolobionts,

which is a prototype (*Protista*), uniting a number of taxonomic groups, including ciliates, sporozoans, and dinoflagellates.

Table 2-3 shows the average abundance and biomass of the main phytoplankton groups recorded in 2018.

Figures 1 and 2 provide diagrams of the average abundance and biomass of phytoplankton in the research area for the study period.

As can be seen from the table and Figure 1, over the studied period, it outnumbered cyanobacteria with 53.6% in numbers, and diatoms over 72% in Figure 2.

Table 1. Species composition of phytoplankton in the 2018 seasons [16]
Таблица 1. Видовой состав фитопланктона по сезонам в 2018 г. [16]

Taxonomic composition Таксономический состав	**Number of species / taxa** Количество видов / таксонов		
	Winter Зима	**Spring** Весна	**Autumn** Осень
Bacillariophyta / Диатомовые	31	18	42
Dinophyta / Динофитовые	2	7	-
Chlorophyta / Зеленые	3	2	4
Chrysophyta / Золотистое	1	4	-
Cyanobacteria / Цианобактерии	-	-	9
Euglenozoa / Эвгленозои	-	-	1
Miozoa / Миозои	-	-	10
Ochrophyta / Охрофитовые	-	-	1
Total / Всего	37	31	67

Table 2. Average abundance of the main groups of phytoplankton in 2018, mln.cl/m^3
Таблица 2. Среднее значение численности основных групп фитопланктона за 2018 г., млн.кл/м^3

Stations Станции	**Bacillariophyta** Диатомовые	**Dinophyta** Динофитовые	**Chlorophyta** Зеленые	**Chrysophyta** Золотистое	**Cyanophyta** Сине-зеленые	**Euglenophyta** Эвгленовые	**Miozoa** Миозои	**Ochrophyta** Охрофитовые	**Cyanobacteria** Цианобактерии	**Euglenozoa** Эвгленозои	**Total** / Всего
1	39,1	33,5	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	0,1	31,1	0,0	108,4
2	13,2	77,7	0,6	0,0	0,00	0,0	5,4	0,1	278,8	0,6	376,4
3	24,6	92,0	5,5	0,0	0,3	0,0	1,1	1,1	216,7	0,0	341,3
4	72,0	47,8	0,0	0,0	1,6	0,0	3,9	0,6	23,9	0,0	149,8
5	69,0	92,0	0,6	0,0	0,00	0,0	2,9	0,1	105,0	0,0	269,6
6	40,2	75,0	1,2	0,0	0,05	0,0	5,5	0,6	101,7	0,0	242,25
7	36,6	11,6	10,0	0,0	0,69	0,0	0,6	0,0	118,3	0,0	177,79
8	40,0	78,5	0,0	0,0	0,00	0,0	3,8	0,6	303,4	0,0	426,3
9	27,1	155,1	3,9	0,0	0,00	0,0	2,8	0,0	66,7	0,0	255,6
Average Среднее	40,2	73,7	2,4	0,0	0,3	0,0	3,4	0,3	139,4	0,1	259,8

Table 3. Average biomass of the main groups of phytoplankton in 2018, gr/m^3
Таблица 3. Среднее значение биомассы основных групп фитопланктона за 2018 г., г/м^3

Stations Станции	**Bacillariophyta** Диатомовые	**Dinophyta** Динофитовые	**Chlorophyta** Зеленые	**Chrysophyta** Золотистое	**Cyanophyta** Сине-зеленые	**Euglenophyta** Эвгленовые	**Miozoa** Миозои	**Ochrophyta** Охрофитовые	**Cyanobacteria** Цианобактерии	**Euglenozoa** Эвгленозои	**Total** / Всего
1	508,1	31,7	0,0	0,0	0,0	0,00	118,9	1,4	0,5	0,0	660,6
2	53,43	76,1	4,3	0,0	0,0	0,00	57,4	1,4	5,6	8,8	207,03
3	253,4	88,1	1,3	9,7	0,1	0,00	2,8	15,5	1,9	0,0	372,8
4	626,2	49,4	0,6	7,6	0,5	0,00	128,7	8,0	0,2	0,0	821,7
5	247,5	88,1	0,2	0,0	0,0	0,00	31,9	1,4	0,9	0,0	370,0
6	259,7	72,8	0,6	0,0	0,0	0,00	52,9	8,0	0,9	0,0	394,9
7	196,7	8,8	1,9	0,0	0,2	0,00	3,0	0,0	6,2	0,0	225,8
8	296,1	74,0	7,3	0,0	0,0	0,00	40,8	8,0	4,8	0,0	431,0
9	371,2	151,2	0,9	0,0	0,0	0,00	50,5	0,0	1,6	0,0	575,4
Average Среднее	324,5	71,2	2,0	0,2	0,1	0,00	54,1	4,9	2,5	1,0	460,5

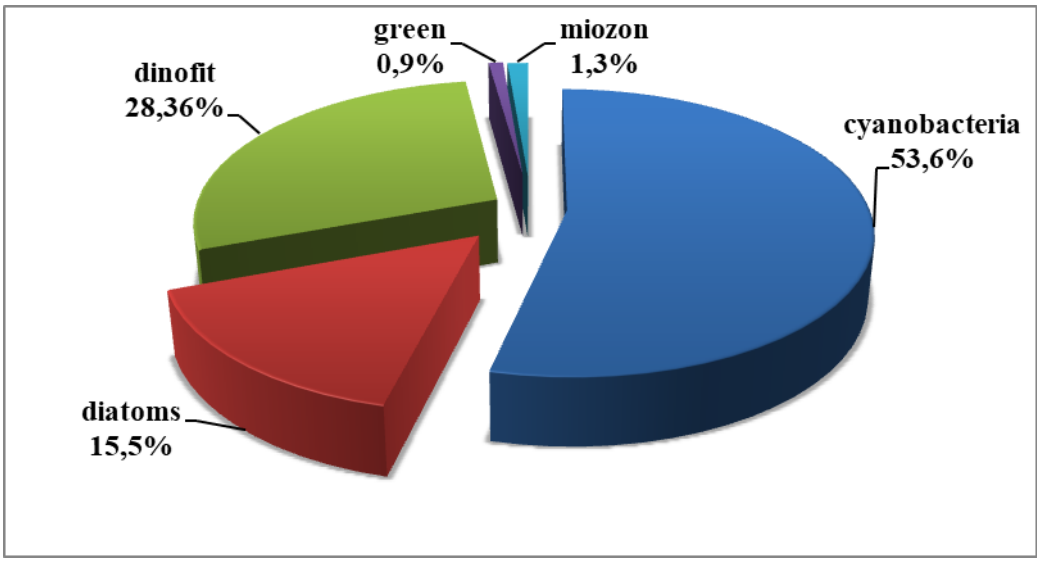


Figure 1. The number of the main groups of phytoplankton in 2018, in % ratio
Рисунок 1. Численность основных групп фитопланктона за 2018 г., в % соотношении

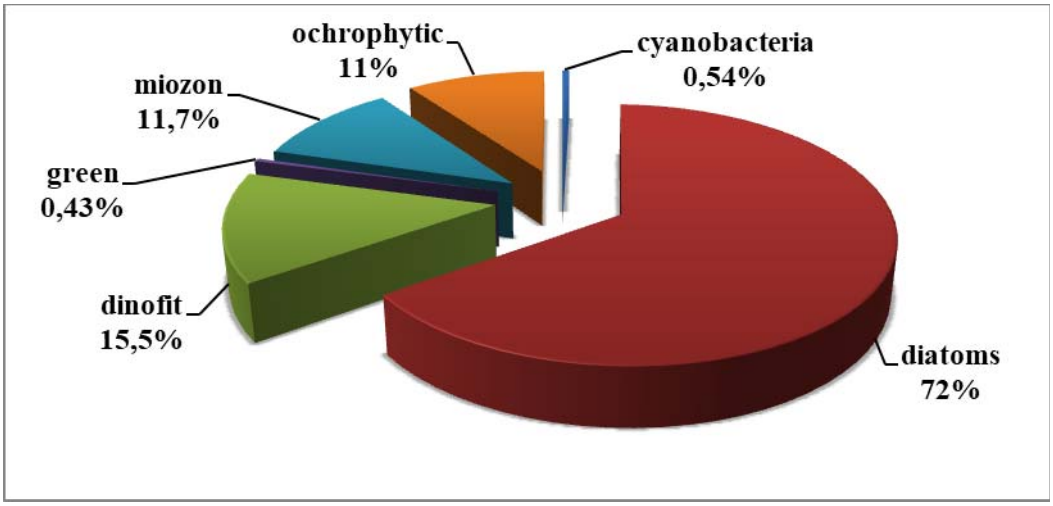


Figure 2. Biomass of the main groups of phytoplankton for 2018, in % ratio
Рисунок 2. Биомасса основных групп фитопланктона за 2018 г., в % соотношении

State of zooplankton

Like the early years, samples were taken from three sides at equal distances from the Tyub-Karagan structure; during the study period, 27 samples were taken and processed. The results are shown in Tables 4-6 and for clarity, diagrams 3 and 4 are provided.

Table 4. Species composition of zooplankton by season for 2018 [16]
Таблица 4. Видовой состав зоопланктона по сезонам за 2018 г [16]

Taxonomic composition Таксономический состав	**Number of species / taxa** Количество видов / таксонов		
	Winter Зима	**Spring** Весна	**Autumn** Осень
Rotatoria / Коловратки	1	1	2
Copepoda / Веслоногие рачки	4	5	3
Cladocera / Ветвистоусые рачки	-	4	-
Others / Прочие	2	4	9
Total taxa / Всего таксонов	7	14	14

As you can see from this table, the number of species increases from winter to autumn, except for copepods, whose number of species decreases by autumn, and branchy crustaceans which were found only in spring. The maximum number of other species was found in autumn - 9 species. In winter, in the region studied, 7 species of zooplankton were found; from the rotifers group and copepods, *Synchaetavorax*, *Acartiatonsa* were found respectively. In spring, most often met was *Podonpolyphemoides* from the group of branched crustaceans. In autumn, as in winter, *Acartiatonsa was* often found from the copepods group, as well as from the group of other *Cirripediagen.* sp. and *Hedistedi versicolor.* In spring and autumn, up to 14 species of Rotatoriaplankters were found – 0.4%, Copopeda – 0.94%, Cladocera – 0.22%, others – 98.8%.

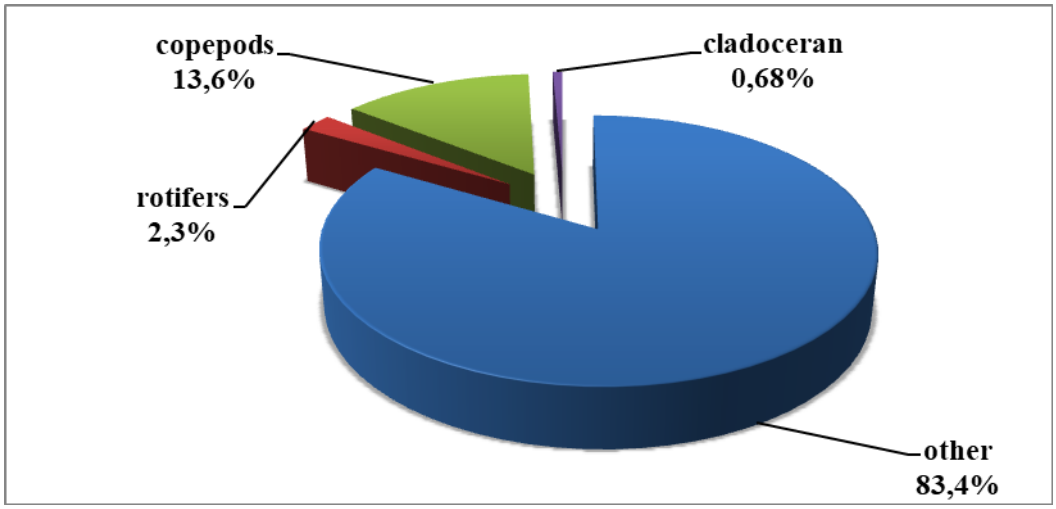


Figure 3. The number of main groups of zooplankton in % ratios by season for 2018
Рисунок 3. Численность основных групп зоопланктона в % соотношений по сезонам за 2018 г.

Table 5. The number of main groups of zooplankton by season for 2018, species/m^3
Таблица 5. Численность основных групп зоопланктона по сезонам за 2018 г., экз/м^3

Stations / Станции	***Rotatoria*** Коловратки			***Copepoda*** Веслоногие рачки			***Cladocera*** Ветвистоусые рачки			**Others** Прочие			**Total** / Всего
	winter зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**Spring** весна	**autumn** осень	**Winter** зима	**Spring** весна	**autumn** осень	
1	17	265	18	929	38	3079	0	173	0	17	1872	2970	
2	-	0	0	-	20	110	0	80	0	-	240	116960	
3	303	430	0	364	319	2790	0	141	0	30	1493	4448	
4	64	249	0	282	255	4086	0	206	0	19	6729	6337	
5	32	2021	0	227	76	2955	0	82	0	6	1762	11239	
6	11	1164	0	119	35	2216	0	146	0	11	3231	3706	
7	225	702	7	322	14	3434	0	232	0	90	5948	5352	
8	112	227	0	39	34	3106	0	278	0	11	1770	7362	
9	6	553	0	243	39	2335	0	122	0	17	6374	3734	
Average by seasons Среднее по сезонам	96	622	2,8	316	99	2679	0	156	0	25	3269	15674,2	
Average for the year Среднее за год	174,4			1031,3			52			6322,7			7580,4

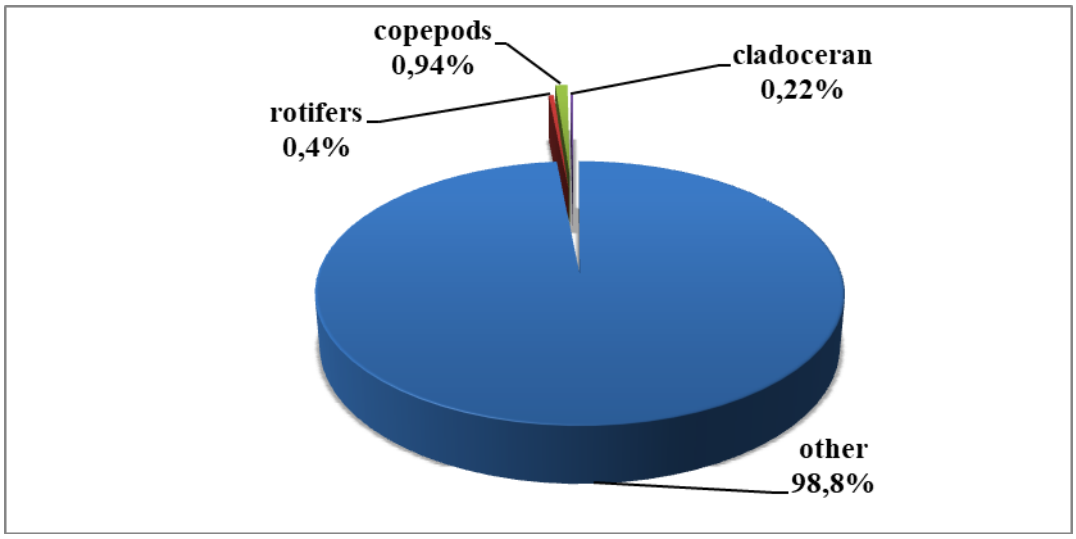


Figure 4. Biomass of the main groups of zooplankton in % ratio by season for 2018
Рисунок 4. Биомасса основных групп заопланктона в % соотношении по сезонам за 2018 г.

