

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



Том 15 № 1 2020

ISSN 1992-1098  
e-ISSN 2413-0958

# ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

---

Vol.15 no. 1 2020

# SOUTH OF RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ****Главный редактор**

**Шестопалов Александр Михайлович**, заведующий отделом экспериментального моделирования и патогенеза инфекционных заболеваний, руководитель Евразийского центра зоонозных инфекций Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины Сибирского отделения Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор (Новосибирск, Россия)

**Заместители главного редактора**

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

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

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

**Рабазанов 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>

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ****Председатель**

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

**Сопредседатели**

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

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

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

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

**Члены редакционного совета**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**EDITORIAL COUNCIL****Chairman**

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

**Co-Chairs**

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

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

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

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

**Editorial Council Members**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ***Яковенко Н.В., Тен Р.В., Крутов Н.Р., Сафонова И.В., Гостеева Ю.А.*

Модель инновационного профиля как способ оценки инновационной устойчивости региона (Воронежская область).....6-15

*Селифонова Ж.П., Часовников В.К., Самышев Э.З., Макаревич П.Р.*

Состояние морской экосистемы в районе устья реки Агой (Черное море).....16-27

**ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ***Ушивцев В.Б., Востоков С.В., Ахмедова Г.А., Галактионова М.Л., Котеньков С.А.*

Современное состояние и хозяйственная ценность астакофауны в отдельных районах восточного шельфа Каспийского моря.....28-36

**ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ***Литвинская С.А.*

Флорофитоценологическое разнообразие Западного Кавказа.....37-48

*Асеева Т.А., Зенкина К.В.*

Экологическая устойчивость тритикале к неблагоприятным факторам окружающей среды.....49-59

**ГЕОЭКОЛОГИЯ***Неведров Н.П.*

Профильное распределение и миграция тяжелых металлов в почвах Курской агломерации (модельные опыты).....60-68

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ***Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А.*

Прогнозно-картографическое моделирование продуктивности пастбищ Волгоградской области на основе данных дистанционного зондирования.....69-78

*Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А., Чибилёв А.А. (мл.)*

Резервы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и их зависимость от гетерогенности посевов в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья.....79-88

**МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ***Аношко П.Н., Макаров М.М., Попов С.Б., Дегтев А.И., Деникина Н.Н., Дзюба Е.В.*

Оценка коэффициентов уравнения акустической силы цели на основе морфологии плавательного пузыря байкальского омуля.....89-98

*Кузина Т.В., Кузин А.В.*

Использование маркера оксидативного стресса (МДА) и цитогенетического маркера в системе эколого-генетического мониторинга Северного Каспия.....99-106

*Бондарева Л.В., Мильчакова Н.А.*Методические рекомендации по описанию старовозрастных деревьев, имеющих особое природоохранное значение (на примере *Juniperus excelsa* M. Bieb., мыс Сарыч, Юго-Западный Крым).....107-117**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТОКСИКОЛОГИЯ***Гаврюсева Т.В.*

Исследование визуальных патологий у рыб Юго-Западного побережья Черного моря.....118-129

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ***Колесников С.И., Вардуни В.М., Тимошенко А.Н., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В.*

Оценка экотоксичности наночастиц оксидов кобальта, меди, никеля и цинка по биологическим показателям состояния чернозема обыкновенного.....130-136

*Маджид Д.С., Решетников М.В., Ерёмин В.Н., Шешнёв А.С.*

Концентрация подвижных форм тяжелых металлов и магнитные свойства почв г. Вольск Саратовской области.....137-144

*Бадмаева Е.Н., Деулин И.Ю., Гуляева М.А., Базаров Л.Д., Доржиев Ц.З., Джамалутдинов Д.М.*

Фенология гнездования гусеобразных в Байкальской Сибири.....145-150

**КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....151**

**GENERAL PROBLEMS***Yakovenko N.V., Ten R.V., Krutov N.R., Safonova I.V., Gosteyeva Y.A.*

An innovation profile model as a means of assessing the innovative sustainability of a region (Voronezh region, Russia).....6-15

*Selifonova Zh.P., Chasovnikov V.K., Samyshev E.Z., Makarevich P.R.*

State of marine ecosystem near the mouth of the Agoi River (Black Sea).....16-27

**ECOLOGY OF ANIMALS***Ushivtsev V.B., Vostokov S.V., Akhmedova G.A., Galaktionova M.L., Kotenkov S.A.*

Current state and economic value of astacofauna in certain areas of the eastern shelf of the Caspian Sea.....28-36

**ECOLOGY OF PLANTS***Litvinskaya S.A.*

Florophytocenotic diversity of the Western Caucasus.....37-48

*Aseeva T.A., Zenkina K.V.*

Environmental sustainability of triticales to adverse environmental factor.....49-59

**GEOECOLOGY***Nevedrov N.P.*

Profile distribution and migration of heavy metals in the soils of the Kursk agglomeration (model experiments).....60-68

**AGROCULTURAL ECOLOGY***Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A.*

Forecast-cartographic modeling of pasture production of the Volgograd region based on remote sensing.....69-78

*Gulyanov Yu.A., Chibilyov A.A. Chibilyov A.A. Jr.*

Reserves for increasing yield and quality of winter wheat grain and their dependence on the heterogeneity of crops in the conditions of the steppe zone of the Orenburg Urals.....79-88

**METHODS OF ENVIRONMENTAL STUDIES***Anoshko P.N., Makarov V.V., Popov S.B., Degtev A.I., Denikina N.N., Dzyuba E.V.*Estimation of the coefficients of the equation of acoustic target strength based on the morphology of *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) swim bladder.....89-98*Kuzina T.V., Kuzin A.V.*

Use of oxidative stress (MDA) markers and cytogenetic markers in the ecological-genetic monitoring of the Northern Caspian Sea.....99-106

*Bondareva L.V., Milchakova N.A.*Methodical recommendations for the description of a tree as a natural monument (through the example of *Juniperus excelsa* M. Bieb., Cape Sarych, south-western Crimea).....107-117**ECOLOGICAL TOXICOLOGY***Gavruseva T.V.*

The study of external pathologies in fish of the south-western coast of the Black Sea.....118-129

**BRIEF REPORTS***Kolesnikov S.I., Varduni V.M., Timoshenko A.N., Denisova T.V., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V.*

Estimation of ecotoxicity of nanoparticles of cobalt, copper, nickel and zinc oxides on biological indicators of the state of ordinary chernozem.....130-136

*Majeed D.S., Reshetnikov M.V., Eremin V.N., Sheshnev A.S.*

Concentration of mobile forms of heavy metals and magnetic properties of soils in the town of Vol'sk, Saratov region, Russia.....137-144

*Badmaeva E.N., Deulin I.Yu., Gulyaeva M.A., Bazarov L.D., Dorzhiev T.Z., Jamalutdinov J.M.*Nestling phenology of *Anseriformes* in the Baikal Siberia region, Russia.....145-150**CONTACT INFORMATION**

.....151

Оригинальная статья / Original article  
УДК 332.1  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-6-15

# Модель инновационного профиля как способ оценки инновационной устойчивости региона (Воронежская область)

Наталья В. Яковенко , Роман В. Тен, Никита Р. Крутов, Ирина В. Сафонова, Юлия А. Гостеева

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

## Контактное лицо

Наталья В. Яковенко, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой социально-экономической географии и регионоведения, Воронежский государственный университет; 394068 Россия, г. Воронеж, ул. Хользунова, д. 40.  
Тел. +79191889232  
Email [n.v.yakovenko71@gmail.com](mailto:n.v.yakovenko71@gmail.com)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

## Формат цитирования

Яковенко Н.В., Тен Р.В., Крутов Н.Р., Сафонова И.В., Гостеева Ю.А. Модель инновационного профиля как способ оценки инновационной устойчивости региона (Воронежская область) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 6-15. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-6-15

Получена 13 ноября 2019 г.  
Прошла рецензирование 13 декабря 2019 г.  
Принята 18 января 2020 г.

## Резюме

**Цель** – разработка модели инновационного профиля как способа оценки инновационной устойчивости региона (Воронежская область).

**Материал и методы.** В работе применены системный, сравнительный и экономико-статистический методы. Расчеты проведены с использованием программных пакетов MS Excel и Statistica. База данных выполнена в ретроспективе за период 2010-2017 гг. Проведена оценка инновационной устойчивости на основе ресурсного подхода, используя четыре группы ресурсных показателей, характеризующих состояние технологического, кадрового, финансового и научного секторов. Рассчитана результирующая компонента.

**Результаты.** Результаты расчетов обобщающего показателя свидетельствуют о достаточно развитой региональной инновационной системе, имеющей как потенциал для реализации эффективной инновационной устойчивой деятельности, так и уже достигнутые эффективные результаты. Однако имеются кризисные значения показателей, таких как доля внутренних затрат на научные исследования и разработки, индекс физического объема инвестиций в основной капитал и доля исследователей, имеющих ученую степень. В свою очередь кризисность результирующей компоненты требует разработки определённых рекомендаций, способствующих эффективному использованию имеющегося потенциала.

**Заключение.** В работе решена актуальная практико-ориентированная задача в области социально-экономико-географических исследований – разработана модель инновационного профиля, которая дает возможность оперативно и достоверно определить степень инновационной устойчивости региона. Проведенная оценка показателей инновационного потенциала региона позволила комплексно и адекватно выявить «сильные и слабые» стороны региональной инновационной системы Воронежской области и определить основные стратегические задачи.

## Ключевые слова

Модель, инновационный профиль, оценка, инновационная устойчивость, регион, Воронежская область.

# An Innovation Profile Model as a Means of Assessing the Innovative Sustainability of a Region (Voronezh Region, Russia)

Nataliya V. Yakovenko , Roman V. Ten, Nikita R. Krutov, Irina V. Safonova and Yulia A. Gosteyeva

Voronezh State University, Voronezh, Russia

## Principal Contact

Nataliya V. Yakovenko, Dr Geogr. Sci., Professor and Head, Department of Social and Economic Geography and Regional Studies, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University; 40 Kholzunova St., Voronezh, 394068 Russia.

Tel. +79191889232

Email [n.v.yakovenko71@gmail.com](mailto:n.v.yakovenko71@gmail.com)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

## How to cite this article

Yakovenko N.V., Ten R.V., Krutov N.R., Safonova I.V., Gosteyeva Y.A. An innovation profile model as a means of assessing the innovative sustainability of a region (Voronezh region, Russia). *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 6-15. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-6-15

Received 13 November 2019

Revised 13 December 2019

Accepted 18 January 2020

## Abstract

**Aim.** The development of an innovation profile model as a means of assessing the innovative sustainability of the region (Voronezh region, Russia).

**Material and Methods.** The study employed system, comparative and economic-statistical methods. Calculations were conducted using MS Excel and Statistica software packages. The database was created in retrospect for the period 2010-2017. Assessment of innovation sustainability based on the resource approach was undertaken using four groups of resource indicators that characterize the state of technological, human resources, financial and scientific sectors. The effective component was calculated.

**Results.** The results of calculations of the generalizing indicator indicate a sufficiently developed regional innovation system, which has not only the potential for implementing effective innovative sustainable activities but has already achieved effective results. However, there are crisis indicator values such as the share of internal expenditures on researches and development, the index of physical volume of investments in fixed capital and the share of researchers with a degree. In turn, the effective component's criticality requires the development of certain recommendations that contribute to the effective use of existing potential.

**Conclusion.** A solution to an actual practice-oriented issue in the field of socio-economic and geographical research is presented: a developed innovation profile model which makes it possible to determine the degree of innovation sustainability of the region quickly and reliably. Assessment of the indicators of innovative potential of this region made it possible to identify the 'strengths and weaknesses' of the innovation system of the Voronezh region comprehensively and adequately and to determine the principal future strategic objectives.

## Key Words

Model, innovative profile, assessment, innovative sustainability, region, Voronezh region.

## ВВЕДЕНИЕ

Последствия глобальных экологических изменений и ответные меры на них находят все больший резонанс в мире. Большое количество мероприятий правительств, фирм, научно-исследовательских институтов и гражданского общества за последние два десятилетия направлено на минимизацию негативных экологических последствий. Эти виды деятельности сформулированы для широкого круга территориальных контекстов: движения местных граждан (например, местные Инициативы повестки дня XXI века), интегративные региональные или городские программы устойчивого развития, национальная политика в области чистых технологий стратегии, директивы ЕС или глобальные договоры. Мировым сообществом признана необходимость перехода к концепции новой экономики, ориентированной на повышение качества жизни и социальную справедливость, снижение рисков для окружающей среды [1-5]. Связанные с этим фактические и планируемые преобразования весьма актуальны для городов, регионов, стран и, в конечном счете, глобального общества [6]. Как следствие, региональные исследования ученых показали рост интереса к участию в решении вопросов устойчивого развития [7-12].

Экономико-географы приступили к решению последствий проблем устойчивости для долгосрочного глобального социально-экономического развития. Социально-экономическая устойчивость любой региональной системы включает несколько составляющих, таких как: организационная, ресурсная, кадровая, деловая и социальная устойчивость. В свою очередь, инновационная устойчивость региональной социально-экономической системы – это: «...способность системы в течение определенного периода времени генерировать создание объектов интеллектуальной собственности с последующей их коммерциализацией в производственный сектор с целью существенного изменения структуры промышленности и развития производств нового технологического уклада» [13-15].

Инновационная устойчивость региона отражает основательность, прочность и надежность элементов региональной инновационной системы, ее равновесие, а также возможность противостоять как внутренним, так и внешним воздействиям негативного характера. Для количественной оценки инновационной устойчивости региона целесообразно применить модель инновационного профиля, которая будет представлена далее. Инновации широко признаны в качестве важного фактора социально-экономического развития. Системы инноваций можно найти на всех уровнях экономики: национальном, региональном и секторальном. По сравнению с национальным уровнем, регионы важны близостью всех акторов и возможностью создавать социальные сети. Географическая близость имеет потенциал для создания конкурентных преимуществ в условиях взаимодействия, обучения, доступа к навыкам и сотрудничеству в области развития и бизнеса [16].

*Цель исследования* – разработка модели инновационного профиля как способа оценки инновационной устойчивости региона (Воронежская область).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Использованы системный, сравнительный, экономико-статистический методы исследования, а также программные пакеты MS Excel и Statistica. Формирование базы данных выполнено в ретроспективе за период 2010-2017 гг. Проведена оценка инновационного потен-

циала с точки зрения ресурсного подхода на основе четырех групп ресурсных показателей. Было предложено пять оценочных блоков, которые характеризуют состояние технологического, кадрового, финансового, научного секторов, а также результативную компоненту.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди региональных властей растет понимание того, что экономический рост и конкурентоспособность их регионов во многом зависят от способности местных фирм к инновациям [17-20]. Понятие инновационной системы представляется актуальным для реализации разработки эффективной региональной инновационной политики, поскольку оно широко используется для описания инновационного процесса в различных отраслях промышленности в различных странах. Согласно статистическим данным по объему инновационных товаров Воронежская область занимает 6-место среди регионов ЦФО, несмотря на значительный рост суммарных объемов в 2015 г., последние годы регион демонстрирует средние показатели, не выходя в лидеры. Динамическое изменение объемов инновационных товаров представлено на рисунке 1.

Актуальной проблемой является объективная оценка инновационного потенциала региона как фактора, способствующего эффективному устойчивому развитию региональной инновационной системы, для изучения которой необходим комплексный методический анализ. Среди отечественных публикаций можно выделить целый ряд работ, посвященных тематике оценки инновационного развития субъектов [13-18].

Для оценки инновационной устойчивости была использована модель, основанная на ресурсном подходе, в котором определены конкретные группы ресурсов, благоприятствующие развитию инновационного потенциала. Кроме этого проводится расчет результативной компоненты – интегральный результат использования ресурсных возможностей региона. Результаты расчета были скомпонованы в следующие оценочные блоки, которые характеризуют инновационный потенциал региональной социально-экономической системы региона: технологии, кадры, финансы, наука и результативный компонент (табл. 1, 2).

Модель инновационного профиля Воронежской области можно представить графически, но для этого необходимо рассчитать координаты обобщающего показателя инновационного потенциала. Результат представлен на рис. 2. По уровню рассчитанных значений выделим 3 зоны:

1 зона ( $I \geq Z$ ) – удовлетворительное состояние, которое адекватно поставленным целям инновационного развития. Необходимо внести преобразования на продление позитивных тенденций в развитии. Сильная сторона инновационной устойчивости.

2 зона ( $R < I < Z$ ) – кризисное состояние. Необходимо внести ограниченные изменения для реализации задач инновационного развития.

3 зона ( $I \leq R$ ) – неудовлетворительное состояние, которое требует радикальных мероприятий. Слабая сторона инновационного потенциала и устойчивости (рис. 3).

Результаты расчетов координат обобщающего показателя инновационного потенциала показывают,

что все значения находятся в зоне удовлетворительного и благоприятного состояния. Это указывает на то, что в регионе достаточно устойчиво развивается инновационная система, обладающая потенциалом для реализации эффективной инновационной деятельности, так и имеющая определенные результаты. Однако имеются и

кризисные значения таких показателей, как доля внутренних затрат на научные исследования и разработки, индекс физического объема инвестиций в основной капитал и доля исследователей, имеющих ученую степень, а также оба показателя результативной компоненты (P1, P2).

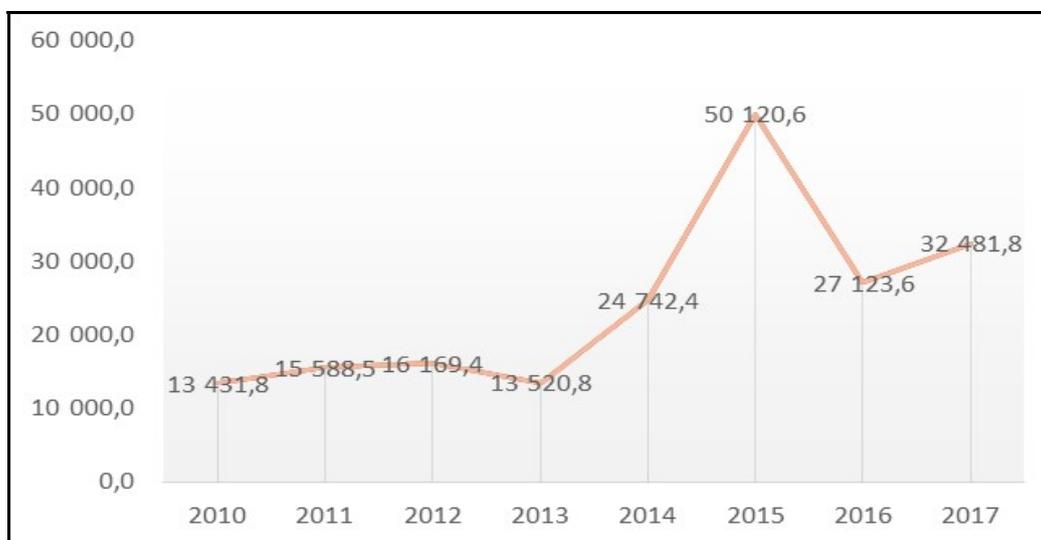


Рисунок 1. Объем инновационных товаров, работ, услуг, млн. руб.

Figure 1. Volume of innovative goods, works, services in mln rub.

Таблица 1. Оценочные блоки, характеризующие инновационный потенциал региона [16]

Table 1. Evaluation blocks characterising the innovative potential of the region [16]

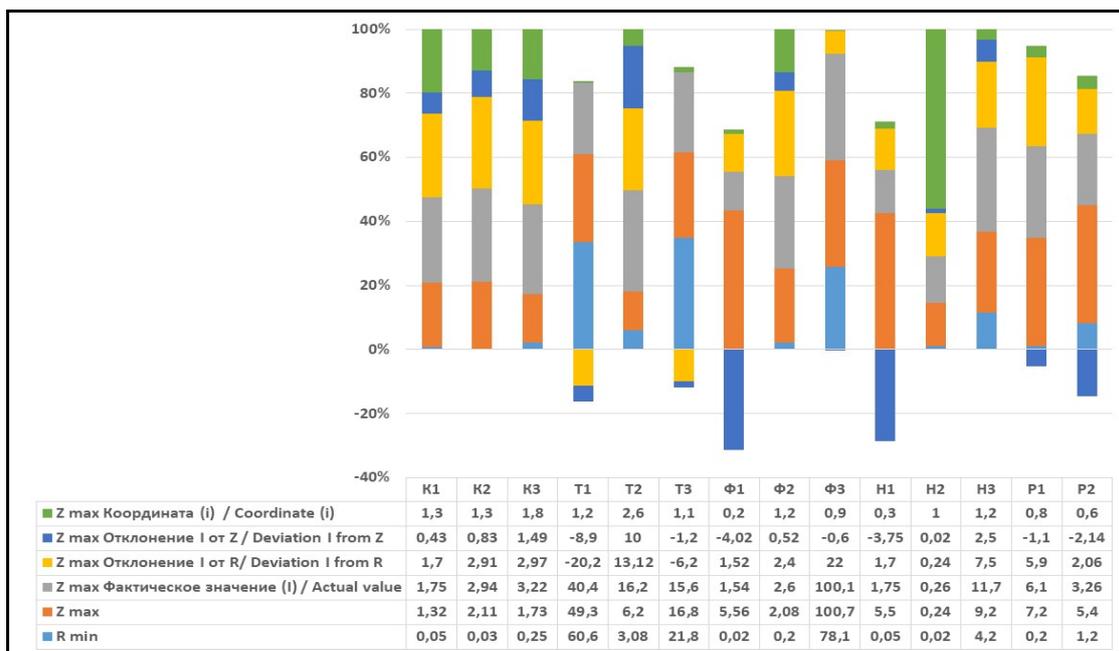
Группа показателей / Group of indicators	Показатель / Indicator	Условное обозначение показателя / The symbol indicator	Фактическое значение показателя, I / Actual value of indicator	Пограничная характеристика показателя / Boundary characteristic of the indicator		
				R	Z	
Ресурсная составляющая / Resource component	Кадровая составляющая / Personnel component	Численность исследователей, имеющих ученую степень, % / Number of researchers with academic degrees, %	K1	1,75	0,05	1,32
		Численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, % / Number of personnel engaged in research and development, %	K2	2,94	0,03	2,11
		Организации, ведущие подготовку докторантов, % от общего числа образовательных организаций / Organisations that train doctoral students, % of the total number of educational organizations	K3	3,22	0,25	1,73
	Технико-технологическая составляющая / Technical and technological component	Уровень износа основных производственных фондов, в % / Level of depreciation of fixed production assets, in %	T1	40,4	60,6	49,3
		Коэффициент обновления основных производственных фондов, в % / Coefficient of renewal of fixed production assets, in %	T2	16,2	3,08	6,2
		Удельный вес полностью изношенных фондов (в процентах от общего объема основных фондов) / Share of fully depreciated funds (as a percentage of total fixed production assets)	T3	15,6	21,8	16,8
	Финансовая составляющая / Financial component	Доля внутренних затрат на научные исследования и разработки в ВРП, % / Share of domestic research and development expenditures in GRP, %	Ф1	1,54	0,02	5,56

	Затраты на технологические инновации, в % от общего объема отгруженных товаров, выполненных работ, услуг / Expenditures for technological innovations, as a % of total volume of goods shipped, works, services	Ф2	2,6	0,2	2,08
	Индекс физического объема инвестиций в основной капитал (в % к предыдущему году) / Index of physical volume of investments in fixed production assets (in % of the previous year)	Ф3	100,1	78,1	100,7
Научная составляющая / Scientific component	Доля исследователей, имеющих ученую степень (в % от общего числа исследователей) / Share of researchers with a degree (in % of the total number of researchers)	H1	1,75	0,05	5,5
	Разработанные передовые производственные технологии (в расчете на 10 тыс. населения территории в %) / Developed advanced production technologies (per 10 thousand population of the area in %)	H2	0,26	0,02	0,24
Результативная компонента / Effective component	Инновационная активность организаций (удельный вес организаций, осуществлявших технологические, маркетинговые и организационные инновации, в общем числе обследованных организаций; в %) / Innovative activity of organisations (share of organisations that carried out technological, marketing and organizational innovations in the total number of surveyed organizations; %)	H3	11,7	4,2	9,2
	Объем инновационных товаров, работ, услуг (в % от общего объема отгруженных товаров, выполненных работ, услуг) / Volume of innovative goods, works, services (in % of the total volume of goods shipped, works, services)	P1	6,1	0,2	7,2
	Удельный вес используемых передовых производственных технологий (в % от общего числа передовых технологий) / Share of advanced production technologies used (in % of total number of advanced technologies)	P2	3,26	1,2	5,4