Table 6. Biomass of the main groups of zooplankton by season for 2018, mg/m^3
Таблица 6. Биомасса основных групп заопланктона по сезонам за 2018 г., мг/м^3

Stations / Станции	***Rotatoria*** Коловратки			***Copepoda*** Веслоногие рачки			***Cladocera*** Ветвистоусые рачки			**Others** Прочие			**Total** / Всего
	winter зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	
1	0,01	0,21	0,01	1,97	0,06	11,01	-	3,06	0,00	0,00	5,30	350,22	
2	-	0,00	0,00	-	2,58	0,54	-	0,28	0,00	-	0,43	2672,98	
3	0,24	0,34	0,00	5,21	1,48	20,21	-	2,55	0,00	0,23	3,46	1309,84	
4	0,05	0,20	0,00	1,71	1,30	16,00	-	9,71	0,00	0,01	18,73	1211,96	
5	0,03	1,62	0,00	0,98	0,41	25,42	-	1,45	0,00	0,00	8,85	3840,06	
6	0,01	0,93	0,00	1,20	0,16	8,26	-	3,15	0,00	0,01	22,18	1861,40	
7	0,18	0,56	0,00	2,45	0,02	9,46	-	2,71	0,00	0,91	34,36	15,59	
8	0,09	0,18	0,00	0,10	0,37	9,64	-	4,82	0,00	0,00	8,37	1365,50	
9	0,00	0,44	0,00	1,99	0,72	5,34	-	2,82	0,00	0,07	33,86	806,63	
Average by seasons Среднее по сезонам	0,08	0,50	0,00	1,95	0,79	11,77	-	3,39	0,00	0,15	15,06	1492,69	
Average for the year Среднее за год		0,19			4,83			1,13			502,6		508,6

From Table 2 it can be seen that the maximum number of rotifers was found as indicated above and that their number increases from winter to spring (in spring at station 5 2021 species/m^3 were detected, the lowest abundance at station 8 being 227 species/m$^{3)}$. The maximum number of copepods was detected in autumn at station 4 – 4086 specimens/m^3, the smallest abundance recorded being 110 specimens/m^3 at station 2. A large number of vegetable crustaceans as rotifers were identified in the spring - at station 8, 278 specimens/m^3, and at station 2-80 specimens/m^3. On the contrary, at station 2, the maximum abundance of other types of extra-plankters was found to be 116,960 specimens/m^3.

Other species prevailed in biomass (Table 5), the maximum biomass being detected at station 5 with a value of 3840.06 mg/m^3 and at station 2, which revealed the maximum abundance, biomass was inferior with a value of 2672.98 mg/m^3.

State of Macrozoobenthos

Bottom sediment is a storage zone for pollutants. In this regard, in our opinion, the study of the state of bottom

organisms is necessary, which we conduct annually accordingly.

In this area, macrozoobenthos occurs in five main groups; worms, mollusks, crustaceans, insect larvae and others. Worms mainly predominate in numbers and mollusks in biomass [3, 17-23].

The main indicator of the significance of individual taxa in productivity in these waters is their frequency of occurrence. Out of the total species diversity in the zoobenthos, only a few, the most massive, can be distinguished with a frequency of occurrence of at least 30%: in the autochthonous complex among mollusks – *Hypanis angusticostata*, among crustaceans – *Niphargoides similis*, *N. macrurus*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *Corophium nobile*, *Pterocuma pectinata* and *Stenocuma graciliodes*; from the Mediterranean – mollusks *Abra ovata* and the polychaete worm *Nereis diversicolor.*

Table 7. The species composition of macrozoobenthos by the 2018 seasons [16]
Таблица 7. Видовой состав макрозообентоса по сезонам в 2018 г. [16]

Taxonomic composition Таксономический состав	**Number of species / taxa** Количество видов / таксонов		
	Winter Зима	**Spring** Весна	**Autumn** Осень
Vermes / Черви	7	6	6
Mollusca / Моллюски	5	5	4
Crustacea / Ракообразные	12	15	7
Insect larva / Личинки насекомого	2	1	1
Others / Прочие	1	1	1
Total taxa / Всего таксонов	27	28	19

From this table it can be seen that the number of species decreases from spring to autumn, i.e. if in the summer 28 species were found, by autumn 19 species remained.

In winter, there were often found: worms – *Hypaniolakowalewskii*; mollusks – *Abra ovata*; larval insects *Chironomusalbidus.* In spring there were often found worms – *Hedistediversicolor worms*; mollusks – *Abra ovata* and *Cerastodermalamarcki*; crustaceans – *Stenogammarus (Stenogammarus) similis*; larval insects – *Chironomusalbidus*. In autumn there were often found: worms – *Oligochaetagen* sp.; mollusks – *Oligochaetagen* sp.; larval insects – *Chironomusalbidus.*

As we can see from Table 8, for the studied period worms predominated in number with 3702 specimens/m^2, then mollusks with 1013 specimens/ m^2 with insect larvae being third in number with 352 specimens/m^2. This is typical for this region in many stations, the number of organisms being higher in the winter than in the autumn season. It is very rare to find other species of organisms in individual stations. In terms of biomass, worms fell to second place with 19443 mg/m^2 giving way to mollusks in top place at 81536 mg/m^2 and crustaceans in third at 13916 mg/m^2.

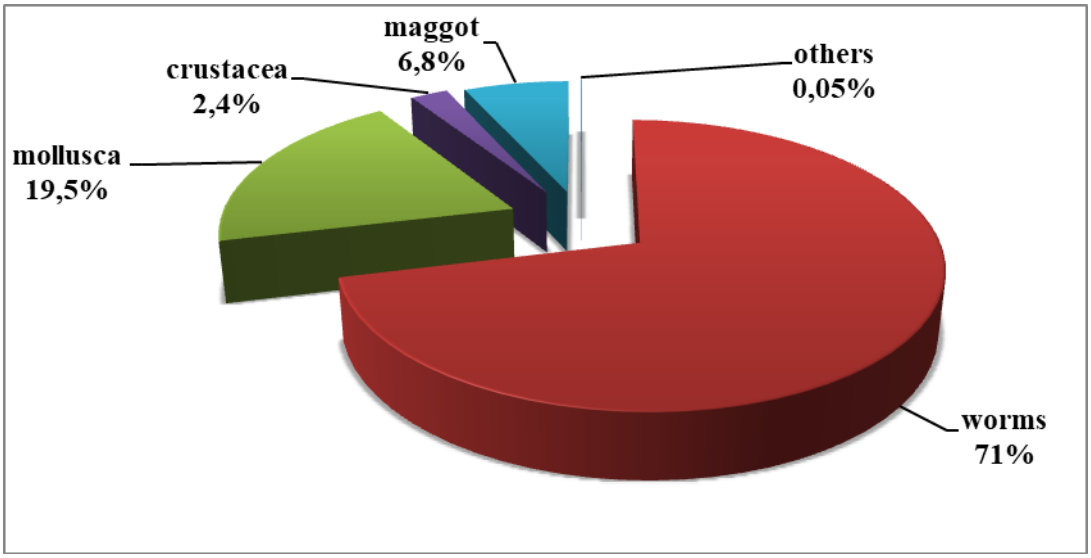


Figure 5. The average number of major macrozoobenthos groups in % ratio for 2018
Рисунок 5. Средняя численность основных групп макрозообентоса в % соотношении за 2018 г.

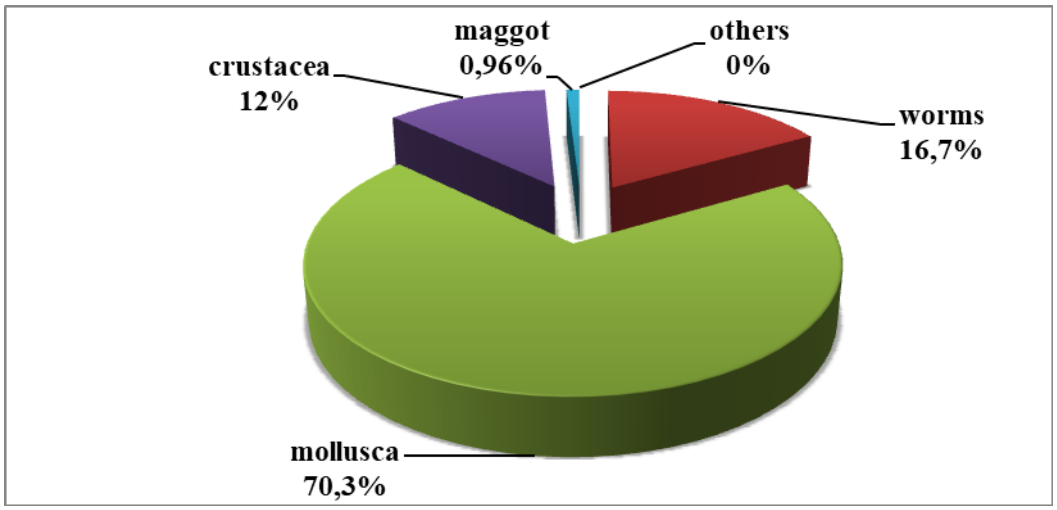


Figure 6. The average biomass of the main macrozoobenthos groups in % ratio for 2018
Рисунок 6. Средняя биомасса основных групп макрозообентоса в % соотношении за 2018 г.

Table 8. The number of major macrozoobenthos groups by the 2018 seasons, species/m^2
Таблица 8. Численность основных групп макрозообентоса по сезонам 2018 г., экз/м^2

Stations / Станции	**Vermes** Черви			**Mollusca** Моллюски			**Crustacea** Ракообразные			**Insect larva** Личинки насекомого			**Others** Прочие			**Total** / Всего
	winter зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	
1	5440	2290	2527	140	1040	240	150	140	63	1090	700	380	0,00	0,00	0,00	
2	-	1370	380	-	0,00	0,00	-	440	20	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	
3	7560	7260	1190	720	1170	147	550	390	63	330	410	63	0,00	0,00	3	
4	3970	6730	1287	680	840	133	700	3240	207	570	280	120	0,00	20	0,00	
5	7990	4990	1593	1160	1810	87	430	850	7	940	100	70	0,00	0,00	0,00	
6	4830	6290	1160	460	610	183	1570	4400	100	1480	360	33	0,00	0,00	0,00	
7	3430	5290	2263	280	50	160	450	1900	150	80	0,00	77	0,00	0,00	0,00	
8	4650	1940	373	6740	5160	767	540	230	3	290	200	103	0,00	0,00	0,00	
9	6600	1920	1080	1280	1860	193	1160	1120	50	560	360	247	50	0,00	0,00	
Average Среднее	3702 / 71%			1013 / 19,5%			127 / 2,4%			352 / 6,8%			2,8 / 0,05%			5196,8

Table 9. Biomass of the main groups of macrozoobenthos by the 2018 seasons, mg/m ^{2}
Таблица 9. Биомасса основных групп макрозообентоса по сезонам 2018 г., мг/м^2

Stations / Станции	**Vermes** Черви			**Mollusca** Моллюски			**Crustacea** Ракообразные			**Insect larva** Личинки насекомого			**Others** Прочие			**Total** / Всего
	winter зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	**winter** зима	**spring** весна	**autumn** осень	
1	23710	21398	8162	4600	25270	13211	120	190,00	2048	2630	2430	137	0,0	0,0	0,0	
2	-	23,20	9	-	0,00	0,00	-	532,00	10	-	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	
3	33054	22982	5265	80970	147670	11950	12399	5706,0	4883	370	1580	45	0,0	0,0	1,0	

4	32930	37563	6963	69790	46795	8333	4470	138978	3109	1440	1030	63	0,0	0,6	0,0
5	32257	26990	3721	32850	251750	15837	3576	41240	1	1280	350	40	0,0	0,0	0,0
6	25670	18973	4942	61130	48677	13870	87710	39355	962	10140	1555	32	0,0	0,0	0,0
7	35753	42132	8646	48050	10125	16907	6287	2650	3932	60	0,00	33	0,0	0,0	0,0
8	39170	23500	1862	473210	542460	38950	166	1730	2	560	670	85	0,0	0,0	0,0
9	27690	7526	2785	35730	93440	9100	670	560	15	1270	1960	180	30,0	0,0	0,0
Average Среднее	19443 / 16,7%			81536 / 70,3%			13916 / 12%			1117 / 0,96%			1,36 / 0%		116013

CONCLUSION

It follows from the above that:

The species richness and species diversity of phytoplankton of the water areas studied were generally at a high level during the 2018 research period. The species composition of phytoplankton communities in spring was less constant than in autumn, due to the heterogenicity of external conditions at the beginning of the growing season.

The quantities of phytoplankton varied significantly over the seasons and years. Various types of algae dominated, depending on local habitat conditions. Throughout the water areas studied, mass algae species belonged to two categories - blue-green and diatomic. The species in the first category dominated in number, whiles the species in the second category formed the basis of the phytoplankton biomass.

The seasonal dynamics of phytoplankton were subject to certain patterns. As a rule, from the beginning to the end of the growing season there was enrichment of species composition, increase of diversity and growth of quantitative indicators of phytoplankton communities.

The species richness and species diversity of zooplankton of the areas studied during the 2018 research period was at a low or moderate level. Species composition of zooplankton communities was most often constant. A certain heterogeneity of the composition of plankton invertebrate species in spring reflected the heterogeneity of temperature conditions.

In the space-time aspect, the quantitative values of zooplankton varied significantly. The dominant position in zooplankton was occupied by a limited set of typical Caspian species, including *Brachionus quadridentatus* rotifers, copepods *Calanipeda aquae-dulcis*, *Acartia tonsa*, facultative plancters – clam larvae and cirripedia.

The seasonal dynamics of zooplankton were subject to certain patterns. As a rule, from the beginning to the end of the growing season there was enrichment of species composition and growth of quantitative indicators of zooplankton communities.

An undisturbed structure of species dominance characterized the zooplankton of Tyub- Karagan Bay in all seasons. The seasonal dynamics of species dominance structure indicated a weakening of eutrophication processes from spring to autumn throughout the water areas studied.

The seasonal dynamics of zooplankton in 2018 were most often characterized by the same direction, which indicated the influence of a single factor complex on the structure of plankton communities.

The highest biomass was formed by bottom cenoses in the studied area, where large clams played a leading role.

The seasonal dynamics of the macrozoobenthos had common and specific traits, depending on the research station. Inversely proportionate changes in zoobenthos quantities are associated with a decrease in the average mass of individuals in autumn. This occurs both through the increase in the role of small species and by an increase in the proportion of younger age stages in populations of bottom invertebrates.

REFERENCES

1.Kenzhegaliev A., Abilgazieva A.A., Shakhmanova A.K. Phytoplankton state in the area of the Tyub-Karagan Bay. Sodruzhestvo [Commonwealth]. 2016, no. 4, pp. 5-8. (In Russian)

2.Kenzhjegalyev A., Abylgazieva A., Shakhmanova A., Kulbatyrov D. Dynamics of the condition of phytoplankton near the Tub-Karagan bay. Vestnik AUNG [AOGU Bulletin]. 2017, no. 2, pp. 59-64.

3.Kenzhegaliev A., Abilgazieva A.A., Shahmanova A.K., Kulbatyrov D.K. State of hydrobionites at TyubKaragan gulf. Neft' i gaz [Oil and gas]. 2018, no. 2, pp. 132-143. (In Russian)

4.Kenzhegaliyev A., Abylgazieva A.A., Shakhmanova A.K. Condition of hydrobionts in Tub-Karagan bay. HERALD TarSU of a name of M.Kh. Dulati «Nature and problems of anthroposphere» international science journal. 2016, no. 3, pp. 65-72.

5.Kenzhegaliev A. Influence of engineering geological research works on zooplankton organisms of the sea. Bulletin ASTU [Vestnik AGTU]. 2008, no. 3, pp. 169-170. (In Russian)

6.Kenzhegaliev A., Mukhanalieva S.M., Kenzhegalieva D.A. The impact of seismic work on aquatic organisms of the sea. Vestnik AING [AOGI Bulletin]. 2009, no. 2, pp. 159-162. (In Russian)

7.Kenzhegaliev A., Abilgazieva A., Shahmanova A., Kulbatyrov D. [State dynamics of zooplankon in the gulf region of Tyub-Karagan]. In: *Voprosy tekhnicheskikh nauk: novyye podkhody v resheniy aktual'nykh problem* [Questions of technical sciences: new approaches to solving urgent problems]. Kazan, 2017, iss. 4, 132 p.