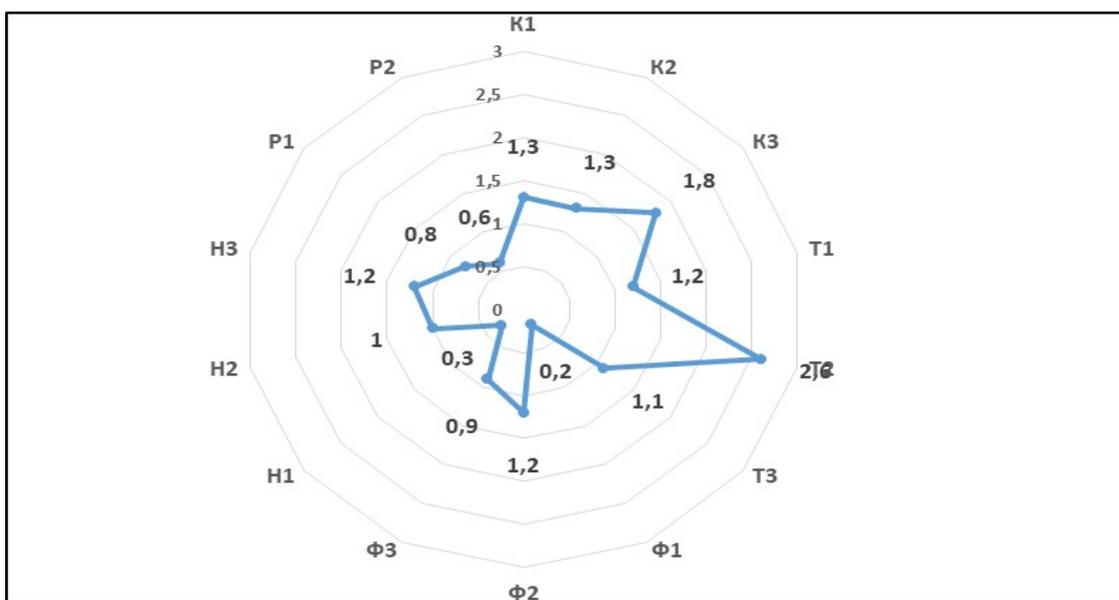
Таблица 2. Координаты обобщающего показателя инновационного потенциала [16]

Table 2. Coordinates of the generalizing indicator of innovative potential [16]

Неравенство Inequality	Формула для расчёта координаты (i) обобщающего показателя Formula for calculating the coordinate (i) of the generalizing indicator
<b>Для всех показателей (кроме T1 и T3) / For all indicators (except T1 and T3)</b>	
$I \leq R$	$\dot{i} = \frac{R}{I-1}$ , (координата имеет знак минус/the coordinate has a minus sign)
$R < I < Z$	$\dot{i} = \frac{I}{Z}$ , (диапазон от 0 до 1/span from 0 till 1)
$I \geq Z$	$\dot{i} = \frac{I}{Z}$ , (диапазон >1/span >1)
<b>Для показателей T1 и T3 / For indicators T1 and T3</b>	
$I \geq R$	$\dot{i} = \frac{I}{R-1}$ , (координата имеет знак минус/(the coordinate has a minus sign)
$R > I > Z$	$\dot{i} = \frac{Z}{I}$ , (диапазон от 0 до 1/span from 0 till 1)
$I \leq Z$	$\dot{i} = \frac{Z}{I}$ , (диапазон >1/span >1)
<b>I</b>	обобщающий показатель, характеризующий ресурсную и результативную составляющую инновационного потенциала / the value of the generalizing indicator that characterizes the resource and effective component of the innovation potential
<b>R</b>	минимум порогового значения обобщающего показателя инновационного потенциала / the minimum threshold value of the generalizing indicator of innovative potential
<b>Z</b>	пороговое значение обобщающего показателя инновационного потенциала, определяемое характеристикой границы его предкризисного состояния / the threshold value of the generalizing indicator of innovative potential, expressed through the characteristic of the parameter that reflects the border of its pre-crisis state



**Рисунок 2.** Координаты обобщающего показателя инновационного потенциала  
**Figure 2.** Coordinates of the generalizing indicator of innovative potential



**Рисунок 3.** Инновационный профиль Воронежской области  
**Figure 3.** Innovative profile of the Voronezh region

Следует отметить высокий показатель коэффициента обновления основных производственных фондов (T2) (рис. 4), что в совокупности с используемыми передовыми производственными технологиями, показывает перспективы для развития инновационной деятельности в производственной сфере.

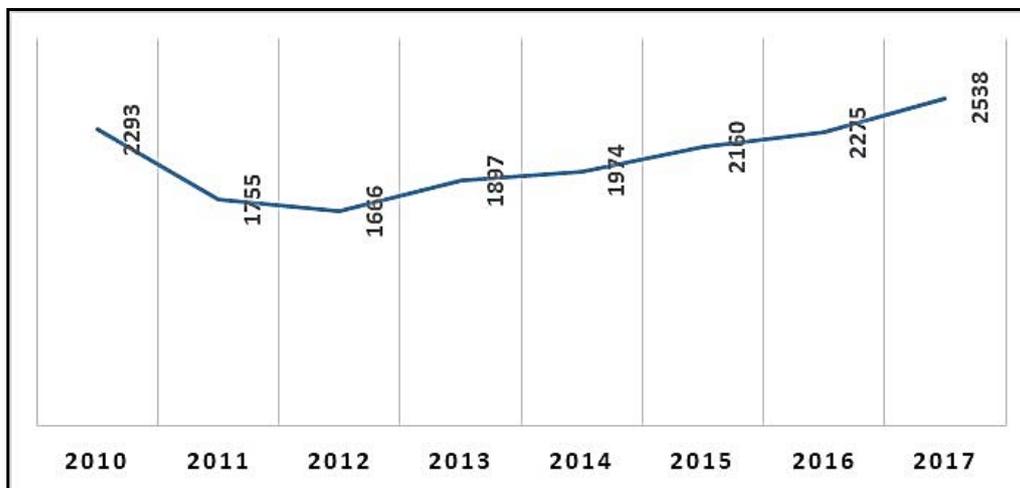
Показатели кадровой составляющей региональной инновационной системы (K1, K2, K3) находятся в зоне благоприятного состояния, что свидетельствует о выходе из кризисного состояния и наличии положительной тенденции для инновационного развития. Дополнительно проведя анализ показателя внутренних текущих затрат на научные исследования и разработки, можно сделать выводы, что для поддержания данной

позитивной динамики необходимо предложить комплекс мероприятий, однако ситуация характеризуется как благоприятная для инновационного развития.

На данный момент в Воронежской области реализуются проекты по развитию технопарков: «ООО «Воронежский инновационно-технологический центр», ООО Финансово-промышленная компания «Космос-нефть-газ», ООО «Управляющая компания Воронежского авиационного технопарка», где имеется более 50 инновационных предприятий. В регионе организовано 5 индустриальных парков: 4 государственных: индустриальный парк «Масловский» (2010 г.), специализация парка – машиностроение и металлообработка; индустриальный парк субъектов МСП (2018 г.), специализа-

ция парка – промышленное производство; индустриальный парк «Лискинский» (2011 г.), специализация парка – промышленное производство; индустриальный парк «Бобровский» (2012 г.), специализация парка – переработка сельскохозяйственной продукции, непи-

щевая промышленность. Имеется 1 частный: индустриальный парк «Перспектива» (2012 г.). Парк является универсальной площадкой для реализации инвестиционных проектов.



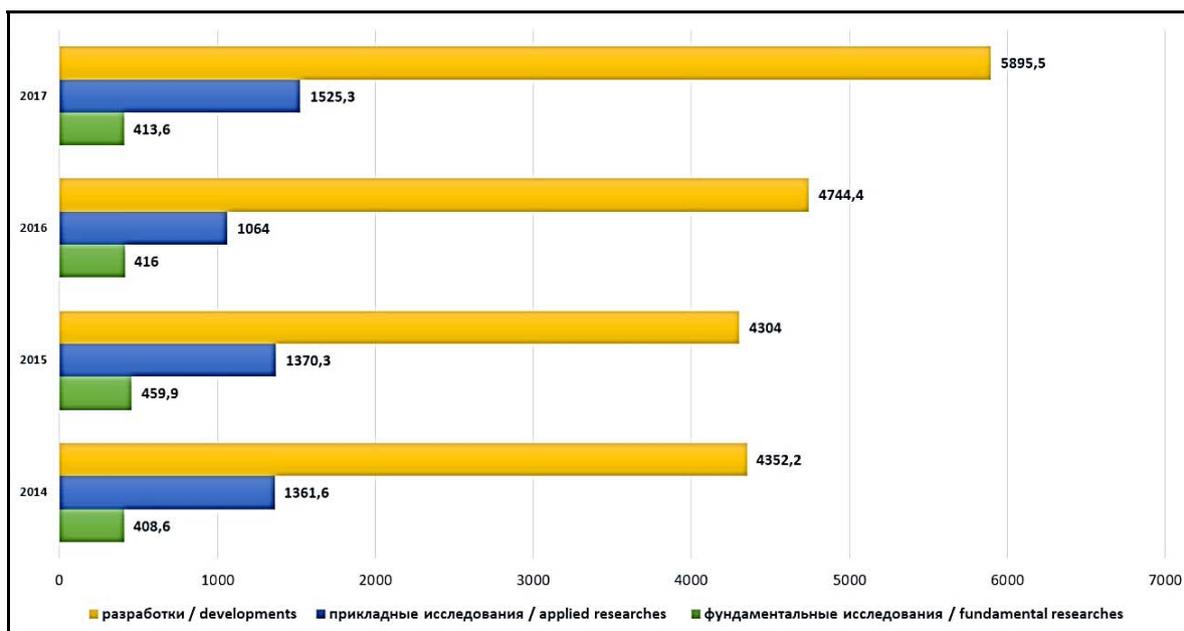
**Рисунок 4.** Количество передовых производственных технологий по региону  
**Figure 4.** Number of advanced production technologies in the region

На территории региона действуют государственные бизнес-инкубаторы «Восток» и «Авиационный», а на базе ВУЗов (которых более 40 в регионе) ведут свою инновационную деятельность учебные бизнес-инкубаторы. В 2019 г. велось активное строительство предприятий в особой экономической зоне «Центр» в Новоусманском районе, что безусловно повлияет положительно на региональную инновационную систему, а также в целом на экономику региона [4].

На территории Воронежской области ведут свою деятельность предприятия, выпускающие военную и гражданскую продукцию, в частности концерн «Созвез-

дие» и Воронежское центральное конструкторское бюро «Полюс». Воронежское акционерное самолетостроительное общество является одним из центров высоких технологий в регионе. При организации производства Ан-148 и SSJ предприятию удалось привлечь большой объем инвестиций и направить средства на обновление оборудования.

Затраты на научные исследования и разработки постепенно увеличиваются, в динамике за 2014-2017 гг. (рис. 5) доля затрат непосредственно на инновационные разработки составляет наибольшую часть от общего числа затрат и в 2017 г. составила 5895,5 млн. руб.



**Рисунок 5.** Динамика затрат на научные исследования и разработки, млн. руб.  
**Figure 5.** Dynamics of expenses for research and development in mln. rub.

Кадровые ресурсы являются первостепенной и неотъемлемой частью для инновационного развития, тот факт, что по показателям кадровой составляющей Воронежская область находится в лидерах, позволяет спрогнозировать стабильное и продуктивное инновационное развитие. Однако существующая проблема оттока высокопрофессиональных кадров в столичный регион остается актуальной, поскольку очень часто Воронежская область не способна обеспечить ученым-новаторам достойные условия труда и достаток.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка показателей инновационного потенциала региона позволила комплексно и адекватно выявить «сильные и слабые» стороны региональной инновационной системы Воронежской области. Усиление инновационного потенциала региона требует решения следующих стратегических задач:

- построение эффективной и региональной системы высшего профессионального образования в контакте ведущих учебных заведений с научно-исследовательскими центрами, а также при участии производителей и бизнеса. В результате заказчиком прикладных научных исследований и разработок будет выступать непосредственно производитель, который, инвестируя в инновационную деятельность, сможет вывести бизнес на качественно новый уровень;

- необходимо создание единой системы инновационных банков данных и знаний, что будет способствовать более продуктивной работе ученых-новаторов, а также исключать возможность дублирования изобретений разными учеными;

- создание региональной информационно-коммуникационной структуры, в рамках которой будет осуществляться комплексное информационное обеспечение инновационной экономики, с целью обеспечения её конкурентоспособности;

- повсеместное внедрение особых экономических зон и территорий опережающего развития, что позволит производителям эффективно использовать имеющиеся ресурсы, временно освобождаясь от налогового бремени, а также высвободит свободный капитал для использования его в инвестиционных целях для поддержки ученых-новаторов и, как следствие, приведет к созданию инноваций;

- создание базы данных по специалистам профессор, востребованных потенциальным инвестором, развитие послевузовской системы переподготовки кадров с целью повышения профессиональной конкурентоспособности на рынке труда;

- развитие инновационной культуры и, в частности, через формирование спроса на инновационные товары и услуги.

Таким образом, уровень развития и качество функционирования региональной инновационной системы, ее устойчивость определяют возможность реализации инновационных проектов во всех областях жизнедеятельности человека. Результативность инновационных внедрений и преобразований зависит от степени готовности и возможности региональной инновационной системы внедрять такие преобразования. Эффективное социально-экономическое развитие реги-

она в условиях современной рыночной конкуренции без внедрения и использования инновационных товаров, работ и услуг становится невозможным.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90021.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research was funded by RFBR, project number № 19-35-90021.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Angel D.P. Environmental innovation and regulation. In: Handbook of Economic Geography. Oxford, UK: Oxford University Press, 2000. P. 607-624.
2. Bergek A., Jacobsson S., Carlsson B., Lindmark S., Rickne A. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis // *Research Policy*. 2008. V. 37. Iss. 3. P. 407-429. DOI: 10.1016/j.respol.2007.12.003
3. Callon M. An essay on framing and overflowing: economic externalities revisited by sociology // *The Sociological Review*. 1998. V. 46. Iss. 1. P. 244-269. DOI: 10.1111/j.1467-954X.1998.tb03477.x
4. Carlsson B. Internationalization of innovation systems: A survey of the literature // *Research Policy*. 2006. V. 35. Iss. 1. P. 56-67. DOI: 10.1016/j.respol.2005.08.003
5. Carlsson B., Jacobsson S., Holmén M., Rickne A. Innovation systems: analytical and methodological issues // *Research Policy*. 2002. V. 31. Iss. 2. P. 233-245. DOI: 10.1016/S0048-7333(01)00138-X
6. Edquist C. Systems of innovations: Perspectives and challenges. In: Oxford Handbook of Innovation. Oxford University Press, J. Fagerberg, D.C. Mowery & R.R. Nelson (Eds.), 2005. P. 181-208. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0007
7. Freeman C. The greening of technology and models of innovation // *Technological Forecasting and Social Change*. 1996. V. 53. Iss. 1. P. 27-39. DOI: 10.1016/0040-1625(96)00060-1
8. Gibbs D. Prospects for an environmental economic geography: linking ecological modernization and regulationist approaches // *Economic Geography*. 2006. V. 82. Iss. 2. P. 193-215. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2006.tb00296.x
9. Hekkert M.P., Suurs R.A.A., Negro S.O., Kuhlmann S., Smiths R.E.H.M. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change // *Technological Forecasting and Social Change*. 2007. V. 74. Iss. 4. P. 413-432. DOI: 10.1016/j.techfore.2006.03.002
10. Markard J., Truffer B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework // *Research Policy*. 2008. V. 37. Iss. 4. P. 596-615. DOI: 10.1016/j.respol.2008.01.004
11. York R., Rosa E. Key challenges to ecological modernization theory: Institutional efficacy, case study evidence, units of analysis, and the pace of eco-efficiency // *Organization & Environment*. 2003. V. 16. Iss. 3. P. 273-288. DOI: 10.1177/1086026603256299
12. Truffer B., Coenen L. Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies // *Regional Studies Lecture*. 2011. Version 1. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.226.1246&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 06.10.2019)

13. Баринов М.А., Романова А.Д. Оценка инновационного потенциала социально-экономической системы // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2015. N 3(43). С. 24-30.
14. Воронов А.С. К вопросу о понятии инновационной устойчивости территории // *Интернет-журнал «Наукоедение»*. 2014. Вып. 2. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/101EVN214.pdf> (дата обращения: 06.10.2019)
15. Казаков В.Н. Инновационный потенциал как основа экономической деятельности в развивающихся регионах. URL: <https://studfiles.net/preview/4053991/page:15/> (дата обращения: 29.09.2019)
16. Москвина О.С. К вопросу о стратегии и тактике развития региона // *Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз*. 2005. N 3(30). С. 16-25.
17. 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.
18. Яковенко Н.В. Кластерный подход и его применение для концептуирования и стратегирования социально-экономического развития депрессивного региона // *Научный поиск*. 2011. N 2. С. 70-74.
19. Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика / под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: «Наука и Просвещение», 2017. 130 с.
20. 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) // *Proceedings of the International Science and Technology Conference "FarEastCon" (ISCFEC 2019)*. Series: Advances in Economics, Business and Management Research. 2019. V. 79. P. 201-203. DOI: 10.2991/iscfec-19.2019.55
8. Gibbs D. Prospects for an environmental economic geography: linking ecological modernization and regulationist approaches. *Economic Geography*, 2006, vol. 82, iss. 2, pp. 193-215. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2006.tb00296.x
9. Hekkert M.P., Suurs R.A.A., Negro S.O., Kuhlmann S., Smiths R.E.H.M. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 2007, vol. 74, iss. 4, pp. 413-432. DOI: 10.1016/j.techfore.2006.03.002
10. Markard J., Truffer B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 2008, vol. 37, iss. 4, pp. 596-615. DOI: 10.1016/j.respol.2008.01.004
11. York R., Rosa E. Key challenges to ecological modernization theory: Institutional efficacy, case study evidence, units of analysis, and the pace of eco-efficiency. *Organization & Environment*, 2003, vol. 16, iss. 3, pp. 273-288. DOI: 10.1177/1086026603256299
12. Truffer B., Coenen L. Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies. *Regional Studies Lecture*, 2011, version 1. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.226.1246&rep=rep1&type=pdf> (accessed 06.10.2019)
13. Barinov M.A., Romanova A.D. Estimation of innovative potential of the socio-economic system. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie [Modern High Technologies. Regional Application]*. 2015, no. 3(43), pp. 24-30. (In Russian)
14. Voronov A.S. [Concerning the concept of innovative sustainability of territory]. *Naukovedenie*, 2014, iss. 2. (In Russian) Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/101EVN214.pdf> (accessed 06.10.2019)
15. Kazakov V.N. *Innovatsionnyi potentsial kak osnova ekonomicheskoi deyatel'nosti v razvivayushchikhsya regionakh* [Innovative potential as the basis of economic activity in developing regions]. (In Russian) Available at: <https://studfiles.net/preview/4053991/page:15/> (accessed 29.09.2019)
16. Москвина О.С. On the issue of strategy and tactics for the development of the region. *Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз* [Economic and social changes in the region: facts, trends, forecast]. 2005, no. 30, pp. 16-25. (In Russian)
17. 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 [Regional Environmental Issues]*. 2015, no. 6, pp. 61-66. (In Russian)
18. Yakovenko N.V. Cluster approach and its application for conceptualizing and strategizing socio-economic development of a depressed region. *Nauchnyi поиск [Scientific Search]*. 2011, no. 2, pp. 70-74. (In Russian)
19. Gulyanov G.Yu., ed. *Upravlenie sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami: teoriya, metodologiya, praktika* [Management of social and economic systems: Theory, methodology, practice]. Пенза, Наука и Просвещение Publ., 2017, 130 p. (In Russian)
20. 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). *Proceedings of the International Science and Technology Conference "FarEastCon" (ISCFEC 2019)*. Series: Advances in Economics, Business and Management Research, 2019, vol. 79, pp. 201-203. DOI: 10.2991/iscfec-19.2019.55

## REFERENCES

1. Angel D.P. Environmental innovation and regulation. In: *Handbook of Economic Geography*. Oxford, UK, Oxford University Press, 2000, pp. 607-624.
2. Bergek A., Jacobsson S., Carlsson B., Lindmark S., Rickne A. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 2008, vol. 37, iss. 3, pp. 407-429. DOI: 10.1016/j.respol.2007.12.003
3. Callon M. An essay on framing and overflowing: economic externalities revisited by sociology. *The Sociological Review*, 1998, vol. 46, iss. 1, pp. 244-269. DOI: 10.1111/j.1467-954X.1998.tb03477.x
4. Carlsson B. Internationalization of innovation systems: A survey of the literature. *Research Policy*, 2006, vol. 35, iss. 1, pp. 56-67. DOI: 10.1016/j.respol.2005.08.003
5. Carlsson B., Jacobsson S., Holmén M., Rickne A. Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*, 2002, vol. 31, iss. 2, pp. 233-245. DOI: 10.1016/S0048-7333(01)00138-X
6. Edquist C. Systems of innovations: Perspectives and challenges. In: *Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press, 2005, pp. 181-208. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0007
7. Freeman C. The greening of technology and models of innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 1996, vol. 53, iss. 1, pp. 27-39. DOI: 10.1016/0040-1625(96)00060-1

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Наталия В. Яковенко: разработка концепции и дизайна исследования, написание первой версии статьи. Юлия А. Гостеева: согласие нести ответственность за все аспекты работы и гарантировать соответствующее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью всех частей работы. Никита Р. Крутов: проведение расчетов по модели инновационного профиля инновационной устойчивости региона. Роман В. Тен: одобрение окончательной версии статьи перед ее подачей для публикации, формулировка результатов исследования и заключительных выводов. Ирина В. Сафонова: критический пересмотр статьи на предмет важного интеллектуального содержания, обработка и анализ проведенных расчетов, их табличное представление. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Nataliya V. Yakovenko developed the concept and design of the research, and wrote the first version of the article. Yulia A. Gosteyeva was responsible for all aspects of the work and to guarantee appropriate consideration and resolution of issues related to the accuracy and integrity of all parts of the work. Nikita R. Krutov performed calculations based on the model of the innovative profile of the innovation stability of the region. Roman V. Ten approved of the final version of the article before its submission for publication and formulated research results and final conclusions. Irina V. Safonova conducted a critical review of the article for significant intellectual content, processed and analysed the calculations and was responsible for their tabular presentation. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors state that there is 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>

Никита Р. Крутов / Nikita R. Krutov <https://orcid.org/0000-0002-8082-9278>

Ирина В. Сафонова / Irina V. Safonova <https://orcid.org/0000-0003-2782-0378>

Юлия А. Гостеева / Yulia A. Gosteyeva <https://orcid.org/0000-0003-4391-2440>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 574.583+574.587  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-16-27

## Состояние морской экосистемы в районе устья реки Агой (Черное море)

Жанна П. Селифонова<sup>1,2</sup> , Валерий К. Часовников<sup>3</sup>, Эрнест З. Самышев<sup>2</sup>, Павел Р. Макаревич<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия

<sup>2</sup>Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

<sup>3</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

### Контактное лицо

Жанна П. Селифонова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Российской академии наук, Севастополь, Россия; профессор Государственного морского университета им. адм. Ф.Ф. Ушакова; 353918 Россия, Новороссийск, пр. Ленина, 93.

Тел. +7(8617)717525

Email [Selifa@mail.ru](mailto:Selifa@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4924-815X>

### Формат цитирования

Селифонова Ж.П., Часовников В.К., Самышев Э.З., Макаревич П.Р. Состояние морской экосистемы в районе устья реки Агой (Черное море) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 16-27. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-16-27

Получена 13 июня 2019 г.

Прошла рецензирование 16 сентября 2019 г.

Принята 2 октября 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Изучить состояние морских экосистем рекреационно-туристической зоны Кавказа на примере пляжа, расположенного вблизи устья реки Агой.

**Материал и методы.** Фитопланктон, гетеротрофный бактериопланктон, инфузории, голопланктон, меропланктон, ихтиопланктон, зообентос рыхлых грунтов и гидрохимию воды и донных осадков собирали в июне 2012 г. на трех разрезах от устья реки Агой до берегового стока (глубины 2,5-7,5 м). Определение видов планктона и зообентоса, содержания химических параметров в воде и грунтах выполняли по стандартным методикам.

**Результаты.** Выявлено удовлетворительное состояние большей части пляжной зоны, где располагались псаммофильные биоценозы *Lucinella divaricata*, *Chamelea gallina* (Bivalvia). Отмечено возрастание плотности редкого вида в конце 1990-х гг. *Lucinella divaricata*. На участке берегового стока обнаружено появление цианобактерий и угнетение зообентоса, которое выражалось замещением биоценозов моллюсков биоценозом многощетинковых червей *Capitella capitata* с биомассой на два порядка ниже средней по району. Высокие показатели численности гетеротрофного бактериопланктона (4,5 млн кл/мл) и инфузорий (64 млн экз./м<sup>3</sup>) могли свидетельствовать о микробном загрязнении этого района. Негативное влияние сточных вод на планктон проявлялось в снижении численности популяции сетного зоопланктона, его аномальном развитии и возрастании роли микрогетеротрофов.

**Выводы.** Полученные результаты дают представление о состоянии морских прибрежных экосистем рекреационно-туристических и охраняемых зон Кавказа и могут быть полезны для дальнейшего мониторинга этого района.

### Ключевые слова

Гидрохимия, планктон, бентос, устье реки Агой, кавказский сектор Черного моря.

# State of the Marine Ecosystem Near the Mouth of the Agoy River (Black Sea)

Zhanna P. Selifonova<sup>1,2</sup> , Valery K. Chasovnikov<sup>3</sup>, Ernest Z. Samyshev<sup>2</sup> and Pavel R. Makarevich<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Admiral Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia

<sup>2</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

<sup>3</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Royal Academy of Sciences, Murmansk, Russia

## Principal Contact

Zhanna P. Selifonova, Dr Biol. Sci., Principal Researcher, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia; Professor, Admiral Ushakov State Maritime University; 93 Prospekt Lenina, Novorossiysk, 353918 Russia.