8.Kenzhegaliev A., Abilgazieva A.A., Shakhmanova A.K., Kulbatyrov D.K., Urazgalieva M.K., Kulynbay E. Seasonal zooplankton states in the Tub-Karagan Bay area for 2016-2017. *Trends in science and education*, 2018, no. 44-6, pp. 42-45. (In Russian) DOI: 10.18411/lj-11-2018-153

9.Loginova E.V., Lopukh P.S. *Gidroekologiya* [Hydroecology]. Minsk, BSU Publ., 2011, 300 p. (In Russian)

10. Kiselev I.A. *Metody issledovaniya planktona. Zhizn' presnykh vod SSSR* [Plankton research methods. In the book The Life of Fresh Water of the USSR]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1956, vol. 4, no. 1, pp. 183-265. (In Russian)

11. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy* [Guide to methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1983, pp. 78-86. (In Russian)
12. *Sostoyaniye bioraznoobraziya v Kazakhstanskoy chasti Kaspiyskogo morya. Natsional'nyy doklad Respubliki Kazakhstan* [The state of biodiversity in the Kazakhstan part of the Caspian Sea. National Report of the Republic of Kazakhstan]. Atyrau, 2000, pp. 26-36. (In Russian)
13. *Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu bentosa yuzhnykh morey SSSR* [Guidelines for the study of benthos of the southern seas of the USSR]. Moscow, VNIRO Publ., 1983, 13 p. (In Russian)
14. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyomov* [Methodology for the study of biogeocenoses of inland waters]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 240 p. (In Russian)
15. *Metodicheskoye posobiye pri gidrobiologicheskikh rybokhozyaystvennykh issledovaniyakh vodoyomov Kazakhstana (plankton, zoobentos)* [Methodological guide for hydrobiological fisheries studies of water bodies of Kazakhstan (plankton, zoobenthos)]. Almaty, 2006, 27 p. (In Russian)
16. *Morskoy monitoring vozdeystviya. Otchet o NIR (zaklyuchit.). TOO «Kazakhstanskoye Agentstvo Prikladnoy Ekologii».* [Marine impact monitoring. Report on research (final). Kazakhstan Agency of Applied Ecology LLP]. Almaty, 2018, 326 p. (In Russian)
17. Kenzhegaliev A., Mukhanalieva S.M., Kalimanova D.Zh. Species diversity of zoobenthos and its changes in the eastern part of the northern Caspian. Vestnik AING [AOGI Bulletin]. 2008, no. 2, pp. 175-180. (In Russian)
18. Kenzhegaliev A. Influence of engineering geological exploration works on zoobenthos organisms of the sea. Vestnik AING [AOGI Bulletin]. 2008, no. 6, pp. 204-206. (In Russian)
19. Kalimanova D.Zh., Kenzhegaliev A. Characterization of bottom communities in the area of exploratory drilling (Kashagan test site). Poisk. Seriya estestvennykh i tekhnicheskikh nauk [Search. Series of natural and technical sciences]. 2009, no. 2, pp. 16-17. (In Russian)
20. Kenzhegaliyev A., Orazbaev B.B., Zhumagaliev S.Z., Kenzhegaliyeva D.A. Researches of an ecological condition of hydrobiological communities of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea in preparation of oil and gas fields for development. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Life Safety]. 2013, no. 10, pp. 39-44. (In Russian)
21. Kenzhegaliyev A., Abylgazieva A.A., Shahmanova A.K. State of macrozoobenthos in the gulf Tub-Karagan. Sciences of Europe, 2016, no. 7-1, pp. 103-105. (In Russian)
22. Kenzhegaliev A., Abilgazieva A., Shahmanova A, Kulbatyrov D., Saginayev A. Dynamics of the state of macrobenthos in the gulf of Tub-Karagan. 5th Annual International Conference on Material Science and Environmental Engineering, MSEE. China. December 15th-17th, 2017, pp. 38-42. DOI: 10.1088/1757-899X/301/1/012116
23. Kenzhegaliev A., Abilgazieva A.A., Shakhmanova A.K., Kulbatyrov D.K., Urazgalieva M.K., Kulynbay E. Macrozoobenthos states in the region of the Tyub-Karagan Bay of the Caspian Sea. Unitet-Journal. 2018, no. 23, pp. 31-35. (In Russian)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Кенжегалиев А., Абилгазиева А.А., Шахманова А.К. Состояние фитопланктона в районе залива Тюб-Караган // Содружество. 2016. N 4. С. 5-8.
2.Kenzhjegalyev A., Abylgazieva A., Shakhmanova A., Kulbatyrov D. Dynamics of the condition of phytoplankton near the Tub-Karagan bay // Вестник АУНГ. 2017. N 2. С. 59-64.
3.Кенжегалиев А., Абилгазиева А.А., Шахманова А.К., Кулбатыров Д.К. Состояние гидробионтов в Тюб-Караганском заливе // Нефть и газ. 2018. N 2. С. 132-143.
4.Kenzhegaliyev A., Abylgazieva A.A., Shahmanova A.K. Condition of hydrobionts in Tub – Karagan bay // HERALD TarSU of a name of M.Kh. Dulati «Nature and problems of anthroposphere» international science journal. 2016. N 3. P. 65-72.
5.Кенжегалиев А. Влияние инженерно-геологических изыскательских работ на зоопланктонные организмы моря // Вестник АГТУ. 2008. N 3. С. 170-172.
6.Кенжегалиев А., Муханалиева С.М., Кенжегалиева Д.А. Воздействия сейсмических работ на гидробионты моря // Вестник АИНГ. 2009. N 2. С. 159-162.
7.Kenzhegaliev A., Abilgazieva A., Shahmanova A., Kulbatyrov D. State dynamics of zooplankon in the gulf regionof Tyub-Karagan // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Вопросы технических наук: новые подходы в решений актуальных проблем», Казань, 2017. Вып. 4. 132 с.
8.Кенжегалиев А., Абилгазиева А.А., Шахманова А.К., Кулбатыров Д.К., Уразгалиева М.К., Кулынбай Е. Состояния зоопланктона по сезонам в районе залива Тюб-Караган за 2016-2017 гг. // Тенденции развития науки и образования. 2018. N 44-6. С. 42-45. DOI: 10.18411/lj-11-2018-153
9.Логинова Е.В., Лопух П.С. Гидроэкология: курс лекций. Минск: БГУ, 2011. 300 с.
10. Киселев И.А. Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. Москва: изд-во АН СССР, 1956. Т. 4. Вып. 1. С. 183-265.
11. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1983. С. 78-86.
12. Состояние биоразнообразия в Казахстанской части Каспийского моря. Национальный доклад Республики Казахстан. Атырау, 2000. С. 26-36.
13. Методические указания к изучению бентоса южных морей СССР. Москва: ВНИРО, 1983. 13 с.
14. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов. Москва: Наука, 1975. 240 с.
15. Методическое пособие при гидробиологических рыбохозяйственных исследованиях водоёмов Казахстана (планктон, зообентос). Алматы, 2006. 27 с.
16. Морской мониторинг воздействия. Отчет о НИР (заключит.) / ТОО «Казахстанское Агентство Прикладной Экологии». Алматы, 2018. 326 с.
17. Кенжегалиев А., Муханалиева С.М., Калиманова Д.Ж. Видовое разнообразие зообентоса и его изменения восточной части северного Каспия // Вестник АИНГ. 2008. N 2. С. 175-180.
18. Кенжегалиев А. Влияние инженерно-геологических изыскательских работ на зообентосные организмы моря // Вестник АГТУ. 2008. N 6. С. 204-206.

19. Калиманова Д.Ж., Кенжегалиев А. Характеристика донных сообществ на акватории разведочного бурения (полигон Кашаган) // Поиск. Сер. естеств. и техн. наук. 2009. N 2. С. 16-17.
20. Кенжегалиев А., Оразбаев Б.Б., Жумагалиев С.Ж., Кенжегалиева Д.А. Исследования экологического состояния гидробиологических сообществ Казахстанского сектора Каспийского моря в период подготовки нефтегазовых месторождений к разработке // Безопасность жизнедеятельности. 2013. N 10. С. 39-44.
21. Кенжегалиев А., Абилгазиева А.А., Шахманова А.К. Состояние макрозообентоса в районе залива Тюб-Караган // Sciences of Europe. 2016. N 7-1. С. 103-105.
22. Kenzhegaliev A., Abilgazieva A., Shahmanova A, Kulbatyrov D., Saginayev A. Dynamics of the state of macrobenthos in the gulf of Tub-Karagan // 5th Annual International Conference on Material Science and Environmental Engineering, MSEE. China. December 15th-17th, 2017. P. 38-42. DOI: 10.1088/1757-899X/301/1/012116
23. Кенжегалиев А., Абилгазиева А.А., Шахманова А.К., Кулбатыров Д.К., Уразгалиева М.К., Кулынбай Е. Состояния макрозообентоса в районе залива Тюб-Караган Каспийского моря // United-Journal. 2018. N 23. С. 31-35.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Akimgali Kenzhegaliev analysed and processed the collected data and wrote the manuscript. Assylbek Sh. Kanbetov collected previously published materials on the north-eastern part of the Caspian Sea, analysed them and prepared the manuscript. Ainagul A. Abilgazieva and Aiauzhan K. Sakhmanova collected material from the previous year on heavy metal contamination of the area of artificial islands of the Kashagan field. Dauren K. Kulbatyrov collected previously published materials on the north-eastern part of the Caspian Sea, analysed them and prepared the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Акимгали Кенжегалиев проанализировал собранные данные, обработал их и написал рукопись. Асылбек Ш. Канбетов собрал ранее опубликованные материалы по северо-восточной части Каспийского моря, проанализировал, оформил рукопись. Айнагуль А. Абилгазиева собрал материал последнего года по состоянию фитопланктона в районе залива Тюб-Караган. Аяужан К. Шахманова собрал материал последнего года по по состоянию зоопланктона в районе залива Тюб-Караган. Даурен К. Кулбатыров собрал ранее опубликованные материалы по северо-восточной части Каспийского моря, проанализировал, оформил рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Акимгали Кенжегалиев / Akimgali Kenzhegaliev https://orcid.org/0000-0003-0571-4056
Асылбек Ш. Канбетов / Assylbek Sh. Kanbetov https://orcid.org/0000-0002-9990-0230
Айнагуль А. Абилгазиева / Ainagul A. Abilgazieva https://orcid.org/0000-0001-6914-1491
Аяужан К. Шахманова / Aiauzhan K. Shakhmanova https://orcid.org/0000-0003-1082-3038
Даурен К. Кулбатыров / Dauren K. Kulbatyrov https://orcid.org/0000-0002-9463-149X

Оригинальная статья / Original article
УДК 574:57.083.3
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-151-167

Оценка рекреационного потенциала некоторых бухт города Севастополя с использованием методов биоиндикации

Татьяна Б. Сигачева[1], Ирина И. Чеснокова[1], Ольга Л. Гостюхина[1], Сергей В. Холодкевич[2,3], Татьяна В. Кузнецова[2], Татьяна И. Андреенко[1,4], Неля П. Ковригина[1], Татьяна В. Гаврюсева[1], Максим П. Кирин[1], Антон С. Куракин[2]

[1]ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия
[2]ФГБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – обособленное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского цента Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия
[3]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
[4]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

Контактное лицо
Татьяна Б. Сигачева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел ихтиологии, ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»; 299011 Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2.
Тел. +7(8692)544110
Email mtk.fam@mail.ru
ORCID http://orcid.org/0000-0003-3125-898X

Формат цитирования
Сигачева Т.Б., Чеснокова И.И., Гостюхина О.Л., Холодкевич С.В., Кузнецова Т.В., Андреенко Т.И., Ковригина Н.П., Гаврюсева Т.В., Кирин М.П., Куракин А.С. Оценка рекреационного потенциала некоторых бухт города Севастополя с использованием методов биоиндикации // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 151-167. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-151-167

Получена 17 февраля 2020 г.
Прошла рецензирование 26 марта 2020 г.
Принята 21 июля 2020 г.

Резюме

Цель. Изучение комплекса биохимических параметров гепатопанкреаса и жабр черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), а также функционального показателя адаптивности кардиосистемы у моллюсков из некоторых Севастопольских бухт с разным уровнем рекреационной и антропогенной нагрузки.

Методы. Мидий отбирали из четырех севастопольских акваторий (в районе м. Хрустальный, б. Круглая, б. Казачья, б. Матюшенко) осенью 2018 г. Использовали методы биоиндикации, основанные на применении функционального (показатель адаптивности кардиосистемы) и биохимических показателей (активность антиоксидантных (АО) ферментов, аминотрансфераз, щелочной фосфатазы (ЩФ), продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и окислительной модификации белков (ОМБ)) тканей моллюсков, а также гидрохимические характеристики морской среды.

Результаты. Установлено влияние антропогенной нагрузки районов исследования на комплекс биохимических показателей тканей моллюсков. В то же время низкие значения $T_{восст}$ частоты сердечных сокращений (ЧСС) (менее 60 мин) у мидий из всех районов исследования свидетельствуют об эффективности биохимических изменений в тканях моллюсков, и возможном использовании всех тестируемых бухт для развития рекреационных видов отдыха.

Заключение. Результаты исследования позволили характеризовать экологическое состояние акваторий и дать рекомендации по их рациональному использованию. Для пляжно-купального отдыха и рекреационного рыболовства наиболее пригодными являются бухты Матюшенко и Казачья. Последняя акватория также имеет благоприятные условия и для развития водных видов спорта. Экологически менее благополучные б. Круглая и мыс Хрустальный требуют комплекса мер, направленных на улучшение качества поверхностных вод.

Ключевые слова
Мидия *Mytilus galloprovincialis*, биохимические показатели, показатель адаптивности кардиосистемы, комплексное загрязнение, рекреационный потенциал, бухты Севастополя, Черное море.

© 2021 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Assessment of recreational potential of Sevastopol bays using bioindication methods

Tatyana B. Sigacheva[1], Irina I. Chesnokova[1], Olga L. Gostyukhina[1], Sergey V. Kholodkevich[2,3], Tatiana V. Kuznetsova[2], Tatiana I. Andreenko[1,4], Nelya P. Kovrigina[1], Tatiana V. Gavruseva[1], Maksim P. Kirin[1] and Anton S. Kurakin[2]

[1]A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
[2]Scientific Research Centre for Ecological Safety, Russian Academy of Sciences, St Petersburg, Russia
[3]Saint Petersburg State University, St Petersburg, Russia
[4] Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Principal contact
Tatyana B. Sigacheva, PhD, Senior Researcher, Department of Ichthyology, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Royal Academy of Sciences; 2 Nakhimov Ave., Sevastopol, Russia 299011.
Tel. +7 (8692)544110
Email mtk.fam@mail.ru
ORCID http://orcid.org/0000-0003-3125-898X

How to cite this article
Sigacheva T.B., Chesnokova I.I., Gostyukhina O.L., Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Andreenko T.I., Kovrigina N.P., Gavruseva T.V., Kirin M.P., Kurakin A.S. Assessment of recreational potential of Sevastopol bays using bioindication methods. *South of Russia: ecology, development.* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 151-167. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-151-167

Received 17 February 2020
Revised 26 March 2020
Accepted 21 July 2020

Abstract
Aim. Study of a group of biochemical parameters of the hepatopancreas and gills of the Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. and the functional indicator of cardiac system adaptivity of mussels from Sevastopol bays with different levels of recreational and anthropogenic impact.
Methods. Mussels were collected from four Sevastopol water areas (Kruglaya Bay, Kazachya Bay, Matyushenko Bay and Cape Khrustalnii) in autumn 2018. The bioindication methods used were based on application of functional (cardiac system adaptability) and biochemical indicators (antioxidant enzymes activity [AEA], aminotransferases, the alkaline phosphatase [AP], and products of the lipid peroxidation [LPO] and protein oxidation [PO]) of mussel tissues. The hydrochemical parameters of the investigated areas were determined.
Results. The anthropogenic impact on a complex of biochemical indicators of mussels at the sampling sites was shown. At the same time, low values of mussel heart rate (HR) recovery time (T_{rec}) (less than 60 min.) in all sampling sites demonstrated the efficiency of biochemical changes in mussels and the possible use of all tested bays as recreational areas.
Conclusion. Results of the present research allow the characterization of the ecological status of these Sevastopol sea water areas and to make recommendations about their rational use. Matyushenko and Kazachya Bays are most suitable for beach recreation and recreational fishery. Kazachya Bay also has favourable conditions for the development of water sports. Kruglaya Bay and Cape Khrustalnii are less ecologically safe and require a series of actions to improve water quality.