Tel. +7(8617)717525

Email [Selifa@mail.ru](mailto:Selifa@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4924-815X>

## How to cite this article

Selifonova Zh.P., Chasovnikov V.K., Samyshev E.Z., Makarevich P.R. State of marine ecosystem near the mouth of the Agoy River (Black Sea). *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 16-27. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-16-27

Received 13 June 2019

Revised 16 September 2019

Accepted 2 October 2019

## Abstract

**Aim.** To study the state of the marine ecosystem of the recreational-tourist zone of the Caucasian sector of the Black Sea through the example of a beach near the mouth of the Agoy River.

**Material and Methods.** Phytoplankton, heterotrophic bacterioplankton, infusoria, holoplankton, meroplankton, ichthyoplankton, zoobenthos of loose bottom sediments and hydrochemistry samples of the water and bottom sediments were collected in June 2012 on three sections from the mouth of the Agoy River to the coastal runoff zone (depths 2.5–7.5 m). The identification of species of plankton and of the zoobenthos and of the chemical parameters of water and sediments was carried out according to standard methods.

**Results.** It was revealed that most of the beach area, where psammophilic biocenoses of *Lucinella divaricate* and *Chamelea gallina* (Bivalvia) were located, was in satisfactory condition. An increase in the density of *Lucinella divaricate*, a rare species in the late 1990s, was noted. In the runoff zone, there was observed the appearance of cyanobacteria and the suppression of zoobenthos, expressed through the replacement of mollusc biocenoses by the biocenosis of the polychaete, *Capitella capitata*, with a biomass two orders of magnitude lower than the average for the area. High numbers of heterotrophic bacterioplankton (4.5 million cell/ml) and infusoria (64 million ind./m<sup>3</sup>) could indicate bacterial contamination of this zone. The negative impact of waste water on plankton is manifested in a decrease in the population of netted zooplankton, their abnormal development, and the increasing role of microheterotrophs.

**Conclusions.** The results obtained give an image of the state of marine coastal ecosystems of recreational-tourist and cordoned areas of the Caucasus and can be useful for the further monitoring of this region.

## Key Words

Hydrochemistry, plankton, benthos, Agoy River mouth, Caucasian sector of the Black Sea.

## ВВЕДЕНИЕ

Кавказско-Черноморский регион Краснодарского края знаменит своими рекреационными ресурсами. Это один из главных курортов россиян. Существующие работы [1; 2] освещают различные аспекты структурно-функциональной организации экосистем заливов и бухт северо-восточной части Черного моря, где расположены известные климатические и бальнеологические здравницы России, мощные перевалочные центры сухопутно-морских перевозок и базируется черноморский флот. Вместе с тем, открытые прибрежные экосистемы рекреационно-туристических зон Кавказа, которые имеют большую связь с основным бассейном Черного моря и испытывают значительную рекреационную нагрузку, изучены не достаточно. Вся густонаселенная береговая зона кавказского побережья от Геленджика до Туапсе имеет развитую рекреационную сеть. В пределах указанного района в Черное море впадает большое число малых и средних рек с площадью водосбора от 50 до 100 км<sup>2</sup> – Мезыб, Джубга, Ту, Небуг, Агой. Горные реки в незначительной степени подвержены антропогенным изменениям. Пос. Агой (пер. с адыг. «средняя река») считается одним из немногочисленных мест отдыха. В курортный сезон здесь отдыхает до 50 тысяч туристов. Поселок расположен в устье одноименной реки и граничит с портом Туапсе на юго-востоке и пос. Небуг на северо-западе. В долине горной реки размещается Агойский аэродром. Между устьем реки Агой и портом Туапсе находится уникальный памятник природы – скала имени живописца А. Киселева, которая входит в состав охраняемого лесопарка м. Кадош.

В последнее время опасность загрязнения прибрежных черноморских вод в устьевых районах горных рек, таких как Агой, возросла из-за частых проливных дождей, которые являются серьезной проблемой для

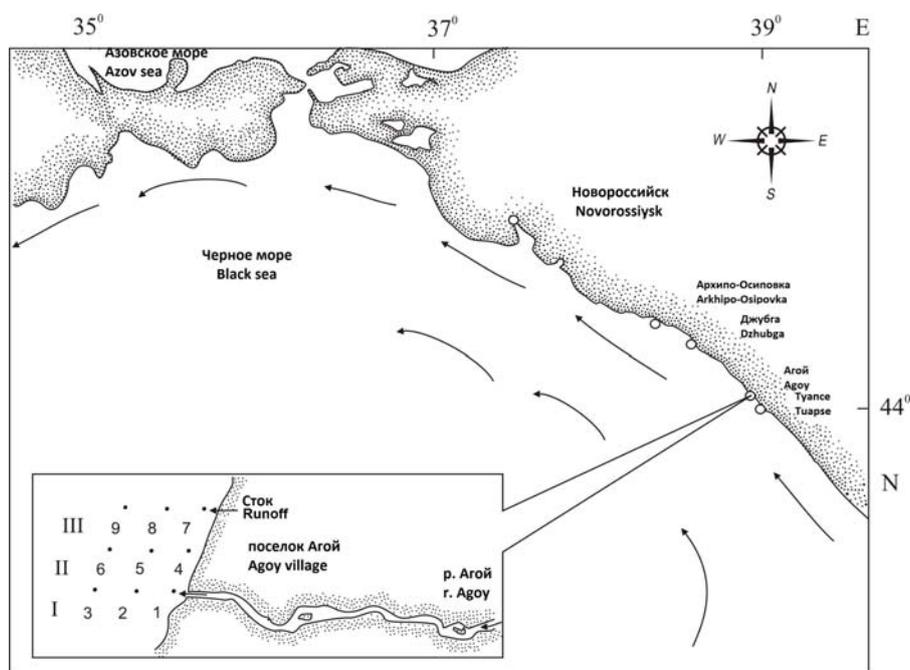
рекреационно-туристических зон Кавказа. Дожди приводят к значительному повышению уровня воды в реках, затоплению деревень, повреждению туристической инфраструктуры, автомобильных дорог, мостов, пляжей, сбросу мусора и сточных вод в реки. В большинстве небольших деревень и городов вдоль горных рек и прибрежной зоны канализационные системы полностью отсутствуют. Речные паводки ухудшают качество морской воды и санитарно-эпидемиологическую ситуацию на пляжах курортной зоны Краснодарского края, Республики Абхазии, Турции и других районов Черного моря [3-8]. Только в районе города-курорта Геленджик в 2012 г. катастрофические ливни привели к аномальному паводку и залповому выбросу в прибрежную морскую экосистему большого количества пресной воды с высоким содержанием азота, фосфора и кремния [4].

*Цель работы* – изучение состояния планктонных и бентосных сообществ, гидрохимии воды и донных осадков на трех разрезах рекреационной зоны, расположенной в районе устья реки Агой.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили пробы воды и грунта, собранные в июне 2012 г. в экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Исследование проводили в пляжной зоне в районе устья реки Агой на трех разрезах с глубинами от 2,5 до 7,5 м (от устья реки Агой до берегового стока) (рис. 1).

Определение содержания биогенных элементов в воде проводили по работе [9], загрязняющих веществ – в соответствии с методиками: нефтепродукты – ПНД Ф 14.1:2:4.128-98; фенол – ПНД Ф 14.1:2:4.182-02; детергенты – ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000; тяжелые металлы (Cu, Zn, Cd, Pb, Mn) – ПНД Ф 14.1:2:4.139-98.



**Рисунок 1.** Карта-схема станций отбора проб: 1-9 – станции отбора проб, I-III – разрезы  
**Figure 1.** Map of sampling stations: 1-9 – sampling stations I-III – profiles

Фитопланктон собирали с поверхностного слоя воды пластиковым ведром. Пробу (1-1,5 л) сгущали методом обратной мягкой фильтрации через ядерные фильтры с диаметром 1-2 мкм и фиксировали 1%-ным раствором нейтрального формальдегида. Клетки фитопланктона просматривали в счетной камере при увеличении  $\times 400$ . Биомассу водорослей оценивали объемным методом, используя оригинальные и литературные данные измерений объема клеток для каждого вида [10]. Доминирующими считали виды, численность и биомасса которых составляла не менее 20% от общего количества видов в фитопланктоне, субдоминантными видами – не менее 10% соответственно [11]. Гетеротрофный бактериопланктон учитывали методом эпифлуоресцентной микроскопии с применением флюорохрома акридинового оранжевого и примулина [12]. Планктонных инфузорий подсчитывали в свежих пробах воды в камере типа пенал под бинокулярным микроскопом (без предварительной концентрации и фиксации) по методике [13]. Организмы идентифицировали *in vivo*, во временных препаратах и препаратах, импрегнированных протарголом и карбонатом серебра. Сырую биомассу определяли по среднему объему и численности в каждой размерной группе. Голопланктон и меропланктон – ракообразные, личинки донных животных, крупные коловратки и прочие организмы размером  $>200$ – $500$  мкм собирали средней сетью Джеди (диаметр входного отверстия 25 см, размер ячеек 120 мкм) методом тотальных ловов. Пробы фиксировали 2-4%-ным раствором нейтрального формальдегида и обрабатывали в лабораторных условиях по стандартной методике. Сбор икринок и личинок рыб (ихтиопланктон) осуществляли вертикальными ловами сетью Богорова-Расса (Б-Р 80/114 см, ячейка 500 мкм, площадь входного отверстия  $0,5$  м<sup>2</sup>) и горизонтальными тралениями мальково-нейстонным тралом (МНТ). Пробы рыхлых грунтов на зообентос отбирали дночерпателем Петерсена с площадью захвата  $0,04$  м<sup>2</sup>. Зообентос фильтровали через сито (размер ячеек 500 мкм), камеральную обработку проводили по работе [14]. Сырую биомассу *Bivalvia* определяли после удаления мантийной жидкости.

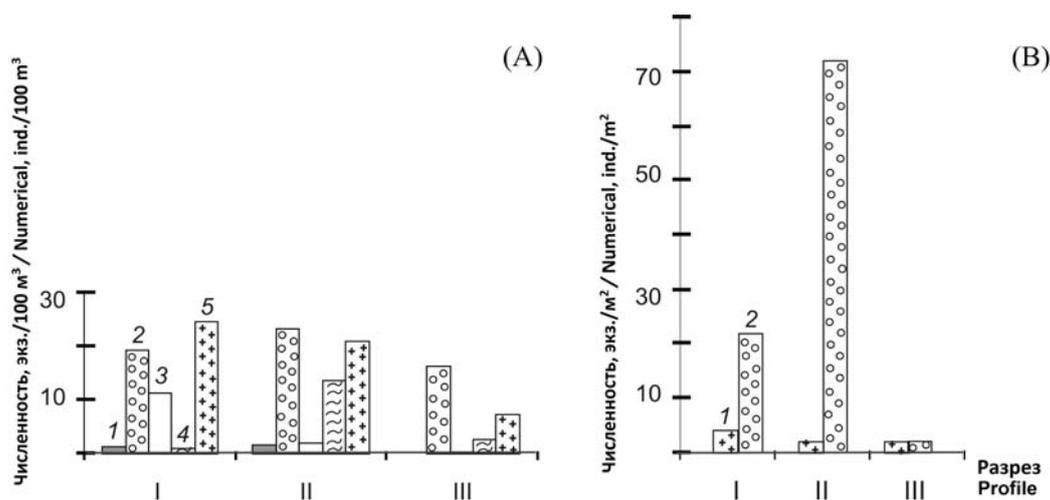
Для проверки гипотезы достоверности разницы средних значений при анализе количественных данных использовали параметрический метод Стьюдента при уровне значимости  $p=0,05$ . Выделение основных биоценотических комплексов зообентоса выполнено на лог-трансформированной матрице данных индекса функционального обилия видов (ИФО). Для оценки степени однородности фаунистического состава станций использованы биотические матрицы численности, сырой биомассы и  $ИФО=N^{0,25} \cdot B^{0,75}$ , где  $N$  – средняя численность вида, экз./м<sup>2</sup>,  $B$  – средняя биомасса вида, г/м<sup>2</sup>. Общие тенденции в распределении сообществ изучали с помощью метода многомерного шкалирования (MDS-анализ), индекса сходства Брея-Куртиса. Материал обрабатывали при помощи пакета прикладных программ для анализа данных MS Excel, PAST, PRIMER.