Key Words
Mussel *Mytilus galloprovincialis*, biochemical parameters, indicator of cardiac system adaptivity, pollution, recreational potential, Sevastopol bays, Black Sea.

© 2021 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, морские природные комплексы испытывают все возрастающую антропогенную нагрузку, приводящую к серьезным экологическим и социально-экономическим последствиям. Наиболее сильному воздействию подвержена прибрежная зона, концентрирующая максимальное количество людей. По данным ВОЗ почти два миллиарда человек проживает в прибрежных морских и океанических районах [1]. На берегах водоемов Российской Федерации расположено около 60% всех санаториев, свыше 80% учреждений отдыха и 90% рекреационных объектов для пригородного отдыха [2]. Именно хозяйственное освоение территории, связанное с жизнедеятельностью человека (урбанизация, милитаризация, бесконтрольное и варварское использование морских ресурсов и др.), является доминирующим фактором различных трансформаций прибрежной экосистемы. За последние полвека экосистема Черного моря претерпела значительные структурные изменения, связанные с серьезной антропогенной нагрузкой на его акватории [3]. Только ежегодный сброс хозяйственно-бытовых стоков в Черное море достигает 571 млн. м^3, из которых на регион Севастополя приходится 10,8% [4].

К водным рекреационным ресурсам относят совокупность водных объектов с благоприятными для различных видов рекреационной деятельности характеристиками [5]. Абсолютно непригодными являются только сильнозагрязненные водные объекты, отдых на берегу которых неприятен. Наиболее ценными в рекреационном отношении являются те участки, на которых по имеющимся ресурсам и современному состоянию возможна организация наибольшего количества мест отдыха и разнообразие видов деятельности с благоприятным воздействием на организм человека [6]. В настоящее время среди основных методов оценки рекреационного потенциала прибрежной зоны водных объектов выделяют: количественные (бальная, суммирования рангов и др.) [7] и качественные (биоиндикация, биотестирование) методы [6]. Для оценки рекреационного потенциала прибрежной территории Севастополя разными исследователями в качестве основного критерия были предложены: рельеф и морфометрические показатели берегов [8], оценка единовременной численности и плотности отдыхающих на пляжах [9], социологические исследования рекреационного спроса на водные виды отдыха в Севастопольском регионе [2]. В то же время одним из важнейших факторов при выборе места для пляжного и других видов отдыха выступает чистота прибрежной зоны (пляжа) и, особенно, морской акватории, лежащие в основе районирования прибрежной зоны и определения возможностей развития различной рекреационной деятельности: рыболовства, спортивных, оздоровительных или других форм рекреации на воде. В связи с этим, особую ценность представляют методы биоиндикации, позволяющие оценить качество морской среды по откликам живых организмов в ней обитающих.

Для проведения биоиндикационных исследований выбирают биоиндикаторный вид – характерный представитель исследуемого водного объекта, и комплекс показателей разного уровня биологической организации. Для оценки качества водной среды рекомендовано исследование комплекса молекулярных показателей – биомаркеров, позволяющих определять негативные изменения в организме гидробионтов на ранних этапах развития, до появления видимых нарушений на организменном и популяционном уровнях организации [10; 11].

Среди наиболее информативных биомаркеров, позволяющих оценивать физиологическое состояние гидробионтов и качество среды их обитания, выделяют: антиоксидантные (АО) ферменты, индукция активности которых является неспецифической формой ответа организма на действие стресс-факторов [12-16], показатели тканевого повреждения при окислительном стрессе (показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ) и окислительной модификации белков (ОМБ)) [15; 17] и показатели физиологического состояния (активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы (ЩФ)) [18; 19]. Так, для оценки качества морских прибрежных севастопольских акваторий ранее нами был предложен комплекс биохимических показателей мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lam.) – характерного представителя бентосных сообществ Черноморского региона [16; 20; 21].

В то же время для оценки эффективности адаптивных реакций, происходящих на молекулярном уровне, рекомендовано изучение показателей более высокого порядка, а именно – описывающих функциональное состояние организмов. В связи с этим, для оценки состояния мидии *M. galloprovincialis* был предложен новый методологический подход, основанный на сравнительной оценке особенностей кардиоактивности и движения створок мидии [22-24], как индикативных показателей хронического стресса.

Таким образом, *целью* работы являлось изучение комплекса биохимических параметров гепатопанкреаса и жабр черноморской мидии *M. galloprovincialis*, а также функционального показателя адаптивности кардиосистемы мидий из некоторых Севастопольских бухт с разным уровнем рекреационной и антропогенной нагрузки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований служила черноморская мидия *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) – типичный представитель малакофауны Черного моря. Мидий отбирали осенью 2018 г. из четырех севастопольских акваторий (в районе м. Хрустальный, б. Круглая, б. Казачья, б. Матюшенко) с разным уровнем рекреационной нагрузки (рис. 1, табл. 1).

В пробах морской воды из районов исследования определяли солёность, содержание растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода на 5-е сутки ($БПК_5$), перманганатную окисляемость в щелочной среде, величину pH, кремний, а также минеральные и органические формы фосфора и азота. Анализы выполняли согласно общепринятым методикам [25; 26]. Образцы воды отбирали в 5-8 м от берега на глубине 0,5–1,0 м от поверхности воды. В связи с тем, что оценить трофность вод из районов исследования по индексу эвтрофикации

(E-TRIX) [27] не представилось возможным, так как для этого, кроме гидрохимических данных нужна информация о концентрации хлорофилла «а», полученные нами величины гидрохимических показателей сравнивали с концентрациями аналогичных показателей из условно чистых прибрежных районов Крыма.

С целью оценки функционального состояния моллюсков и качества среды их обитания из каждой бухты отбирали: 10 одноразмерных особей для определения биохимических показателей и 14-16 – для оценки особенностей кардиоактивности.

Материалом для биохимических исследований служили печень и жабры мидий. Органы несколько раз промывали холодным 0,85% физраствором, гомогенизировали и центрифугировали (10000 g) 15 минут на холоде. Для дальнейшего анализа использовали супернатанты.

В супернатантах определяли активность супероксиддисмутазы (СОД) (опт. ед./мин/мг белка) по реакции ингибирования восстановления нитросинего тетразолия в присутствии НАДН и феназинметасульфата [28] и каталазы (КАТ) (мкмоль H_2O_2/мин/мг белка) – по реакции разложения перекиси водорода [29].

Содержание ТБК-активных продуктов (ТБК-АП) (мкмоль МДА/г сырой ткани) регистрировали по реакции с 2-тиобарбитуровой кислотой [30].

Содержание окисленных форм белков (опт. ед./мг белка) определяли по реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином. Образовавшиеся в результате реакции производные 2,4-динитрофенилгидразона регистрировали при следующих длинах волн (λ): альдегидные и кетонные продукты нейтрального характера при 346 и 370 нм соответственно, альдегидные и кетонные продукты основного характера при 430 и 530 нм [31].

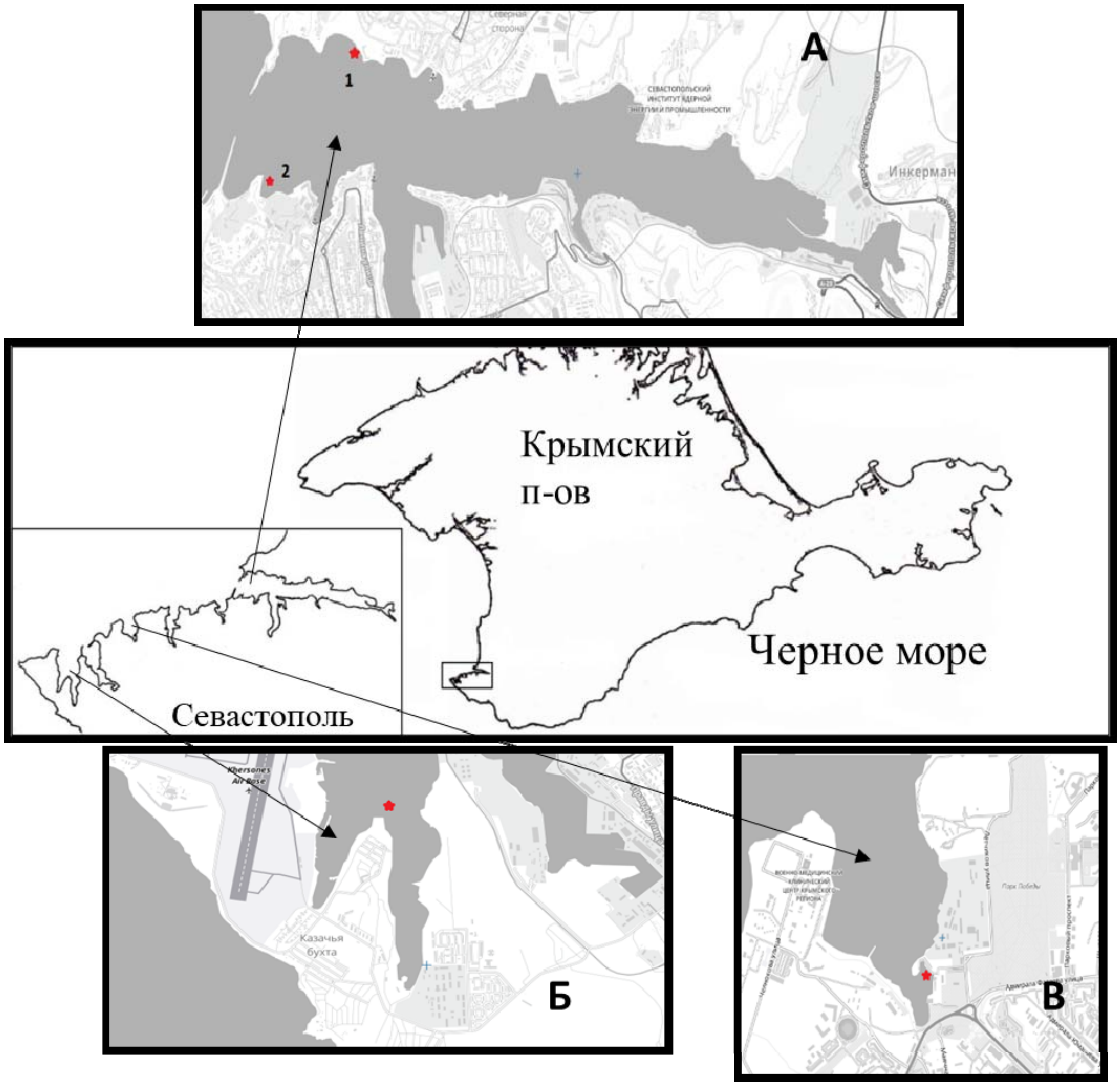


Рисунок 1. Карта-схема районов исследования: А – бухта Севастопольская (1 – б. Матюшенко, 2 – м. Хрустальный), В – б. Казачья, С – бухта Круглая звездочка (★) – место отбора проб
Figure 1. Schematic map of sampling sites: A –Sevastopol Bay (1 – Matyushenko Bay, 2 – Cape Khrustalnii) B – Kazachya Bay, C – Kruglaya Bay. Asterisk indicates sampling site

Таблица 1. Краткая характеристика районов исследования
Table 1. Brief description of sampling sites

Район исследования (координаты) Sampling sites (coordinates)	**Дата отбора проб** Sampling date	**Результаты визуального осмотра** Results of visual inspection	**Характеристика инфраструктурного обеспечения/уровня рекреационной нагрузки** Infrastructure characteristics/level of recreational load
м. Хрустальный (44.617626, 33.511528) Cape Khrustalnii (44.617626, 33.511528)	**26.09.2018**	**Поверхность металлических опор. Вода прозрачная, видимость 1,5-2 метра. Дно чистое, каменистое с небольшими зонами заиливания. Отмечено загрязнение различными пластиковыми отходами, кусками веревок** Surface of metal pillar. Water is clear, visibility 1.5-2 m. Bottom is clean, rocky with small silted areas. Pollution from various plastic wastes and pieces of rope was noted.	**Пляж находится в центре города, береговая линия оборудована шезлонгами, навесами, спасательным пунктом, с большим количеством кафе и ресторанов. В непосредственной близости расположены стоянка яхт и катеров, место курсирования рейсовых катеров, парома, прогулочных маломерных судов** Beach is located in centre of city, coastline is equipped with sun lounges, awnings, a rescue point and many cafes and restaurants. In the immediate vicinity are moorings for yachts and boats, a place for use of regular boats, ferries and pleasure boats.
б. Круглая (44.597430, 33.448286) Kruglaya Bay (44.597430, 33.448286)	**20.09.2018**	**Поверхность бетонной опоры причала. Вода мутная, видимость не более 30 см. Мидии покрыты слоем ила. Явного загрязнения нефтью нет, но присутствует запах нефтепродуктов** Surface of concrete pier pillar. Water is cloudy, visibility no more than 30 cm. Mussels are covered with a layer of silt. There is no obvious oil pollution but there is a smell of petroleum products.	**Береговая линия оборудована под пляж (шезлонги, навесы, спасательный пункт), с большим количеством кафе и ресторанов. В непосредственной близости расположен яхт клуб** Coastline has a beach with sun lounges, awnings and rescue point and many cafes and restaurants. In the immediate vicinity is a yacht club.
б. Казачья (44.579081, 33.409535/) Kazachya Bay (44.579081, 33.409535)	**25.09.2018**	**Поверхность цепи, фиксирующей бакен. Прозрачность воды около 1 м. Дно песчаное с отдельными островками зарослей водорослей. Отсутствуют визуальные признаки нефтяного загрязнения, мертвые организмы, пластик** Surface of chain fixing a buoy. Water transparency about 1 m. The bottom is sandy with scattered algae thickets. There are no visual signs of oil pollution, dead organisms or plastic.	**Береговая линия не оборудована под пляж. В кутовой части правого рога бухты находятся стоянки катеров, к водоему примыкает жилой массив многоквартирных домов, воинская часть и военный полигон. На южном берегу бухты также находится воинская часть. На центральном мысу расположен коттеджный посёлок. Левая кутовая часть бухты не оборудована** Coastline is not equipped as a beach. Along the right horn of the bay there are boat mooring areas, a housing estate with apartment buildings, a military unit facility and a military training ground. There is also a military unit on the south coast of the bay. At the central of the bay is a cottage village. The left horn of the bay is not equipped for recreation.
б. Матюшенко (44.629388, 33.522752) Matyushenko Bay (44.629388, 33.522752)	**02.10.2018**	**Поверхность бетонного укрепления. Вода прозрачная, видимость около 3 метров. Дно чистое галечное не заилено** Surface of concrete pillar. Water is clear, visibility about 3 m. Bottom is clean pebble and not silted.	**Береговая линия не оборудована под пляж (отсутствуют шезлонги, навесы, спасательный пункт), места общественного питания удалены. К пляжу примыкает военно-исторический музей «Михайловская батарея». В непосредственной близости расположено место курсирования рейсовых катеров** Coastline not equipped as a beach (there are no sun lounges, awnings or rescue point) and catering places are far away. The Mikhailovsky Battery military-historical museum adjoins the beach. In the immediate vicinity there is area for use of regular boats.

Активность аспартатаминотрансферазы (АСТ) (мкмоль/(мг белка×час)), аланинаминотрансферазы (АЛТ) (мкмоль/(мг белка×час)) и щелочной фосфатазы (ЩФ) (нмоль/ (мг белка×с)) в супернатантах определяли с использованием стандартных наборов реактивов «ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ» (Россия).

Все определения проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, г. Санкт-Петербург, Россия). Биохимические показатели пересчитывали на мг белка сырой массы ткани, концентрацию которого определяли с использованием стандартного набора реагентов «ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ» (Россия).

Оценку функционального состояния мидий проводили на основании анализа характеристик их кардиоритма в процессе тестирования по разработанному методу функциональной нагрузки [22]. В соответствии с методикой [23; 24], в качестве функциональной нагрузки использовалось кратковременное (на 1 час) снижение на 50% солености морской воды. После восстановления исходной солености воды измерялся показатель адаптивности кардиосистемы моллюсков к нагрузке – время восстановления $T_{восст}$ (в мин.) частоты сердечных сокращений (ЧСС) после снятия нагрузки, определяемого отдельно для каждого моллюска.

Результаты обрабатывали статистически, вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку средней. Нормальность распределения выборки проверяли с применением W-критерия Шапиро-Уилка. Достоверность различий между значениями биохимических показателей тканей моллюсков из разных бухт г. Севастополя проводили с применением U-критерия Манна-Уитни; между средними $T_{восст}$ ЧСС у мидий – по t-критерию Стьюдента. Различия считали достоверными при $p \leq 0,05$. Статистический анализ проводили с помощью компьютерных программ Past 3.15 и Microsoft Office Excel 2016.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрохимические исследования. Величины гидрохимических показателей морской воды из четырех севастопольских акваторий представлены в таблице 2.

Содержание растворенного кислорода в исследуемых акваториях колебалось в пределах 4,07–6,96 мл/л. Минимальное содержание отмечено в бухте Круглая 20 сентября. Оно было ниже предельно допустимой концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов (4,2 мл/л) на 0,13 мл/л [32]. Минимальному содержанию кислорода в бухте Круглая соответствовал также минимум солености (14,82‰) и максимум окисляемости (4,58 мг О/л), который превышал ПДК (4,0 мг О/л) на 0,58. В других бухтах содержание кислорода и окисляемость имели однородные значения и были ниже ПДК.

Таблица 2. Величины гидрохимических показателей морской воды из разных бухт города Севастополя
Table 2. Hydrochemical parameters of sea waters of Sevastopol bays

Показатели Parameter	**м. Хрустальный** Cape Khrustalnii	**б. Круглая** Kruglaya Bay	**б. Казачья** Kazachya Bay	**б. Матюшенко** Matyushenko Bay
S, ‰	17,74	14,82	17,87	17,70
O_2, мл/л O_2, ml/l	5,37	4,07	6,96	5,20
$БПК_5$, мг/л BOD_5, mg/l	1,09	1,43	1,17	1,07
pH in situ	7,51	8,17	8,33	8,35
Окисл., мгО/л Oxidab. mgO/l	3,57	4,58	3,64	3,65
NO_2, мкг/л NO_2, µg/l	1,9	9,7	0,9	2,3
NO_3, мкг/л NO_3, µg/l	32,4	629,7	14,7	38,6
NH_4, мкг/л NH_4, µg/l	66,4	170,7	79,2	76,1
N орг, мкг/л N org, µg/l	596,7	1055,4	703,3	879,6
PO_4, мкг/л PO_4, µg/l	3,9	21,6	1,9	7,1
P орг, мкг/л P org, µg/l	17,0	33,3	21,5	19,9
Si, мкг/л Si, µg/l	145,0	1328,7	107,8	100,3

Величины $БПК_5$ во всех пробах также имели однородные низкие значения, которые были ниже: от 1,5 до 1,9 раза ПДК = 2,0 мг/л для рыбохозяйственных водоемов. В бухте Круглая величина $БПК_5$ была максимальной по сравнению с другими исследуемыми акваториями (1,43 мг/л).

Концентрации минеральных форм азота во всех четырех акваториях изменялись в широких диапазонах: нитриты – от 0,9 до 9,7 мкг/л, нитраты – от 15 до 630 и

азот аммонийный – от 66 до 170 мкг/л. Величины минерального фосфора колебались от 1,9 до 21,6 мкг/л, концентрации кремния изменялись в пределах от 108 до 1329 мкг/л. Несмотря на высокие концентрации полученных нами биогенных веществ их значения были ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов (по нитритам – 0,02 мг/л, нитратам – 9,1 мг/л, азоту аммонийному – 0,39 мг/л, минеральному фосфору – 3,5 мг/л). Для кремния ПДК не существует. Возросшая рекреационная нагрузка на мелководную часть исследуемых бухт может свидетельствовать об увеличении содержания биогенных веществ, а также предпосылок создания экологически опасного гидрохимического фона (риски развития гипоксии и др.).

Биохимические исследования. Содержание ТБК-активных продуктов и активность антиоксидантных (АО) ферментов в гепатопанкреасе мидий из разных севастопольских акваторий представлены в таблице 3.

Таблица 3. Показатели прооксидантно-антиоксидантной системы гепатопанкреаса мидий *M. galloprovincialis* из разных бухт города Севастополя
Table 3. Indicators of pro-oxidant-antioxidant system in the hepatopancreas of mussels *M. galloprovincialis* from different Sevastopol bays

Район исследования Sampling sites	**ТБК-АП, мк/моль МДА/г ткани** TBARS, μmol MDA/g of tissue	**Активность СОД, опт. ед./мин/мг белка** SOD activity, opt. units/ min/mg of protein	**Активность КАТ, мкмоль H_2O_2/мин/мг белка** Catalase activity, μmol H_2O_2/min/mg protein
м. Хрустальный Cape Khrustalnii	77,96±14,44	25,61±5,03	7,89±1,47
б. Круглая Kruglaya Bay	92,25±11,46	37,8±6,2*	34,8±5,2*
б. Казачья Kazachya Bay	44,92±3,48*•	28,62±5,52	8,78±1,17•
б. Матюшенко Matyushenko Bay	24,62±2,87*•▪	10,95±1,91*•	9,15±1,87•

*Примечания: * – различия достоверны между значением показателей в гепатопанкреасе мидий из района мыса Хрустальный и других бухт; • – из б. Круглая и других районов, ▪ – из бухт Казачья и Матюшенко*
*Notes: * – differences are significant between the values in the hepatopancreas of mussels from the area of Cape Khrustalnii and other bays; • – from Kruglaya Bay and other areas, ▪ – from Kazachya and Matyushenko Bays*

Наиболее высокое содержание ТБК-активных продуктов было установлено в гепатопанкреасе мидий из бухты Круглая, которое в 2,0 и 3,7 раза превышало ($p \leq 0,05–0,01$) таковое у мидий из бухт Казачья и Матюшенко соответственно (табл. 3). Сравнительный анализ содержания ТБК-активных продуктов в гепатопанкреасе у особей из района мыса Хрустальный и бухты Круглая не показал достоверных отличий. Однако величина данного показателя у мидий из района мыса Хрустальный была в 1,7 и 3,2 раза выше ($p \leq 0,05–0,01$), чем у моллюсков из бухт Казачья и Матюшенко соответственно, а у мидий из бухты Казачья – в 1,8 раза больше, чем у моллюсков из бухты Матюшенко ($p \leq 0,01$) (табл. 3).

Так же, как и содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), активность СОД имела максимальное значение в гепатопанкреасе мидий из бухты Круглая и превышала активность этого фермента у мидий из района мыса Хрустальный и бухты Матюшенко в 1,5 и 3,5 раза ($p \leq 0,05–0,01$). У мидий из бухты Матюшенко активность СОД была наименьшей. Активность этого фермента в гепатопанкреасе мидий из района мыса Хрустальный была в 2,3 раза выше ($p \leq 0,01$) по сравнению с аналогичным показателем у мидий из бухты Матюшенко.

Наибольшая активность КАТ установлена у мидий из бухты Круглая, тогда как у мидий из остальных акваторий активность этого фермента была близкой и существенно ниже, чем у моллюсков из бухты Круглая – в 3,8–4,4 раза ($p \leq 0,01$) (табл. 3).

Данные по содержанию окисленных форм белков в гепатопанкреасе мидий из разных севастопольских акваторий представлены в таблице 4.

Уровень продуктов нейтрального характера и альдегидопроизводных основного характера был достоверно выше ($p \leq 0,05–0,001$) в гепатопанкреасе мидий, отобранных в районе мыса Хрустальный, по сравнению с другими акваториями (табл. 4), а содержание кетопроизводных основного характера (λ 530) и по сравнению с моллюсками из бухты Круглая ($p \leq 0,05$).

Минимальное содержание окисленных форм белков установлено в гепатопанкреасе мидий из бухты Матюшенко. Содержание продуктов нейтрального характера и альдегидопроизводных основного характера в гепатопанкреасе моллюсков из этой акватории было достоверно ниже по сравнению с соответствующими значениями у мидий, отобранных в районе мыса Хрустальный (λ 356, $p \leq 0,001$; λ 370, $p \leq 0,001$; λ 430, $p \leq 0,001$) и бухты Казачья (λ 356, $p \leq 0,001$; λ 370, $p \leq 0,001$; λ 430, $p \leq 0,001$), а в случае с альдегидопроизводными основного характера (λ 430) и по сравнению с мидиями из бухты Круглая ($p \leq 0,05$) (табл. 4).

Таблица 4. Содержание окисленных форм белков в гепатопанкреасе мидий *M. galloprovincialis* из разных бухт города Севастополя
Table 4. Content of oxidized forms of proteins in the hepatopancreas of mussels *M. galloprovincialis* from different Sevastopol bays

Район исследования Sampling sites	**Продукты нейтрального характера, опт. ед./мг белка** Neutral products, opt. units/mg protein		**Продукты основного характера, опт. ед./мг белка** Base products, opt. units/mg protein	
	альдегидные 346 нм aldehydic 346 nm	**кетонные 370 нм** ketonic 370 nm	**альдегидные 430 нм** aldehydic 430 nm	**кетонные 530 нм** ketonic 530 nm
м. Хрустальный Cape Khrustalnii	0,13±0,01	0,13±0,02	0,08±0,01	0,05±0,01
б. Круглая Kruglaya Bay	0,05±0,009*	0,05±0,01*	0,03±0,007*	0,01±0,006*
б. Казачья Kazachya Bay	0,06±0,008*	0,06±0,008*	0,04±0,007*	0,02±0,004
б. Матюшенко Matyushenko Bay	0,03±0,003*▪	0,03±0,003*▪	0,02±0,003*•▪	0,009±0,004

*Примечания: * – различия достоверны между содержанием окисленных форм белков в гепатопанкреасе мидий из района мыса Хрустальный и других бухт; • – из б. Круглая и других районов; ▪ – из бухт Казачья и Матюшенко*
*Notes: * – significant differences between the content of the oxidized forms of proteins in the hepatopancreas of mussels from Cape Khrustalnii and other bays; • – from Kruglaya Bay and other areas; ▪ - from Kazachya and Matyushenko Bays*

Как и в гепатопанкреасе, в жабрах мидий уровень ТБК-активных продуктов снижался в том же ряду бухт: б. Круглая → м. Хрустальный → б. Казачья → б. Матюшенко. Содержание ТБК-активных продуктов в жабрах мидий из б. Круглая было в 1,7 ($p \leq 0,05$) и 3,8 раза ($p \leq 0,01$) выше по сравнению с таковым в жабрах мидий из бухт Казачья и Матюшенко (табл. 5). В жабрах мидий из района мыса Хрустальный данный показатель был выше, чем у мидий из бухты Казачья – в 1,4 раза ($p \leq 0,05$), у мидий из бухты Матюшенко – в 3,2 раза ($p \leq 0,01$). У моллюсков из бухты Казачья содержание ТБК-активных продуктов превышало таковое у животных из бухты Матюшенко в 2,3 раза ($p \leq 0,01$).

Таблица 5. Показатели прооксидантно-антиоксидантной системы жабр мидий *M. galloprovincialis* из разных бухт города Севастополя
Table 5. Indicators of pro-oxidant-antioxidant system of gills in *M. galloprovincialis* from different Sevastopol bays

Район исследования Sampling sites	**ТБК-АП, мкмоль МДА/г ткани** TBARS, μmol MDA/g of tissue	**Активность СОД, опт. ед./мин/мг белка** SOD activity, opt. units /min/mg of protein	**Активность КАТ, мкмоль H_2O_2/мин/мг белка** Catalase activity, μmol H_2O_2/min/mg protein
м. Хрустальный Cape Khrustalnii	93,67±9,27	24,87±6,27	19,29±3,18
б. Круглая Kruglaya Bay	111,83±8,81	49,4±8,6*	25,1±1,38
б. Казачья Kazachya Bay	66,69±4,73*•	39,07±11,45	16,13±3,18•
б. Матюшенко Matyushenko Bay	29,33±5,83*•▪	14,42±2,09•	13,72±4,55•

*Примечания: * – различия достоверны между значением показателей в гепатопанкреасе мидий из района мыса Хрустальный и других бухт; • – из б. Круглая и других районов, ▪ – из бухт Казачья и Матюшенко*
*Notes: * – differences are significant between the values in the hepatopancreas of mussels from the area of Cape Khrustalnii and other bays; • – from Kruglaya and other areas, ▪ – from Kazachya and Matyushenko Bays*

Максимальная активность СОД и КАТ была установлена в жабрах моллюсков из бухты Круглая, а минимальная – у моллюсков из бухты Матюшенко (табл. 5). Активность СОД в жабрах мидий из бухты Круглая достоверно превышала таковую у мидий из района пляжа Хрустальный и бухты Матюшенко – в 2,0 ($p \leq 0,05$) и 3,5 раза ($p \leq 0,01$) соответственно. Активность КАТ в жабрах мидий из бухты Круглая была в 1,6 и 1,8 раза ($p \leq 0,05$) выше по сравнению с активностью этого фермента в жабрах мидий из бухт Казачья и Матюшенко (табл. 5).

Содержание окисленных форм белков в жабрах мидий из разных севастопольских акваторий представлено в таблице 6.

Уровень ОМБ в жабрах мидий, отобранных в районе пляжа Хрустальный, при всех длинах волн был достоверно выше ($p \leq 0,05–0,001$) по сравнению с таковым у мидий из других районов исследования и снижался в ряду: мыс Хрустальный → б. Круглая → б. Казачья → б. Матюшенко (табл. 6). Сравнительный анализ уровня ОМБ в жабрах мидий из бухты Круглая по сравнению с соответствующими показателями

моллюсков из бухты Казачья не показали достоверных отличий (табл. 6). Содержание продуктов нейтрального и основного характера в жабрах мидий из бухты Матюшенко было достоверно ниже по сравнению с таковым у моллюсков из бухты Казачья (λ 356, p ≤ 0,001; λ 370, p ≤ 0,001; λ 430, p ≤ 0,001; λ 530, p ≤ 0,05) и мыса Хрустальный (λ 356, p ≤ 0,001; λ 370, p ≤ 0,001; λ 430, p ≤ 0,001; λ 530, p ≤ 0,05) (табл. 6).

Активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы в тканях мидий из разных севастопольских акваторий представлены в таблице 7.