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

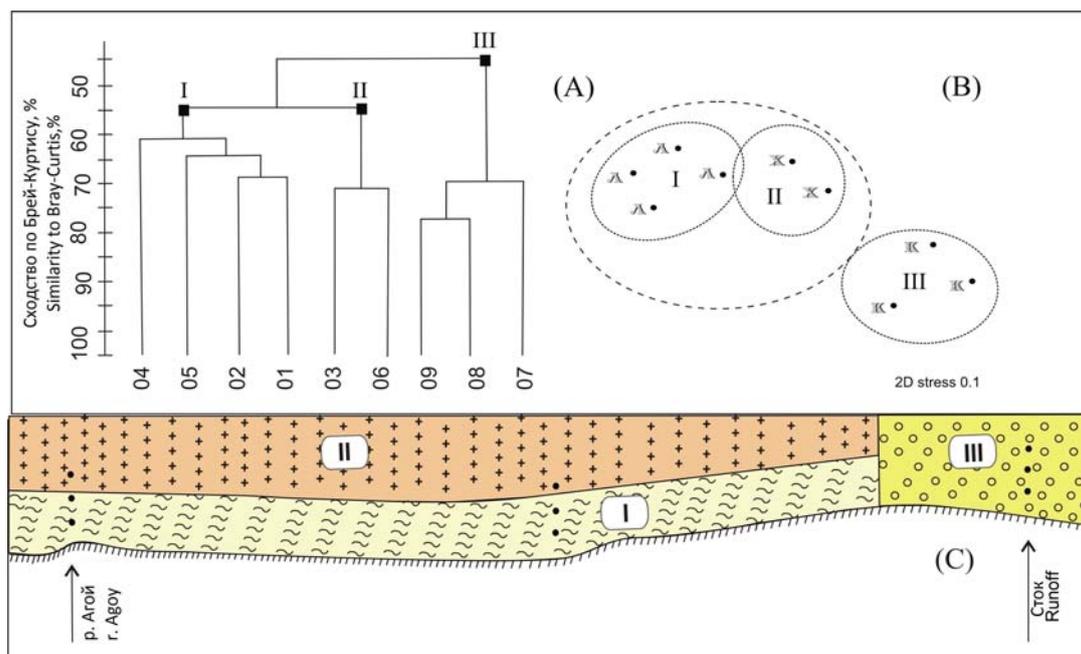
В июне 2012 г. над глубинами 2,5-7,5 м обнаружено 58 таксонов планктонных водорослей, относящихся к 7 отделам: Bacillariophyta – 19 таксонов, Dinophyta – 30, Cyanophyta – 3, Cryptophyta – 1, Euglenophyta – 3, Flagellatae – 1, Chrysophyta – 1. Средняя численность фито-

планктона составляла  $290 \pm 45$  млн кл./м<sup>3</sup>, биомасса –  $201,7 \pm 13$  мг/м<sup>3</sup>. Высокие показатели обилия отмечены среди гетеротрофных бактерий – в среднем  $1,9 \pm 1,3$  млн кл./мл, биомасса  $364,6 \pm 174,3$  мг/м<sup>3</sup> и инфузорий –  $25,1 \pm 20,7$  млн экз./м<sup>3</sup> и  $386 \pm 329$  мг/м<sup>3</sup> соответственно. Доминантный комплекс алорикатных форм инфузорий включал *Mesodinium rubrum* (Lohmann), *Strombidium conicum* (Lohmann), *S. vestitum* (Leegaard), *Litonotus* sp. В общей численности инфузорий доля тинтинид была  $\leq 0,5\%$ , бентических форм  $\sim 30\%$ . В составе голопланктона отмечено 12 таксонов: Dynophyceae – 1, Ctenophora – 1, Cladocera – 1, Copepoda – 7, Chaethognata – 1, Appendicularia – 14; в составе личинок донных беспозвоночных (меропланктон) – 19 таксонов: Polychaeta – 10, Cirripedia – 2, Mollusca – 6, Phoronida – 1. Численность голо- и меропланктона в среднем имела невысокие значения  $2,9 \pm 0,32$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса –  $25,9 \pm 10,7$  мг/м<sup>3</sup> и  $1,2 \pm 0,36$  тыс. экз./м<sup>3</sup>,  $9,8 \pm 2,6$  мг/м<sup>3</sup> соответственно, а их распределение носило мозаичные характер. Ноктилюка *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy составляла 17,5% общей численности голопланктона и 40% от биомассы. На долю Cladocera *Pleopsis polyphemoides* (Leuckart) приходилось 13-14%, Copepoda, Calanoida *Acartia tonsa* Dana – 17-34,5%, *Paracalanus parvus* (Claus) – 7-9%, Copepoda, Cyclopoida *Oithona davisae* Ferrari F.D. & Orsi – 7-17% соответственно. Вклад меропланктона в общую численность зоопланктона составил 29,4%. В его составе наиболее многочисленными были личинки многощетинкового червя сем. Spionidae *Malacoceros fuliginosus* (Claparède) и усонного рака *Amphibalanus improvisus* (Darwin). В меропланктоне идентифицированы личинки (Polychaeta) *Capitella capitata* (Fabricius), *Polydora* sp., *M. fuliginosus*, *Microspio meznikowianus* (Claparède), *Prionospio* sp., *Nereis zonata* Malmgren, *Platynereis dumerilii* (Audouin & Milne Edwards), *Alitta succinea* (Leuckart), *Lysidice ninetta* Audouin & H Milne Edwards, *Harmothoe* sp., личинки (Cirripedia) *Amphibalanus improvisus*, *Verruca spengleri* Darwin, личинки (*Bivalvia*) *Spisula* sp., *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, *Cardiidae* gen sp., личинки (Gastropoda) *Parthenina terebellum* (Philippi), *Caecum trachea* (Montagu), *Gibbula* sp., личинки форонид *Phoronis euxincola* Selys-Longchamps. В составе ихтиопланктона обнаружено 5 таксонов икринок и личинок летнепереступающих видов рыб (хамса, султанка, морской карась, морской ерш, ставрида). Среди них доминировали два вида – султанка (40,6%) и морской карась (36%). Численность икринок и личинок рыб в вертикальных ловах колебалась от 2 до 72 экз./м<sup>2</sup> (в среднем  $14,6 \pm 24,1$  экз./м<sup>2</sup>), в горизонтальных от 26,7 до 61,4 экз./100 м<sup>3</sup> (в среднем  $48,5 \pm 18,9$  экз./100 м<sup>3</sup>) (рис. 2).

В составе зообентоса идентифицировано 19 таксонов: 1 – Porifera, 8 – Polychaeta, 1 – Cirripedia, 1 – Amphipoda, 2 – Gastropoda, 6 – Bivalvia. Плотность поселений донных животных в среднем составляла  $855 \pm 763$  экз./м<sup>2</sup>, биомасса  $45,8 \pm 59,9$  г/м<sup>2</sup>. В составе зообентоса рыхлых грунтов выделено три биоценоза с доминированием двусторчатых моллюсков *Chamelea gallina*, *Lucinella divaricata* и многощетинковых червей *Capitella capitata*. Наибольшие площади дна (66,5%) занимали обитатели песчаных биоценозов двусторчатые моллюски-фильтраторы. Однородность таксономического состава составляла 45% по коэффициенту Брея-Куртиса (рис. 3).



**Рисунок 2.** Численность иктиопланктона в горизонтальных ловах, экз./100 м<sup>3</sup> (А): 1 – хамса; 2 – султанка; 3 – ставрида; 4 – морской ерш; 5 – морской карась и в вертикальных ловах, экз./м<sup>2</sup> (В): 1 – глубина 5,5 м; 2 – глубина 7,5 м  
**Figure 2.** Numerical density of ichthyoplankton in horizontal catches, ind./100 m<sup>3</sup> (A): 1 – anchovy; 2 – mullet; 3 – horse mackerel; 4 – rockfish; 5 – sea bream and vertical catches, ind./m<sup>2</sup> (B): 1 – depth 5.5 m; 2 – depth 7.5 m



**Рисунок 3.** Иерархическая дендрограмма станций района исследования (А), их ординация (MDS) (В), рассчитанные на основе индекса функционального обилия; донные сообщества (С): I – *Lucinella divaricata*, II – *Chamelea gallina*, III – *Capitella capitata*  
**Figure 3.** Hierarchical dendrogram of stations in the study area (A), their ordination (MDS) (B), calculated on the basis of functional abundance index; bottom communities (C): I – *Lucinella divaricata*, II – *Chamelea gallina*, III – *Capitella capitata*

На изученном участке температура поверхностных вод колебалась в пределах 23,5-27,2°C, соленость – 11,84-17,45‰, достигая минимальных значений в устье реки Агой. Особенности распределение организмов планктона и бентоса и гидрохимических параметров в толще воды и донных отложениях на различных разрезах в пляжной зоне устья реки Агой представлены ниже.

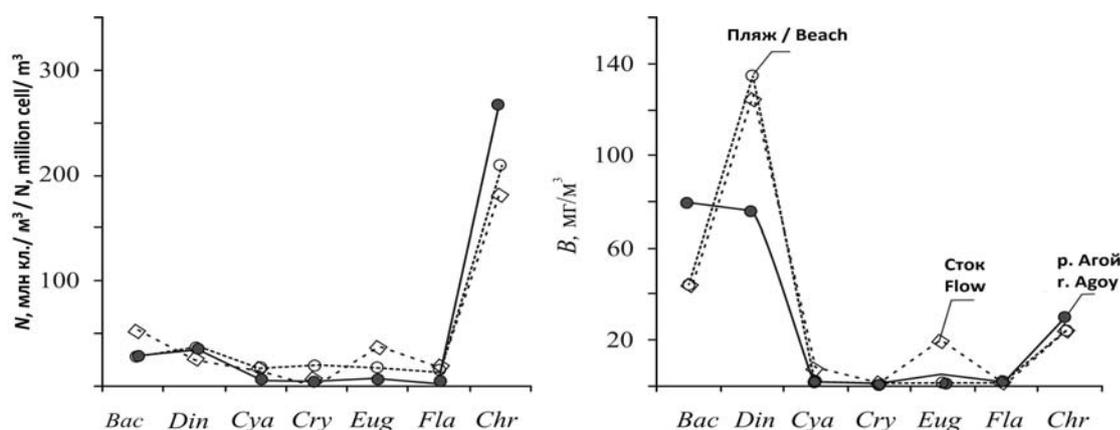
*Разрез I (устье реки Агой).* В воде этого участка максимальные концентрации растворенного кислорода

составляли 8,5 мг/л, фосфатов – 4 мкг/л, азота органического – 332 мкг/л, фенола – 1,2 мкг/л, цинка – 16,18 мкг/л, свинца – 17,7 мкг/л; в донных отложениях максимальные концентрации меди – 21,8 мкг/г, нефтепродуктов – 14,3 мг/кг (табл. 1).

Наибольший вклад в численность фитопланктона 80% (258,4 млн кл./м<sup>3</sup>) вносили приморские водоросли (Chrysophyta), в частности кокколитофида *Emiliana huxleyi* (Lohm.) Hay at Mohler (рис. 4).