Таблица 6. Содержание окисленных форм белков в жабрах мидий *M. galloprovincialis* из разных бухт города Севастополя
Table 6. Content of oxidized forms of proteins in gills of *M. galloprovincialis* from different Sevastopol bays

Район исследования Sampling sites	**Продукты нейтрального характера, опт. ед./мг белка** Neutral products, opt. units/mg protein		**Продукты основного характера, опт. ед./мг белка** Base products, opt. units/mg protein	
	альдегидные 346 нм aldehydic 346 nm	**кетонные 370 нм** ketonic 370 nm	**альдегидные 430 нм** aldehydic 430 nm	**кетонные 530 нм** ketonic 530 nm
м. Хрустальный Cape Khrustalnii	0,32±0,04	0,34±0,04	0,2±0,04	0,14±0,04
б. Круглая Kruglaya Bay	0,11±0,04*	0,11±0,004*	0,09±0,04*	0,03±0,007*
б. Казачья Kazachya Bay	0,09±0,01*	0,09±0,01*	0,07±0,01*	0,05±0,007*
б. Матюшенко Matyushenko Bay	0,05±0,007*▪	0,05±0,007*▪	0,04±0,003*▪	0,02±0,002*▪

*Примечания: * – различия достоверны между содержанием окисленных форм белков в жабрах мидий из района мыса Хрустальный и других бухт; ▪ – из бухт Казачья и Матюшенко*
*Notes: * – significant differences between the content of the oxidized forms of proteins in the hepatopancreas of mussels from Cape Khrustalnii and other bays, ▪ – from Kazachya and Matyushenko Bays*

Таблица 7. Активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы в тканях мидий *M. galloprovincialis* из разных бухт города Севастополя
Table 7. Aminotransferases and alkaline phosphatase activities in the tissues of mussels *M. galloprovincialis* from different Sevastopol bays

Район исследования Sampling sites	**АЛТ геп, мкмоль/ час×мг белка** ALT hep, μmol/ hour×mg protein	**АСТ геп, мкмоль/ час×мг белка** AST hep, μmol/ hour×mg protein	**АЛТ ж, мкмоль/ час×мг белка** ALT G, μmol/ hour×mg protein	**АСТ ж, мкмоль/ час×мг белка** AST hep, μmol/ hour×mg protein	**ЩФ геп, нмоль/ сек×мг белка** AP hep, nmol/ sec×mg protein
м. Хрустальный Cape Khrustalnii	0,64±0,15	0,52±0,06	0,13±0,02	0,18±0,01	145±24,2
б. Круглая/ Kruglaya Bay	0,41±0,06	0,19±0,02*	0,64±0,03*	0,26±0,02	22,6±6,66*
б. Казачья/ Kazachya Bay	0,22±0,02*•	0,20±0,02*	0,12±0,02•	0,34±0,03	64±9,3*•
б. Матюшенко/ Matyushenko Bay	0,10±0,02*•	0,17±0,01*	0,05±0,006*•▪	0,18±0,02	80±17,3*•

*Примечания: * – различия достоверны между значением показателей в тканях мидий из района мыса Хрустальный и других бухт; • – из б. Круглая и других районов, ▪ – из бухт Казачья и Матюшенко; ж – жабры, геп – гепатопанкреас*
*Notes: * – significant differences between value of indicators in mussels from the area of the Cape Khrustalinii and other bays; • – from Kruglaya Bay and other areas, ▪ – from Kazach'ya and Matyushenko Bays; G – gills, hep – hepatopancreas*

Минимальные значения активности АЛТ и АСТ как в гепатопанкерасе, так и в жабрах были установлены у особей из б. Матюшенко, в то время как у мидий из районов мыса Хрустальный и бухты Круглая анализируемые показатели были существенно выше. Минимальные значения активности ЩФ в гепатопанкреасе были выявлены у особей из бухты Круглая, максимальные – у особей из района мыс Хрустальный.

Исследование функциональных показателей. Результаты тестирования адаптивности кардиосистемы мидий из районов исследования с помощью гипосоленостной функциональной нагрузки представлены в таблице 8.

Таблица 8. Результаты тестирования функционального состояния мидий *M. galloprovincialis* из разных бухт города Севастополя с помощью гипо-соленостной функциональной нагрузки
Table 8. Results of testing of functional state of mussels *M. galloprovincialis* from different Sevastopol bays by means of hypo-salinity functional loading

Район исследования Sampling sites	**$T_{восст}$, мин** T_{rec}, min
м. Хрустальный / Cape Khrustalnii	41±5,9
б. Казачья / Kazachya Bay	26±4,5
б. Матюшенко / Matyushenko Bay	51±7,4*

*Примечания: * – различия достоверны между значением $T_{восст}$ ЧСС мидий из бухты Казачья и Матюшенко*
*Notes: * – significant differences between T_{rec} value in mussels from Kazachya and Matyushenko Bays*

Результаты сравнительного анализа показателя адаптивности кардиосистемы позволили установить, что значение $T_{восст}$ ЧСС у мидий из бухты Казачья было достоверно ниже ($p \leq 0,05$) по сравнению с таковым у моллюсков из бухты Матюшенко. В то же время значения $T_{восст}$ ЧСС у мидий из всех районов исследования было менее 60 минут.

Результаты сравнительного анализа величин гидрохимических показателей в пробах морской воды из четырех севастопольских акваторий, позволили установить, что более чистыми являются бухты Казачья и Матюшенко. Несколько хуже экологическое состояние в районе мыса Хрустальный и самая загрязненная акватория – бухта Круглая. Величины биогенных веществ в бухте Круглой от 2 до 10 раз выше, чем в условно чистых прибрежных районах Крыма [33; 34]. По данным гидрологических и гидрохимических наблюдений и последующих расчетов интегральных показателей E-TRIX в севастопольских бухтах установлено, что значения индекса эвтрофикации обычно не превышали 4,0. В бухте Круглая максимальное значение составляло 3,73, а в условно чистом районе (2,0 мили от берега) – 2,11. Вопреки распространенному мнению, что прибрежные воды Севастопольского региона являются эвтрофированными, величины E-TRIX позволяют классифицировать класс воды бухты Круглая как переходный от олиготрофного к мезотрофному [35].

Анализ показателей прооксидантно-антиоксидантной системы в тканях мидий из севастопольских акваторий с разным уровнем антропогенной/ рекреационной нагрузки позволил выявить ряд особенностей. Содержание ТБК-активных продуктов в тканях моллюсков из района мыса Хрустальный и бухты Круглая достоверно не отличалось, и было выше по сравнению с таковым в тканях мидий из других районов исследования. При этом активность СОД и КАТ в гепатопанкреасе и СОД в жабрах моллюсков из района мыса Хрустальный была достоверно ниже, а содержание окисленных форм белков в жабрах и гепатопанкреасе – достоверно выше по сравнению с аналогичными показателями мидий из бухты Круглая. Оценить характер ответной реакции организма на комплекс неблагоприятных факторов среды позволяет анализ соотношения интенсивности ПОЛ и ОМБ с реакциями антиоксидантной (АО) системы. Увеличение активности АО ферментов при воздействии неблагоприятных факторов среды является неспецифической адаптивной реакцией организма, направленной на обезвреживание активных форм кислорода (АФК) [15; 36-38]. Снижение или сравнительно низкая активность АО ферментов, на фоне высокого содержания продуктов ПОЛ и ОМБ, напротив, свидетельствует о сдвиге прооксидантно-антиоксидантных реакций в сторону процессов свободно-радикального окисления (СРО) биомолекул [38-40]. В связи с этим, увеличение активности АО ферментов (КАТ, СОД) и повышение уровня ОМБ и ПОЛ в тканях мидий из б. Круглая, свидетельствуют о компенсаторном характере адаптации (стадия компенсации). В то же время ингибирование активности СОД и КАТ в гепатопанкреасе и СОД в жабрах мидий на фоне высокого содержания ТБК-активных продуктов и достоверного увеличения уровня ОМБ – прямого показателя тканевого повреждения при окислительном стрессе [41], может указывать на развитие патологического состояния у мидий, отловленных в районе мыса Хрустальный. Таким образом, анализ полученных результатов свидетельствует о высоком уровне генерации АФК и степени окислительных повреждений в тканях мидий из бухты Круглая и мыса Хрустальный, что характеризует их экологическое состояние как менее благоприятное. Так, согласно результатам гидрохимического анализа проб воды из районов исследования, концентрации минеральных и органических форм азота и фосфора, а также величины окисляемости имели максимальные значения в воде бухты Круглая (табл. 2). В то же время содержание нефтяных углеводородов (НУ) и хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) в донных осадках в районе мыса Хрустальный было выше по сравнению с таковыми в грунтах бухты Круглая [42]. Оба района характеризуются высокой рекреационной нагрузкой. Их береговая линия оборудована под пляж, с большим количеством прилегающих к воде кафе и ресторанов. Значительный вклад в рекреационную нагрузку в районе мыса Хрустальный оказывает соседство с бухтами Александровская и Артиллерийская, где расположена стоянка яхт и катеров, а также место курсирования рейсовых катеров и парома (табл. 1).

В гепатопанкреасе и жабрах моллюсков из бухты Казачья установлено более низкое содержание продуктов ОМБ по сравнению с таковым у мидий из района мыса Хрустальный, а ТБК-активных продуктов – и по сравнению с моллюсками из бухты Круглая. В то же

время активность СОД в жабрах и гепатопанкреасе моллюсков из бухты Казачья достоверно не отличалась по сравнению с таковой у мидий из бухты Круглая и мыса Хрустальный, что на фоне более низких значений показателей окислительного стресса в тканях мидий из бухты Казачья, можно расценивать как адаптивную реакцию, направленную на снижение интенсивности СРО. Напротив, более низкие содержания ТБК-активных продуктов, окисленных форм белков и активность АО ферментов в тканях мидий из бухты Матюшенко, свидетельствуют о более низком уровне комплексного загрязнения этой акватории по сравнению с другими районами исследования. В более ранних наших исследованиях [43], посвященных сравнительному анализу адаптационного потенциала двух биоиндикаторных видов двухстворчатых моллюсков (мидия и анадара *Anadara kagoshimensis*) Севастопольского побережья, мидия отличалась большей чувствительностью к характеристикам среды обитания (б. Казачья) по сравнению с анадарой. Это выражалось в более низкой активности СОД и каталазы в жабрах, чем у анадары. При этом все исследованные ткани мидии (гепатопанкреас, жабры, нога) характеризовались существенно более высоким содержанием ТБК-активных продуктов, чем у анадары [43]. Таким образом, результаты настоящего исследования, вместе с полученными нами ранее данными [43], свидетельствуют о высокой чувствительности мидий к характеристикам среды обитания, а также влиянии антропогенной/рекреационной нагрузки районов исследования на показатели прооксидантно-антиоксидантной системы тканей мидий и преобладании процессов СРО в тканях моллюсков из более загрязненных акваторий.

В то же время для оценки экологического состояния прибрежных морских акваторий, наряду с показателями прооксидантно-антиоксидантной системы, рекомендовано исследование биомаркеров, характеризующих состояние основных метаболических путей в организме: активность аминотрансфераз – метаболизма аминокислот и белков; активность щелочной фосфатазы – фосфорно-кальциевого обмена. Увеличение активности аминотрансфераз в тканях мидий из бухты Круглая является, по-видимому, последствием стрессового состояния, при котором происходит торможение синтеза белков, усиливается образование ферментов катаболизма аминокислот и глюконеогенеза. Аминотрансферазы выступают в качестве 1-го звена непрямого катаболизма аминокислот через превращение их в глутамат, с другой стороны, они выступают в качестве поставщиков субстрата для реакций глюконеогенеза [44]. У особей из района мыса Хрустальный также выявлены высокие значения данных параметров в гепатопанкреасе, однако в жабрах они снижены, и находятся на уровне показателей животных из бухт Матюшенко и Казачья. Сходные результаты получены для зеленой мидии *Perna viridis*: при длительной экспозиции тяжелыми металлами (кадмий и цинк) активность АСТ и АЛТ в гепатопанкерасе возрастала, в то время как в жабрах – снижалась [45]. Для пресноводных моллюсков родов *Planobris, Physa, Biomphalaria* из акваторий с высоким уровнем загрязнения было также отмечено увеличение активности аминотрансфераз и содержания глюкозы в их тканях. Выявленные особенности авторы объясняли интенсификацией глюконеогенеза, необходимого для энергетического обеспечения тканей моллюсков при антропогенном воздействии [18].

Низкие значения активности ЩФ в гепатопанкреасе мидий из бухты Круглая по сравнению с показателями животных из других акваторий свидетельствуют о том, что ростовые процессы замедлены. Это подтверждается визуальным наблюдением: при отборе моллюсков было отмечено только наличие крупных взрослых особей и отсутствие молодых. Другой причиной снижения активности ЩФ как при остром, так и при хроническом воздействии различного рода поллютантов является разобщение окислительного фосфорилирования. Это происходит вследствие блокировки ферментов, вовлеченных в окислительный метаболизм, изменения проницаемости мембран митохондрий для протонов и возникновения градиента концентрации. Отклонения в функционировании митохондрий приводят к их морфологическим изменениям, нарушению энергетического обеспечения клетки, что в свою очередь отражается на активности ЩФ [46]. Показано, что сточные воды и повышенные концентрации тяжелых металлов (ТМ) в воде вызывают ингибирование активности ЩФ у моллюсков *Galba truncatula* (взяты все ткани животного) [47]. Другими авторами установлено, что ТМ не оказывали существенного влияния на активность ЩФ в жабрах *Perna canaliculus*, в то время как в гепатопанкреасе – вызвали как повышение, так и понижение этого показателя в зависимости от соотношения ТМ в различных акваториях [19].

Оценка адаптивности кардиосистемы мидий методом гипо-соленостной функциональной нагрузки показала наличие достоверных различий между значениями $T_{восст}$ ЧСС для мидий из бухт Казачья и Матюшенко. Однако для всех трех бухт этот показатель был менее 60 минут (табл. 8), что, с учетом ранее полученных значений $T_{восст}$ ЧСС для моллюсков Севастопольского побережья [23], а также для мидий Адриатического [48] и Балтийского [49] морей характерно для акваторий с хорошим экологическим состоянием. Как известно, в адаптации видов к определенным условиям существования ведущую роль играют биохимические изменения, обеспечивающие поддержание обмена на определенном уровне. Энергетически менее затратные биохимические сдвиги используются организмом и в процессе индивидуальных адаптаций [50]. Как правило, изменяется интенсивность метаболизма и соотношение между отдельными его путями [11], что и было показано в настоящем исследовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данные гидрохимических характеристик морской воды и результаты биохимических исследований тканей мидий из четырех севастопольских акваторий позволили характеризовать их экологическое состояние. Наиболее экологически благополучной и пригодной для развития

рекреационного рыболовства, а также пляжно-купального отдыха является бухта Матюшенко. В тканях мидий из бухты Круглая и района мыса Хрустальный, оборудованных под пляжный отдых, отмечены самые высокие показатели тканевого повреждения и активность трансаминаз, что характеризует их экологическое состояние как неудовлетворительное. Мидии из бухты Казачья занимают промежуточное положение по уровню окислительного стресса в их тканях между животными из района мыса Хрустальный и из бухты Матюшенко, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии акватории в рамках изученных показателей. В то же время низкие значения $T_{восст}$ ЧСС (менее 60 мин) у мидий из всех районов исследования свидетельствуют об эффективности биохимических изменений в тканях моллюсков, и возможном использовании всех тестируемых бухт для развития рекреационных видов отдыха.

Таким образом, для пляжно-купального отдыха и рекреационного рыболовства наиболее пригодными являются б. Матюшенко и Казачья, тогда как последняя акватория имеет благоприятные условия и для развития водных видов спорта. Для того, чтобы один вид рекреационного использования акватории не являлся помехой для других видов, береговую зону необходимо делить на сектора, в соответствии с возможностями акватории, и учитывать морфометрические характеристики пляжей. М.С. Орловой [51] было установлено, что рельеф и морфометрические показатели береговой зоны являются важными параметрами при оценке рекреационного потенциала. Так, галечный пляж бухты Матюшенко имеет небольшую площадь, и требует зонирования: для пляжно-купального отдыха, рекреационного рыболовства. Бухта Казачья, включает систему пляжей как с галечными, так и скалистыми берегами и может быть использована как для пляжного отдыха и рыболовства, так и дайвинга, отдыха с использованием маломерного моторного флота, катания на байдарках и яхтах, виндсерфинга. Однако левую кутовую часть бухты необходимо обозначить как природный заказник с ограниченным доступом, в связи с тем, что там обитают многие виды гидробионтов, занесенных в Красную книгу Севастополя. При этом в данный момент там производится вылов бентосных полихет, креветок. А в качестве рекреационной зоны эта территория представляет опасность для людей в связи с тем, что в той части водоема создаются благоприятные условия для развития патогенной микрофлоры (низкая соленость, высокая температура и слабый водообмен). Экологически менее благополучные, согласно результатам исследований биохимических показателей тканей моллюсков и гидрохимических характеристик морской воды, акватории (б. Круглая, пляж Хрустальный) могут также быть использованы для пляжно-купального отдыха и развития водных видов спорта, но требуют комплекса мер, направленных на улучшение качества поверхностных вод: ликвидацию очагов загрязнения, предотвращение попадания городских стоков в прибрежные морские акватории, а также мероприятия по улучшению водообмена с открытым морем. Последние включают: модернизацию имеющихся гидротехнических сооружений с целью устранения препятствий нормального водообмена, дноуглубительные работы по фарватеру, создание гидротехнических сооружений на выходе из бухты, которые способствовали бы защите берегов и вместе с тем усиливали водообмен в бухте благодаря направлению основных течений открытого моря.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-44-920010 р_а, а также по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ номер гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was funded by RFBR and the Government of Sevastopol according to research project № 18-44-920010 p_a, and supported by state assignment № AAAA-A18-118021350003-6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.World Health Report 2002. Reducing Risks, Promoting Healthy Life. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2002. P. 7-14.

2.Лазицкая Н.Ф., Яковенко И.М. Геомаркетинговые подходы к изучению перспектив развития водной рекреации в Севастополе // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия «География». 2012. Т. 25 (64). N 3. С. 67-77.

3.Куманцов М.И., Страхова Т.В. Международные научные исследования морских биологических ресурсов и морской среды как основа устойчивого развития черноморского рыбохозяйственного комплекса // Материалы VII международной конференции Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона, Керчь, 20-23 июня, 2012. Т. 1. С. 3-10.

4.Шахматова О.А. Отклик гидробионтов на стрессовые факторы морских экосистем // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2012. N 7. С. 98-113.

5.Кусков А.С. Туристское ресурсоведение. М.: Академия, 2008. 208 с.

6.Беличева Л.А., Бусарова В.П. Оценка современного экологического состояния и рекреационного потенциала урбанизированных водотоков г. Петрозаводска // Материалы IV Школы-конференции молодых ученых с международным участием, Петрозаводск, 26-28 августа, 2011. С. 94-99.

7.Оборин М.С., Климова О.В. К вопросу изучения методик оценки и подходов к исследованию рекреационной деятельности // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2015. N 1. С. 19-28.

8.Долотов В.В., Иванов В.А. Повышение рекреационного потенциала Украины: кадастровая оценка пляжей Крыма. Севастополь: Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2007. 194 с.

9.Яковенко И.М., Лазицкая Н.Ф., Яковенко Е.В. Апробация методики мониторинга качества пляжей на примере г. Севастополь // Ученые записки Таврического

национального университета имени В. И. Вернадского. Серия «География». 2014. Т. 27 (66). N 3. С. 41-51.
10. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 215 с.
11. Немова Н.Н., Мещерякова О.В., Лысенко Л.А., Фокина Н.Н. Оценка состояния водных организмов по биохимическому статусу // Труды Карельского научного центра РАН. 2014. N 5. С. 18-29.
12. Regoli F., Principato G. Glutathione, glutathione-dependent and antioxidant enzymes in mussel, *Mytilus galloprovincialis*, exposed to metals under field and laboratory conditions: implications for the use of biochemical biomarkers // Aquatic Toxicology. 1995. V. 31. Iss. 2. P. 143-164. DOI: 10.1016/0166-445X(94)00064-W
13. Regoli F., Nigro M., Orlando E. Lysosomal and antioxidant responses to metals in the Antarctic scallop *Adamussium colbecki* // Aquatic Toxicology. 1998. V. 40. Iss. 4. P. 375-392. DOI: 10.1016/S0166-445X(97)00059-3
14. Vlahogianni T., Dassenakis M., Scoullos M.J., Valavanidis A. Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals' pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece // Marine Pollution Bulletin. 2007. V. 54. N 9. P. 1361-1371. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2007.05.018
15. Regoli F., Giuliani M. Oxidative pathways of toxicity and oxidative stress biomarkers in marine organisms // Marine Environmental Research. 2014. V. 93. P. 106-117. DOI: 10.1016/j.marenvres.2013.07.006
16. Soldatov A.A., Gostyukhina O.L., Golovina I.V. Functional states of antioxidant enzymatic complex of tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lam. under conditions of oxidative stress // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2014. V. 50. N 3. P. 206-214.
17. Valavanidis A., Vlahogianni T., Dassenakis M., Scoullos M. Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2006. V. 64. Iss. 2. P. 178-189. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2005.03.013
18. El-Khayat H.M.M., Hamid H.A., Gaber H.S., Mahmoud K.M.A., Flefel H.E. Snails and Fish as Pollution Biomarkers in Lake Manzala and Laboratory A: Lake Manzala Snails // Fisheries and Aquaculture Journal. 2015. V. 6. Iss. 4. P. 1-9.
19. Chandurvelan R., Marsden I.D., Glover C.N., Gaw S. Assessment of a mussel as a metal bioindicator of coastal contamination: Relationships between metal bioaccumulation and multiple biomarker responses // Science of the Total Environment. 2015. V. 511. P. 663-675. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.064
20. Soldatov A.A., Gostyukhina O.L., Golovina I.V. Antioxidant enzyme complex of tissues of the bivalve *Mytilus galloprovincialis* Lam. under normal and oxidative-stress conditions: a review // Applied Biochemistry and Microbiology. 2007. V. 43. N 5. P. 556-562. DOI: 10.1134/S0003683807050092
21. Гостюхина О.Л., Андреенко Т.И. Ферментное и низкомолекулярное звенья антиоксидантного комплекса двух видов черноморских моллюсков с разной устойчивостью к окислительному стрессу: *Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) // Журнал общей биологии. 2018. Т. 79. N 6. С. 482-492. DOI: 10.1134/S0044459618060040
22. Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Trusevich V.V., Kurakin A.S., Ivanov A.V. Peculiarities of valve movement and of cardiac activity of the bivalve mollusk *Mytilus galloprovincialis* at various stress actions // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2009. V. 45. N 4. P. 524-526. DOI: 10.1134/S0022093009040100
23. Холодкевич С.В., Кузнецова Т.В., Куракин А.С., Солдатов А.А., Гостюхина О.Л., Головина И.В., Андреенко Т.И., Кирин М.П. Новый методологический подход к оперативной оценке экологического состояния прибрежных морских акваторий // Известия ТИНРО. 2018. Т. 194. С. 215-238. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-215-238
24. Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Sharov A.N., Kurakin A.S., Lips U., Kolesova N., Lehtonen K.K. Applicability of bioelectronic cardiac monitoring system for the detection of biological effects of pollution in bioindicator species in the Gulf of Finland // Journal of Marine Systems. 2017. V. 171. P. 151-158. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2016.12.005
25. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С.Г. Орадовского. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 264 с.
26. Методические указания N 30. М.: Гидрометеоиздат, 1966. 140 с.
27. Vollenweider R.A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea. Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index // Environmentrics. 1998. V. 9. Iss. 3. P. 329-357. DOI: 10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9
28. Nishikimi M., Appaji N., Yagi K. Occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen // Biochemical and Biophysical Research Communications. 1972. V. 46. Iss. 2. P. 849-854. DOI: 10.1016/s0006-291x(72)80218-3
29. Girin S.V. Modification of method of determination of catalase activity in biological substrates // Lab. Diagn. 1999. N 4. P. 45-46.
30. Ohkawa H., Ohishi N., Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction // Analytical Biochemistry. 1979. V. 95. Iss. 2. P. 351-358. DOI: 10.1016/0003-2697(79)90738-3
31. Дубинина Е.Е., Бурмистов С.О., Ходов Д.А., Поротов И.Г. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения // Вопросы медицинской химии. 1995. Т. 41. N 1. С. 24-26.
32. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждено Приказом Федерального агентства по рыболовству N 20 от 18.01.2010.
33. Куфтаркова Е.А., Губанов В.И., Ковригина Н.П., Еремин И.Ю., Сеничева М.И. Экологическая оценка современного состояния вод в районе взаимодействия Севастопольской бухты с прилегающей частью моря // Морской экологический журнал. 2006. Т. 5. N 1. С. 72-91.
34. Марикультура мидий на Черном море / Под ред. В.Н. Иванова. Национальная академия наук Украины. Институт биологии южных морей им. А.О.

Ковалевского. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. 314 с.
35. Губанов В.И., Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Родионова Н.Ю. Диагноз качества вод Черного моря в районе г. Севастополя // Материалы III международной конференции «Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона», Керчь, 10-11 октября, 2008. С. 90-97.
36. Sies H. Biochemistry of Oxidative Stress // Angewandte Chemie International Edition in English. 1986. V. 25. N 12. P. 1058-1071.
37. Doyotte A., Cossu C., Jacquin M.-C., Babut M, Vasseur P. Antioxidant enzymes, glutathione and lipid peroxidation as relevant biomarkers of experimental or field exposure in the gills and the digestive gland of the freshwater bivalve *Unio tumidus* // Aquatic Toxicology. 1997. V. 39. Iss. 2. P. 93-110. DOI: 10.1016/S0166-445X(97)00024-6
38. Livingstone D.R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // Marine Pollution Bulletin. 2001. V. 42. N 8. P. 656-666. DOI: 10.1016/s0025-326x(01)00060-1
39. Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты / Под ред. Е.Б. Меньщиковой, В.З. Ланкина, И.А Бондарь., Н.Ф. Круговых, В.А. Труфакина. М.: Фирма «Слово», 2006. 556 с.
40. Welker A.F., Moreira D.C., Campos E.G., Hermes-Lima M. Role of redox metabolism for adaptation of aquatic animals to drastic changes in oxygen availability // Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology. 2013. V. 165. Iss. 4. P. 384-404. DOI: 10.1016/j.cbpa.2013.04.003
41. Isma M., Bairi Y., Sifi K., Soltani N. Protein carbonyls as biomarkers of oxidative stress induced by cadmium in *Donax trunculus*: Gonad contents during exposure and recovery // Fresenius Environmental Bulletin. 2016. V. 25. N 12a. P. 5889-5895.
42. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Под ред. О.Г. Миронова, С.В. Алёмова. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 276 с.
43. Gostyukhina O.L., Andreenko T.I. Tissue Metabolism and the State of the Antioxidant Complex in the Black Sea Mollusks *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) and *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 with Different Tolerances to Oxidative Stress // Russian Journal of Marine Biology. 2019. V. 45. Iss. 3. P. 211-220. DOI: 10.1134/S1063074019030039
44. Мартемьянов В.И. Стресс у рыб: защитные и повреждающие процессы // Биология внутренних вод. 2002. N 4. С. 3-13.
45. Mohite V.T., Lahir Y.K., Pathare M., Agwuocha S., Mane U.H. Study on the effects of exposure of sub lethal dose of cadmium and zinc on the enzymatic activity in the tissues of green mussel – *Perna viridis* (L) from Ratnagiri coast, Maharashtra // Journal of ecophysiology and occupational health. 2011. V. 11. Iss. 3-4. P. 131-140. DOI: 10.18311/jeoh/2011/2258
46. Sonawane S.M. Effect of heavy metals on lysosomal enzyme alkaline phosphatase activity of bivalve *L. marginalis* // IOSR Journal of Pharmacy. 2017. V. 7. Iss. 7. P. 53-58.
47. Banaee M., Taheri S. Metal bioaccumulation, oxidative stress, and biochemical alterations in the freshwater snail (*Galba truncatula*) exposed to municipal sewage // Journal of Advances in Environmental Health Research. 2019. V. 7. Iss. 1. P. 8-17. DOI: 10.22102/JAEHR.2018.145241.1100
48. Kholodkevich S., Sharov A., Kuznetsova T., Kurakin A., Joksimović D., Nikolić M. Physiological testing of *Mytilus galloprovincialis* for the environmental assessing of coastal marine areas: a case study in Boka Kotorska Bay (the Adriatic Sea) // Chemistry and Ecology. 2019. P. 631-643. URL: https://www.researchgate.net/publication/333219394_Physiological_testing_of_Mytilus_galloprovincialis_for_the_environmental_assessing_of_coastal_marine_areas_a_case_study_in_Boka_Kotorska_Bay_the_Adriatic_Sea (дата обращения: 20.09.2019) DOI: 10.1080/02757540.2019.1618282
49. Kuznetsova T.V., Kholodkevich S.V., Kurakin A.S. Experience on ecological status assessment based on adaptive potential diagnostics in selected invertebrates of the Baltic Sea sub-regions // Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika. 2018. V. 11. N 2. P. 75-85. DOI: 10.13140/RG.2.2.18159.94883
50. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 153 с.
51. Орлова М.С. Геоморфологическая оценка рекреационного потенциала побережья северо-западного Крыма // Геоморфология. 2010. N 2. С. 102-107. URL: https://doi.org/10.15356/0435-4281-2010-2-102-107 (дата обращения: 26.09.2019)

REFERENCES

1.World Health Report 2002. Reducing Risks, Promoting Healthy Life. Geneva, Switzerland, World Health Organization, 2002, pp. 7-14.
2.Lazitskaya N.F. Yakovenko I.M. Geomarketing approaches to studying the prospects for the development of water recreation in Sevastopol. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: «Geografiya» [Scientific notes of the Tavrichesky National University named after IN AND. Vernadsky Series "Geography"]. 2012, vol. 25 (64), no. 3, pp. 67-77. (In Russian)
3.Kumantsov M.I., Strakhova T.V. Mezhdunarodnye nauchnye issledovaniya morskikh biologicheskikh resursov i morskoi sredy kak osnova ustoichivogo razvitiya chernomorskogo rybokhozyaistvennogo kompleksa [International scientific research of marine biological resources and the marine environment as the basis for sustainable development of the Black Sea fishery complex]. *Materialy VII mezhdunarodnoi konferentsii Sovremennye rybokhozyaistvennye i ekologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona, Kerch', 20-23 June, 2012* [Proceedings of VII International Scientific Conference Modern fisheries and environmental problems of the Azov-Black Sea region, Kerch, 20-23 June, 2012]. Kerch, 2012, vol. 1, pp. 3-10. (In Russian)
4.Shakhmatova O.A. The response of aquatic organisms to stress factors of marine ecosystems. Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana [Ecosystems, their optimization and protection]. 2012, no. 7, pp. 98-113. (In Russian)
5.Kuskov A.S. *Turistskoe resursovedenie* [Tourism resource studies]. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 208 p. (In Russian)
6.Belicheva L.A., Busarova V.P. Otsenka sovremennogo ekologicheskogo sostoyaniya i rekreatsionnogo potentsiala