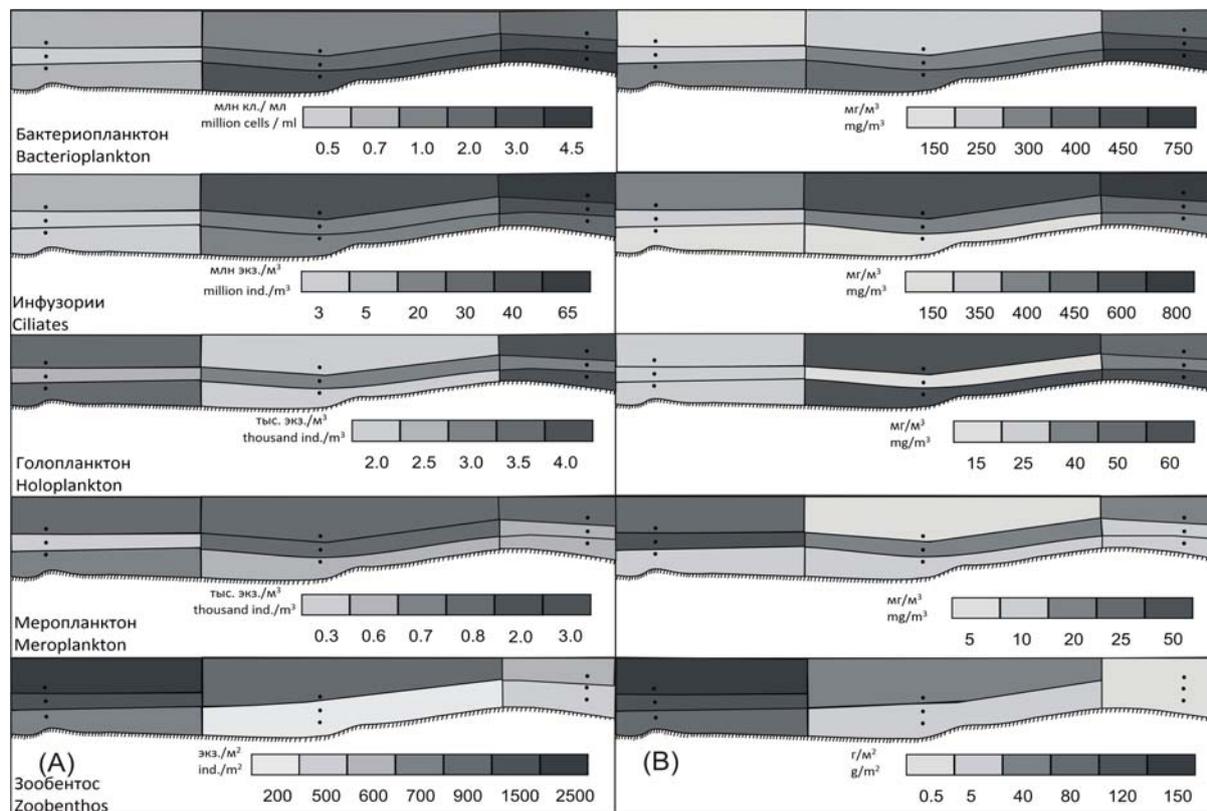
**Таблица 1.** Минимальные, максимальные и средние значения химических параметров в морской воде и донных отложениях исследуемого района**Table 1.** Minimum, maximum and average values of chemical parameters in sea water and bottom sediments of the study area

Параметр Index	Разрез I (реки Агой) Profile I (river Agoi)		Разрез II (пляж) Profile II (beach)		Разрез III (сток) Profile III (runoff)	
	min / max	среднее average	min / max	среднее average	min / max	среднее average
<b>Морская вода / Sea water</b>						
<b>Растворенный кислород, мг/л</b> Dissolved oxygen, mg/l	8,09/8,52	8,3±0,12	8,64/8,71	8,67±0,01	7,09/8,25	7,8±0,31
<b>Фосфаты, мкг/л</b> Phosphates, mkg/l	2,47/4	3,38±0,32	2,76/7,05	4,49±0,92	4,91/6,75	6,03±0,4
<b>Азот орг., мкг/л</b> Organic nitrogen, mkg/l	219/332	281,6±2,87	314/514	389,6±54,6	321/614	430±65,2
<b>Фенол, мкг/л</b> Phenol, mkg/l	0,5/1,2	0,7/0,21	0,5/2,2	1,5±0,44	1,9/2,6	2,3±0,18
<b>КПАВ, мг/л</b> Cationic surface-active agent, mg/l	0,002/0,002	0,002±0	0,002/0,002	0,002±0	0,002/0,11	0,04±0,03
<b>Марганец, мг/л</b> Manganese, mg/l	0,02/0,05	0,02±0,003	0,025/0,06	0,04±0,008	0,026/0,11	0,03±0,005
<b>Цинк, мкг/л</b> Zinc, mkg/l	0,3/16,18	8,72±9,99	15,8/49,4	32,9±6,85	5,14/50,1	23,9±9,54
<b>Свинец, мкг/л</b> Lead, mkg/l	2/17,7	8,93±4	2/12,9	5,69±3,14	6,42/23,15	15,5±4,23
<b>Кадмий, мкг/л</b> Cadmium, mkg/l	4,8/9	7,56±1,2	7,26/10,14	8,58±0,72	9,9/11,72	10,9±0,44
<b>Взвешенное вещество, мг/л</b> Suspended substance, mg/l	2/2,67	2,2±0,9	2/2	2±0	2,67/3,33	3,11±0,19
<b>Донные отложения / Bottom sediments</b>						
<b>Медь, мкг/г</b> Copper, mkg/g	16,8/21,8	18,7±1,55	22,5/36,5	24,6±8,0	16,3/39,1	28,2±7,32
<b>Нефтепродукты, мг/кг</b> Oil products, mg/kg	4,49/14,3	8,52±5,17	9,13/11,6	10,21±0,89	7/57	27,9±26,0

**Рисунок 4.** Средняя численность ( $N$ , млн кл./  $m^3$ ) и биомасса ( $B$ ,  $mg/m^3$ ) фитопланктона на разрезах в районе устья реки Агой в июне 2012 г. Обозначения: *Bac*, *Din*, *Cya*, *Cry*, *Eug*, *Fla*, *Chr* – Bacillariophyta, Dinophyta, Cyanophyta, Cryptophyta, Euglenophyta, Flagellatae и Chrysophyta соответственно**Figure 4.** Average abundance ( $N$ , million cell/  $m^3$ ) and biomass ( $B$ ,  $mg/m^3$ ) of phytoplankton in profiles near the mouth of the Agoi River in June 2012. Designations: *Bac*, *Din*, *Cya*, *Cry*, *Eug*, *Fla*, *Chr* – Bacillariophyta, Dinophyta, Cyanophyta, Cryptophyta, Euglenophyta, Flagellatae and Chrysophyta, respectively

Доля диатомовых и динофитовых водорослей была  $\leq 8-10\%$ . Динофитовые водоросли формировали 40% общей биомассы фитопланктона ( $75,16 \text{ мг/м}^3$ ), диатомовые водоросли – 42% ( $78,62 \text{ мг/м}^3$ ) соответственно. Средняя численность фитопланктона составляла  $324,7 \pm 189,5 \text{ млн кл./м}^3$ , биомасса –  $187,82 \pm 112,2 \text{ мг/м}^3$ .

Средняя численность гетеротрофных бактерий в районе устья реки Агой ( $0,63 \pm 0,05 \text{ млн кл./мл}$ , биомасса  $237 \pm 264 \text{ мг/м}^3$ ) была в три раза ниже в сравнении с пляжной зоной и в пять раз – с береговым стоком (рис. 5).



**Рисунок 5.** Распределение численности (А) и биомассы (В) основных компонентов морской экосистемы в районе устья реки Агой

**Figure 5.** Distribution of abundance (A) and biomass (B) of the main components of the marine ecosystem at the mouth of the Aгой River

В этом районе отмечены наименьшие показатели инфузорий (в среднем  $3,5 \pm 0,61 \text{ млн экз./м}^3$ ) при биомассе  $132 \pm 385$ . Численность голопланктона колебалась от 2,3 до 3,3 тыс. экз./м<sup>3</sup>, при средних значениях  $3,1 \pm 0,32 \text{ тыс. экз./м}^3$ ; меропланктона – от 0,24 до 0,84 тыс. экз./м, при средних значениях  $0,67 \pm 0,09 \text{ тыс. экз./м}^3$ . На глубинах 5,5–7,5 м численность икринок и личинок летне-нерестующих видов рыб в вертикальных ловах составляла 13 экз./м<sup>2</sup>, в горизонтальных –  $57,3 \text{ экз./100 м}^3$ . Процент нежизнеспособных и с аномалиями в развитии икринок и личинок был минимальным – 8,3%. В ихтиопланктоне доминировала султанка (33,5%) и морской карась (52,5%). В эстуарной зоне реки Агой средняя плотность зообентоса рыхлых грунтов была максимальной  $1600 \pm 476 \text{ экз./м}^2$ , биомасса  $120 \pm 18,5 \text{ г/м}^2$ . В составе зообентоса на глубинах 2,5–5,5 м выделен биоценоз с доминированием двустворчатых моллюсков *Lucinella divaricata*, на глубине 7,5 м – *Chamelea gallina*. Эти биоценозы располагались в районе устья реки Агой (I разрез) и в пляжной зоне (II разрез) (см. рис. 3). Средняя плотность сообщества *Lucinella divaricata* (Linnaeus) составляла  $650 \pm 237,6 \text{ экз./м}^2$ , биомасса

$53,5 \pm 26 \text{ г/м}^2$ ; плотность доминирующего вида –  $457 \pm 198,5 \text{ экз./м}^2$  (70% от средней), биомасса –  $28,5 \pm 14,7 \text{ г/м}^2$  (53,8%). Фауна в пределах сообщества представлена двустворчатыми моллюсками (Bivalvia) *Donax trunculus* Linnaeus, *Spisula subtruncata* (Da Costa), *Pitar rudis* (Poli), *Chamelea gallina* (Linnaeus), усногими раками (Cirripedia) *Amphibalanus improvisus* (Darwin) и Porifera. Средняя плотность сообщества *Chamelea gallina* составляла  $1745 \pm 604,5 \text{ экз./м}^2$ , биомасса  $98,4 \pm 81,4 \text{ г/м}^2$ ; плотность доминирующего вида –  $978 \pm 334 \text{ экз./м}^2$  (56% от средней), биомасса –  $67,8 \pm 45,4 \text{ г/м}^2$  (69%). В биоценозе зарегистрировано 14 таксонов: (Bivalvia) *L. divaricata*, *P. rudis*, *S. subtruncata*, *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga), (Gastropoda) *Tritia reticulata* (Linnaeus), (Polychaeta) *Prionospio cirrifera* Wirén, *Alitta succinea* (Leuckart), (Grube), *Aricidea* (*Strelzovia*) *claudiae* Laubier, *Polydora* sp., *Malacoceros fuliginosus* (Claparède), (Cirripedia) *A. improvisus*, гаммариды и губки.

**Разрез II (пляжная зона).** В поверхностных водах пляжной зоны величины фосфатов составляли 7,05 мкг/л (в среднем  $4,49 \pm 0,92 \text{ мкг/л}$ ), органического азота – 514 мкг/л (в среднем  $389,6 \pm 54,6 \text{ мкг/л}$ ), фенола – 2,2

мкг/л (в среднем  $1,5 \pm 0,44$  мкг/л). В донных отложениях концентрации нефтепродуктов отмечены в пределах 9,13-11,6 мг/кг (в среднем  $10,21 \pm 0,89$  мг/кг), меди – 22,5-36,5 мкг/г (в среднем  $24,6 \pm 8,0$  мкг/г). По критерию Стьюдента достоверных отличий ( $p > 0,05$ ) по гидрохимическим показателям в сравнении с районом устья реки Агой не обнаружено.

В пляжной зоне, как и в районе устья реки Агой, в численности фитопланктона была заметна роль примнезиевых водорослей, главным образом кокколитофорида *E. huxleyi* – 79% (190 млн кл./м<sup>3</sup>). Наибольший вклад в биомассу вносили динофитовые (66%) и диатомовые водоросли (21%). Суммарное обилие фитопланктона было близко к наблюдаемому на первом разрезе  $239,1 \pm 5$  млн кл./м<sup>3</sup>, биомасса –  $203,6 \pm 2$  мг/м<sup>3</sup>. В районе пляжа среди плавающих людей численность и биомасса гетеротрофных бактерий ( $1,9 \pm 1,0$  млн кл./мл, биомасса  $254 \pm 325$  мг/м<sup>3</sup>) в среднем были 1,4-3 раза выше в сравнении с эстуарной зоной реки Агой и достигали максимальных значений на глубине 2,5 м – 3 млн кл./мл, биомасса 396 мг/м<sup>3</sup>. Численность и биомасса инфузорий в пляжной зоне в среднем возрастала в 7-2,5 раз соответственно. Максимум обилия инфузорий отмечен на глубине 7,5 м –  $37 \pm 25,7$  млн экз./м<sup>3</sup>, биомасса  $458 \pm 408$  мг/м<sup>3</sup>. На этой глубине была самой высокой по району исследования численность икринок и личинок рыб (в вертикальных ловах 72 экз./м<sup>2</sup>, при средних значениях 37 экз./м<sup>2</sup>, в горизонтальных – 61,4 экз./100 м<sup>3</sup>). В составе иктопланктона доминировала султанка (38,2%) и морской карась (34%). Однако процент нежизнеспособных икринок и личинок и с аномалиями в развитии (68%) в среднем был в 8 раз выше, чем на первом разрезе. Голо-, и мероопланктон в районе пляжа вод имели невысокие значения, а их распределение из-за сильного перемешивания вод носило мозаичный характер. Численность голопланктона колебалась от 1,9 до 2,8 тыс. экз./м<sup>3</sup> при средних значениях  $2,3 \pm 0,46$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса –  $15,7-41,5$  мг/м<sup>3</sup> при средних значениях  $26,5 \pm 13,2$  мг/м<sup>3</sup>; численность мероопланктона – от 0,45 до 0,8 тыс. экз./м<sup>3</sup> при средних значениях  $0,7 \pm 0,09$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса –  $5-21,5$  мг/м<sup>3</sup> при средних значениях  $5 \pm 2,6$  мг/м<sup>3</sup>. В составе зообентоса рыхлых грунтов выделен биоценоз с доминированием двустворчатых моллюсков *Lucinella divaricata* (глубина 2,5-5,5 м) и биоценоз *Chamelea gallina* (глубина 7,5 м). Выше приведена характеристика этих биоценозов (см. разрез I). Однако в районе пляжа средняя плотность поселения донных животных и его биомасса ( $430 \pm 94,7$  экз./м<sup>2</sup> и  $16,9 \pm 8,4$  г/м<sup>2</sup>) были соответственно в 4 и 7 раз ниже, чем в эстуарной зоне реки Агой.