urbanizirovannykh vodotokov Petrozavodska [Assessment of the current environmental status and recreational potential of urbanized watercourses in Petrozavodsk]. *Materialy IV Shkoly-konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, Petrozavodsk, 26-28 August 2011* [Proceedings of the IV School-Conference of Young Scientists with international participation, Petrozavodsk, 26-28 August, 2011]. Petrozavodsk, 2011, pp. 94-99. (In Russian)
7.Oborin M.S., Klimova O.V. Revisiting the studies of assessment methodologies and research approaches of the recreational activities. Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences]. 2015, no. 1, pp. 19-28. (In Russian)
8.Dolotov V.V., Ivanov V.A. *Povyshenie rekreatsionnogo potentsiala Ukrainy: kadastrovaya otsenka plyazhei Kryma.* [Improving the recreational potential of Ukraine: cadastral evaluation of Crimean beaches] Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine Publ., 2007, 194 p. (In Russian)
9.Yakovenko I.M., Lazitskaja N.F., Yakovenko E.V. Approbation of methodology for monitoring the quality of beaches on the example of Sevastopol. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: «Geografiya» [Scientific notes of the Tavrichesky National University named after IN AND. Vernadsky Series "Geography"]. 2014, vol. 27 (66), no. 3, pp. 41-51. (In Russian)
10. Nemova N.N., Vysotskaya R.U. *Biokhimicheskaya indikatsiya sostoyaniya ryb* [Biochemical indication of fish condition]. Moscow, Nauka Publ., 2004, 215 p. (In Russian)
11. Nemova N.N., Meshcheryakova O.V., Lysenko L.A., Fokina N.N. The assessment of the fitness of aquatic organisms relying on the biochemical status. *Trudy KarNTs RAN* [Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2014, vol. 5, pp. 18-29. (In Russian)
12. Regoli F., Principato G. Glutathione, glutathione-dependent and antioxidant enzymes in mussel, *Mytilus galloprovincialis*, exposed to metals under field and laboratory conditions: implications for the use of biochemical biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 1995, vol. 31, iss. 2, pp. 143-164. DOI: 10.1016/0166-445X(94)00064-W
13. Regoli F., Nigro M., Orlando E. Lysosomal and antioxidant responses to metals in the Antarctic scallop *Adamussium colbecki*. *Aquatic Toxicology*, 1998, vol. 40, iss. 4, pp. 375-392. DOI: 10.1016/S0166-445X(97)00059-3
14. Vlahogianni T., Dassenakis M., Scoullos M.J., Valavanidis A. Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals' pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, vol. 54, no. 9, pp. 1361-1371. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2007.05.018
15. Regoli F., Giuliani M. Oxidative pathways of toxicity and oxidative stress biomarkers in marine organisms. *Marine Environmental Research*, 2014, vol. 93, pp. 106-117. DOI: 10.1016/j.marenvres.2013.07.006
16. Soldatov A.A., Gostyukhina O.L., Golovina I.V. Functional states of antioxidant enzymatic complex of tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lam. under conditions of oxidative stress. Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2014, vol. 50, no. 3, pp. 206-214.
17. Valavanidis A., Vlahogianni T., Dassenakis M., Scoullos M. Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2006, vol. 64, iss. 2, pp. 178-189. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2005.03.013
18. El-Khayat H.M.M., Hamid H.A., Gaber H.S., Mahmoud K.M.A., Flefel H.E. Snails and Fish as Pollution Biomarkers in Lake Manzala and Laboratory A: Lake Manzala Snails. Fisheries and Aquaculture Journal. 2015, vol. 6, iss. 4, pp. 1-9.
19. Chandurvelan R., Marsden I.D., Glover C.N., Gaw S. Assessment of a mussel as a metal bioindicator of coastal contamination: Relationships between metal bioaccumulation and multiple biomarker responses. *Science of the Total Environment*, 2015, vol. 511, pp. 663-675. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.064
20. Soldatov A.A., Gostyukhina O.L., Golovina I.V. Antioxidant enzyme complex of tissues of the bivalve *Mytilus galloprovincialis* Lam. under normal and oxidative-stress conditions: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2007, vol. 43, no. 5, pp. 556-562. DOI: 10.1134/S0003683807050092
21. Gostyukhina O.L., Andreenko T.I. Enzymatic and low-molecular weight units of antioxidant complex in two species of the Black Sea mollusks with different resistance to oxidative stress: *Mytilus galloprovincialis* Lam. and *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906). *Biology Bulletin Review*, 2018, vol. 79, no. 6, pp. 483-493. (In Russian) DOI: 10.1134/S0044459618060040
22. Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Trusevich V.V., Kurakin A.S., Ivanov A.V. Peculiarities of valve movement and of cardiac activity of the bivalve mollusc *Mytilus galloprovincialis* at various stress actions. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2009, vol. 45(4), pp. 524-526. DOI: 10.1134/S0022093009040100
23. Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Kurakin A.S., Soldatov A.A., Gostukhina O.L., Golovina I.V., Andreenko T.I., Kirin M.P. New methodological approach to express assessment of ecological state for the coastal sea waters. *Izvestiya TINRO*, 2018, vol. 194, pp. 215-238. (In Russian) DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-215-238
24. Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Sharov A.N., Kurakin A.S., Lips U., Kolesova N., Lehtonen K.K. Applicability of bioelectronic cardiac monitoring system for the detection of biological effects of pollution in bioindicator species in the Gulf of Finland. *Journal of Marine Systems*, 2017, vol. 171, pp. 151-158. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2016.12.005
25. Oradovskii S.G., ed. *Rukovodstvo po metodam khimicheskogo analiza morskikh vod* [Guidance of chemical analysis of sea waters methods]. SPb., Gidrometeoizdat Publ., 1993, 264 p. (In Russian)
26. *Metodicheskie ukazaniya no. 30* [Guidelines no. 30]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1966, 140 p. (In Russian)
27. Vollenweider R.A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea. Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmentrics*, 1998, vol. 9, iss. 3, pp. 329-357. DOI: 10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9

28. Nishikimi M., Appaji N., Yagi K. Occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1972, vol. 46, iss. 2, pp. 849-854. DOI: 10.1016/s0006-291x(72)80218-3
29. Girin S.V. Modification of method of determination of catalase activity in biological substrates. Laboratory Diagnostics. 1999, no. 4, pp. 45-46.
30. Ohkawa H., Ohishi N., Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 1979, vol. 95, iss. 2, pp. 351-358. DOI: 10.1016/0003-2697(79)90738-3
31. Dubinina E.E., Burmistrov S.O., Khodov D.A., Porotov I.G. Oxidative modification of human blood serum proteins; the method of its determination. Voprosy meditsinskoi khimii [Problems of Medical Chemistry]. 1995, vol. 41, no. 1, pp. 24-26. (In Russian)
32. *Normativy kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya v tom chisle normativov PDK vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya. Utverzhdeno Prikazom Federal'nogo agentstva po rybolovstvu N 20 ot 18.01.2010.* [Quality standards for fishery water bodies. Approved by Order of the Federal Fisheries Agency, no. 20 dated 18.01.2010]. 2010. (In Russian)
33. Kuftarkova E.A., Gubanov V.I., Kovrigina N.P., Eremin I.Y., Senicheva M.I. Ecological assessment of modern state of waters in the region of interaction of the Sevastopol bay and part of the sea contiguous to it. Morskoi ekologicheskii zhurnal [Marine ekological journal]. 2006, vol. 5, no. 1, pp. 72-91. (In Russian)
34. Ivanov V.N., ed. *Marikul'tura midii na Chernom more* [Mariculture of mussel on the Black sea]. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2007, 314 p. (In Russian)
35. Gubanov V.I., Kuftarkova E.A., Kovrigina N.P., Rodionova N.Yu. Diagnoz kachestva vod Chernogo morya v raione g. Sevastopolya [The diagnosis of water quality of the Black Sea in the region of Sevastopol]. *Materialy III mezhdunarodnoi konferentsii "Sovremennye problemy ekologii Azovo-Chernomorskogo regiona", Kerch, 10-11 October 2008* [Proceedings of III International Conference "Modern problems of the Azov-Black Sea region", Kerch, 10-11 October, 2008]. Kerch, 2008, pp. 90-97. (In Russian)
36. Sies H. Biochemistry of Oxidative Stress. Angewandte Chemie International Edition in English. 1986, vol. 25, no. 12, pp. 1058-1071.
37. Doyotte A., Cossu C., Jacquin M.-C., Babut M, Vasseur P. Antioxidant enzymes, glutathione and lipid peroxidation as relevant biomarkers of experimental or field exposure in the gills and the digestive gland of the freshwater bivalve *Unio tumidus*. *Aquatic Toxicology*, 1997, vol. 39, iss. 2, pp. 93-110. DOI: 10.1016/S0166-445X(97)00024-6
38. Livingstone D.R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 2001, vol. 42, no. 8, pp. 656-666. DOI: 10.1016/s0025-326x(01)00060-1
39. Men'shchikova E.B., Lankin V.Z., Zenkov N.K., Bondar' I.A., Krugovykh N.F., Trufakin V.A., eds. *Okislitel'nyi stress. Prooksidanty i antioksidanty* [Oxidative stress. Prooxidants and antioxidants]. Moscow, Slovo Publ., 2006, 556 p. (In Russian)
40. Welker A.F., Moreira D.C., Campos E.G., Hermes-Lima M. Role of redox metabolism for adaptation of aquatic animals to drastic changes in oxygen availability. *Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 2013, vol. 165, iss. 4, pp. 384-404. DOI: 10.1016/j.cbpa.2013.04.003
41. Isma M., Bairi Y., Sifi K., Soltani N. Protein carbonyls as biomarkers of oxidative stress induced by cadmium in *Donax trunculus*: Gonad contents during exposure and recovery. Fresenius Environmental Bulletin. 2016, vol. 25, no. 12a, pp. 5889-5895.
42. Mironov O.G., Alyomov S.V., eds. *Sanitarno-biologicheskie issledovaniya pribrezhnykh akvatorii yugo-zapadnogo Kryma v nachale KhKhI veka* [Sanitary and biological studies of the South-Western Crimea coastal waters at the beginning of XXI century]. Simferopol, PP "ARIAL" Publ., 2018, 276 p. (In Russian)
43. Gostyukhina O.L., Andreenko T.I. Tissue Metabolism and the State of the Antioxidant Complex in the Black Sea Mollusks *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) and *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 with Different Tolerances to Oxidative Stress. *Russian Journal of Marine Biology*, 2019, vol. 45, iss. 3, pp. 211-220. DOI: 10.1134/S1063074019030039
44. Martemyanov V.I. Stress in fish: process of adaptation and damage. *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology]. 2002, no. 4, pp. 3-13. (In Russian)
45. Mohite V.T., Lahir Y.K., Pathare M., Agwuocha S., Mane U.H. Study on the effects of exposure of sub lethal dose of cadmium and zinc on the enzymatic activity in the tissues of green mussel – *Perna viridis* (L) from Ratnagiri coast, Maharashtra. *Journal of ecophysiology and occupational health*, 2011, vol. 11, iss. 3-4, pp. 131-140. DOI: 10.18311/jeoh/2011/2258
46. Sonawane S.M. Effect of heavy metals on lysosomal enzyme alkaline phosphatase activity of bivalve *L. marginalis*. IOSR Journal of Pharmacy. 2017, vol. 7, iss. 7, pp. 53-58.
47. Banaee M., Taheri S. Metal bioaccumulation, oxidative stress, and biochemical alterations in the freshwater snail (*Galba truncatula*) exposed to municipal sewage. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 2019, vol. 7, iss. 1, pp. 8-17. DOI: 10.22102/JAEHR.2018.145241.1100
48. Kholodkevich S., Sharov A., Kuznetsova T., Kurakin A., Joksimović D., Nikolić M. Physiological testing of *Mytilus galloprovincialis* for the environmental assessing of coastal marine areas: a case study in Boka Kotorska Bay (the Adriatic Sea). *Chemistry and Ecology*, 2019, pp. 631-643. Available at: https://www.researchgate.net/publication/333219394_Physiological_testing_of_Mytilus_galloprovincialis_for_the_environmental_assessing_of_coastal_marine_areas_a_case_study_in_Boka_Kotorska_Bay_the_Adriatic_Sea (accessed 20.09.2019) DOI: 10.1080/02757540.2019.1618282
49. Kuznetsova T.V., Kholodkevich S.V., Kurakin A.S. Experience on ecological status assessment based on adaptive potential diagnostics in selected invertebrates of the Baltic Sea sub-regions. *Fundamental and applied hydrophysics*, 2018, vol. 11, no. 2, pp. 75-85. DOI: 10.13140/RG.2.2.18159.94883
50. Shvarts S.S. *Ekologicheskie zakonomernosti evolyutsii* [Ecological patterns of evolution]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 153 p. (In Russian)
51. Orlova M.S. Geomorphological assessment of recreational potential of the coast of the North-Western Crimea. *Geomorfologiya,* 2010, no. 2, pp. 102-107. (In Russian) Available at: https://doi.org/10.15356/0435-4281-2010-2-102-107 (accessed 26.09.2019)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татьяна Б. Сигачева определяла содержание окисленных форм белков в гепатопанкреасе и жабрах мидий, описывала результаты, участвовала в написании и редактировании статьи. Ирина И. Чеснокова определяла активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы, описывала результаты в тексте статьи, участвовала в написании и редактировании статьи. Ольга Л. Гостюхина проводила отбор проб тканей у мидий, выполняла пробоподготовку и участвовала в определении активности СОД, каталазы и ТБК-активных продуктов, участвовала в написании рукописи. Сергей В. Холодкевич анализировал данные кардиоактивности мидий, принимал участие в редактировании рукописи. Татьяна В. Кузнецова проводила отбор мидий, замеры размеров, опыты с регистрацией кардиоактивности мидий из разных бухт, анализировала данные, написала часть по кардиоактивности, проводила статистический анализ данных по кардиоактивности, принимала участие в редактировании рукописи. Татьяна И. Андреенко определяла показатели прооксидантно-антиоксидантной системы гепатопан-креаса и жабр, участвовала в написании и редакции рукописи. Нелли П. Ковригина определяла гидрохимические характеристики морской воды в районах исследования, описывала результаты в тексте статьи. Татьяна В. Гаврюсева проводила отбор проб у мидий, анализировала данные, редактировала рукопись и несет ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы. Максим П. Кирин отвечал за доставку моллюсков, участвовал в обсуждении результатов. Антон С. Куракин обеспечивал работу оборудования для проведения работ для изучения кардиоактивности мидий.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatyana B. Sigacheva determined the content of oxidized forms of proteins in hepatopancreas and gills of mussels, described the results, and participated in writing and editing the manuscript. Irina I. Chesnokova determined the activity of aminotransferases and alkaline phosphatase, described the results and participated in the writing and editing of the manuscript. Olga L. Gostyukhina carried out mussel tissue sampling, performed sample preparation, participated in determining the activity of SOD, catalase and TBA-reactive products and participated in writing the manuscript. Sergey V. Kholodkevich analysed data on mussel cardiac activity and participated in editing the manuscript. Tatiana V. Kuznetsova carried out selection of mussels, measurement of sizes, experiments with registration of cardiac activity of mussels from different bays, analyzed data, wrote the part on cardiac activity, carried out statistical analysis of data on cardiac activity and participated in editing the manuscript. Tatiana I. Andreenko determined indicators of prooxidant-antioxidant system of hepatopancreas and gills and participated in the writing and editing of the manuscript. Nelya P. Kovrigina determined hydrochemical characteristics of seawater in sampling sites and participated in the editing of the manuscript. Tatiana V. Gavruseva took samples from mussels, analysed the data, and wrote the manuscript and responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions. Maksim P. Kirin was responsible for the delivery of mollusks and participated in the discussion of the results. Anton S. Kurakin provided the equipment for work to study the cardiac activity of mussels.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Татьяна Б. Сигачева / Tatyana B. Sigacheva https://orcid.org/0000-0003-3125-898X
Ирина И. Чеснокова / Irina I. Chesnokova https://orcid.org/0000-0002-7883-0755
Ольга Л. Гостюхина / Olga L. Gostyukhina https://orcid.org/0000-0002-0069-7990
Сергей В. Холодкевич / Sergey V. Kholodkevich https://orcid.org/0000-0002-7561-9743
Татьяна В. Кузнецова / Tatiana V. Kuznetsova https://orcid.org/0000-0002-4848-1806
Татьяна И. Андреенко / Tatiana I. Andreenko https://orcid.org/0000-0002-1165-5358
Нелли П. Ковригина / Nelya P. Kovrigina https://orcid.org/0000-0002-6734-8285
Татьяна В. Гаврюсева / Tatiana V. Gavruseva https://orcid.org/0000-0002-9102-0861
Максим П. Кирин / Maksim P. Kirin https://orcid.org/0000-0002-4214-565X
Антон С. Куракин / Anton S. Kurakin https://orcid.org/0000-0003-2981-8458

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»
можете ознакомиться на сайте **http://ecodag.elpub.ru**

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала
по контактам:
Гусейнова Надира Орджоникидзевна, к.б.н., доцент, Email dagecolog@mail.ru
моб. тел. +79285375323
Иванушенко Юлия Юрьевна, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

Адрес редакции: 367001, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, тел./факс: +7(8722) 56-21-40

Учредитель (соучредители) журнала:
ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"
If you have any questions, please contact the editorial office:
Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323
Yuliya Yu. Ivanushenko, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
tel. / fax: +7 (8722) 56-21-40

Founders of journal:
The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Издание зарегистрировано Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.
Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.
Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.
Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.