**Разрез III (береговой сток).** В поверхностных водах берегового стока минимальные величины растворенного кислорода составляли 7,09 мг/л (в среднем  $7,8 \pm 0,31$  мг/л), максимальные величины фосфатов – 6,75 мкг/л (в среднем  $6,03 \pm 0,4$  мкг/л), органического азота – 614 мкг/л (среднем  $430 \pm 65,2$  мкг/л), взвешенных веществ – 3,33 мг/л (в среднем  $3,11 \pm 0,19$  мг/л), фенола – 2,6 мкг/л (в среднем  $2,3 \pm 0,18$  мкг/л), детергентов (КПАВ) – 0,11 мг/л (в среднем  $0,04 \pm 0,03$  мг/л), марганца – 0,11 мг/л (в среднем  $0,03 \pm 0,005$  мг/л), цинка – 50,1 мкг/л (в среднем  $23,9 \pm 9,54$  мкг/л), свинца – 23,1 мкг/л (в среднем  $15,5 \pm 4,23$  мкг/л), кадмия – 11,72 мкг/л (в среднем  $10,9 \pm 0,44$  мкг/л) (табл. 2). В донных

отложениях максимальные концентрации нефтепродуктов отмечены на уровне 57 мг/кг (в среднем  $27,9 \pm 26,0$  мг/кг), меди – 39,1 мкг/г (в среднем  $24,6 \pm 8,09$  мкг/г). Однако статистические различия между гидрохимическими параметрами трех разрезов были не достоверны ( $p > 0,05$ ) и находились в пределах случайных колебаний этих показателей.

В районе берегового стока отмечено возрастание роли синезеленых и эвгленовых водорослей до 13,4% от общей численности фитопланктона (41,1 млн кл./м<sup>3</sup>), динофитовых – 16% (49,6 млн кл./м<sup>3</sup>) и снижение роли примнезиевых – 57,5% (175 млн кл./м<sup>3</sup>). Показательные для сапробных вод солоноватоводные поли- и мезосапробные синезеленые водоросли родов *Oscillatoria*, *Lyngbya* и эвгленовые водоросли родов *Eutreptia*, *Euglena* в сумме составляли 20% общей численности фитопланктона. Существенный вклад в биомассу вносили динофитовые – 59,2% ( $126,7$  мг/м<sup>3</sup>) и диатомовые водоросли – 20% ( $49,6$  мг/м<sup>3</sup>). В распределении суммарной численности фитопланктона в сравнении с другими участками существенных различий не найдено. В районе берегового стока на глубине 2,5 м количество гетеротрофной микрофлоры достигало очень высоких значений численности для открытых участков – 4,5 млн кл./мл при биомассе  $764$  мг/м<sup>3</sup> (в среднем  $3,1 \pm 0,5$  млн кл./мл и  $531 \pm 92,4$  мг/м<sup>3</sup> соответственно). Здесь же отмечены самые высокие количественные показатели инфузорий – 64 млн. экз./м<sup>3</sup>, биомасса  $782$  мг/м<sup>3</sup> (в среднем  $46 \pm 7,2$  млн. экз./м<sup>3</sup>,  $616 \pm 77,1$  мг/м<sup>3</sup> соответственно). Корреляционный анализ позволил выявить зависимость между численностью и биомассой гетеротрофных бактерий и инфузорий, представленных в планктоне исследуемого района ( $r = -0,95-0,99$ ). В распределении обилия голо- и мероопланктона существенных отличий в сравнении с другими разрезами не обнаружено. В то же время, численность иктопланктона в горизонтальных ловах была в два раза ниже в сравнении с I и II разрезами, в вертикальных ловах – в 6,5 и 18,5 раз соответственно. Доминировала султанка (61,4%) и морской карась (29,2%). Практически все икринки и личинки были с аномалиями в развитии. На разрезе у берегового стока средняя биомасса зообентоса была минимальной ( $0,5 \pm 0,05$  г/м<sup>2</sup>, плотность  $536 \pm 30$  экз./м<sup>2</sup>). Здесь располагался биоценоз многощетинкового червя *Capitella capitata* (Fabricius). Плотность доминирующего вида была  $388 \pm 29,2$  экз./м<sup>2</sup> (72,5% от средней), биомасса –  $0,3 \pm 0,05$  г/м<sup>2</sup> (62,6%). Биоценоз представлен (Polychaeta) *Polydora* sp., *Nephtys hombergii* Savigny in Lamarck, *Scolecopsis fuliginosa*, *Heteromastus filiformis* (Claparède), (Bivalvia) *C. gallina*, *A. kagoshimensis*, (Gastropoda) *Bittium reticulatum* (da Costa), (Cirripedia) *A. improvisus*.

Выполненные комплексные гидробиологические и гидрохимические исследования позволили провести анализ экологического состояния черноморского прибрежного мелководья Кавказа в районе устья реки Агой. Полученные результаты свидетельствовали об удовлетворительном состоянии большей части пляжной зоны на глубинах 2,5-7,5 м, где располагались псаммофильные биоценозы двустворчатых моллюсков *Lucinella divaricata* и *Chamelea gallina*. Пространственная гетерогенность планктона и зообентоса была обу-

словлена комплексом факторов, которые определяли специфику видового состава, обилие и структуру сообществ. Известно, что основным фактором, оказывающим влияние на уровень количественного развития кокколитофориды *E. huxleyi* на северо-восточном шельфе Черного моря, является концентрация фосфора и гидрофизические факторы [15; 16]. Замещение этих водорослей миксотрофами в районе берегового стока связано со способностью последних использовать минеральные и органические формы биогенных элементов, а в случае с цианобактериями – азотфиксацию и хемосинтез [17]. Развитие солоновато-водных поли-, мезосапробных синезеленых и эвгленовых водорослей в районе берегового стока, а также высокие показатели обилия гетеротрофного бактериопланктона согласно работе [17] определяли трофический статус вод как мезотрофно-эвтрофных. Средняя численность гетеротрофных бактерий в районе берегового стока была в три раза выше в сравнении с пляжной зоной и в пять раз – с устьем реки Агой. Аналогичная тенденция наблюдалась и в распределении инфузорий. В среднем, численность и биомасса гетеротрофных бактерий и инфузорий (микроретротрофов) в пляжной зоне района устья реки Агой, испытывающей рекреационную нагрузку, были сопоставимы с таковыми открытых частей бухт и портов северо-восточной части Черного моря [18]. Известно, что в результате активной деградации многочисленные микроретротрофы (бактерии и инфузории) справляются с поступающим в водоем аллохтонным органическим веществом [1; 2]. Обилие голопланктона и меропланктона открытого прибрежного мелководья района устья реки Агой в сравнении с заливами и бухтами северо-восточного шельфа Черного моря было низким [1; 2; 19]. Голопланктон состоял главным образом из неритических организмов – мелких ракообразных *P. polyphemoides*, *A. tonsa*, *O. davisae*. Меропланктон также имел свои особенности, которые связаны со сроками нереста, составом донных биоценозов и другими, в том числе антропогенными факторами. Он характеризовался низким видовым разнообразием и обилием, а в его структуре значительную роль играли личинки спионид и усоногих раков. Наиболее вероятная причина слабого количественного развития ихтиопланктона и бедности его таксономического состава – ухудшение условий обитания для нерестовых популяций рыб в зоне рекреации. В районе стока и пляжа икра была главным образом с патологией в развитии (68-100%), а показатели численности ихтиопланктона близки к таковым, отмеченным в загрязненных портах северо-восточной части Черного моря [20]. Ведущая роль в формировании пространственной структуры зообентосных сообществ принадлежит типу и характеру загрязненности осадков [21]. Различия в геохимическом фоне морских прибрежных вод и гистопатологическом состоянии донных моллюсков выявлены в четырех районах северо-восточного шельфа Черного моря [22]. Площадь дна пляжной и эстуарной зоны реки Агой занимали псаммофильные сообщества двустворчатых моллюсков *S. gallina* и *L. divaricata*. В 1960-1980-х гг. в Туапсинском районе *S. gallina* составляла основу “венусового биоценоза” на глубинах 20-30 м [23]. Двустворчатый моллюск *L. divaricata* был постоянным компонентом этого сообщества. В конце 1990-х гг.

отмечено полное отсутствие *L. divaricata* в районе между Геленджиком и Туапсе [24]. По работе [25] в 2007 и 2008 гг. биоценозы *S. gallina* и *L. divaricata* в кавказском секторе Черного моря были представлены слабо. В результате заиления отмечено сужение зоны, занимаемой сообществом *S. gallina*, до глубин 10-25 м [26]. В тоже время, на крымском побережье *L. divaricata* имела наибольшую плотность среди моллюсков (446 экз./м<sup>2</sup>) [27]. Такую же плотность вида (457 экз./м<sup>2</sup>) мы отмечали на глубине 2,5-5,5 м в эстуарной зоне реки Агой в июне 2012 г. На участке Джубга – Хоста в 2013 г. на глубине 10-25 м в биоценозе *Chamelea gallina* – *Pitar rudis* плотность поселения этого вида составляла 80 экз./м<sup>2</sup> [28]. Структурные характеристики зообентоса, отражающие хронические изменения в морской экосистеме, свидетельствуют о наличии в районе берегового стока факторов, тормозящих развитие планктонных и донных сообществ. На участке берегового стока по сравнению с устьем реки Агой и пляжной зоной обнаружено появление цианобактерий и явное угнетение зообентоса, выражающееся в сукцессии биоценоза двустворчатых моллюсков в биоценоз многощетинковых червей *Capitella capitata* (Fabricius). Биомасса биоценоза многощетинкового червя *C. capitata* у выпуска берегового стока была на два порядка ниже средней по исследуемому району. Общеизвестно, что *C. capitata* – вид толерантный к органическому загрязнению и сероводородному заражению донных осадков. Замещение биоценоза двустворчатых моллюсков биоценозом многощетинковых червей могло произойти в результате значительного антропогенного преобразования биотопа и заиления. Статистические различия между гидрохимическими параметрами трех разрезов были не достоверны и находились в пределах случайных колебаний этих показателей. Такие компоненты загрязнения, как битум, фенол, углеводороды, тяжелые металлы, лишь сопутствуют органическому загрязнению, результатом которого является сульфатредукция и накопление действительно токсичных для фауны сульфидов [29]. На структуру, распространение зообентоса и роль доминирующих видов в биоценозе в антропогенных зонах значительно большее воздействие оказывает уровень сероводородного заражения грунтов, чем загрязнители, традиционно учитываемые в санитарной гидробиологии [29]. Также следует учитывать, что на открытых участках морей существенную роль в формировании гидрохимической структуры вод и количественных показателей планктона играет эффект разбавления вод. Даже пришедшие с паводком воды могут значительно повышать концентрацию элементов питания планктона лишь на короткое время, при этом, существенно не изменяя структуру биологических сообществ [4].

## Выводы

Анализ полученных результатов позволил выявить различия в распределении планктона и зообентоса между разрезами рекреационной зоны, обусловленные разным отношением организмов к комплексу факторов, наиболее важными из которых являются состав грунта, содержание в воде и осадках загрязняющих веществ и рекреационная нагрузка. Полученные результаты свидетельствовали об удовлетворительном состоянии

большей части пляжной зоны в районе устья реки Агой на глубинах 2,5-7,5 м, где располагались псаммофильные биоценозы двусторчатых моллюсков *Lucinella divaricata* и *Chamelea gallina*. Отмечено возрастание плотности редких в конце 1990-х гг. видов *L. divaricata*. Негативное влияние загрязняющих веществ на планктон проявлялось в снижении численности популяции сетного зоопланктона и возрастании микрогетеротрофов. Численность и биомасса гетеротрофных бактерий и инфузорий были сопоставимы с таковыми открытых частей бухт и портов северо-восточной части Черного моря. Их высокие показатели и развитие солоноватоводных поли-, мезосапробных синезеленых и эвгленовых водорослей в районе берегового стока определяли трофический статус вод как мезотрофно-эвтрофных. Слабое развитие ихтиопланктона, голо-, меропланктона, высокая доля нежизнеспособных и с аномалиями в развитии икринок и личинок рыб свидетельствовали о неблагоприятных условиях для эмбрионального и постэмбрионального развития рыб. На участке берегового стока по сравнению с устьем реки Агой и пляжной зоной обнаружено появление цианобактерий и явное угнетение зообентоса, выражающееся в сукцессии биоценоза двусторчатых моллюсков в биоценоз многощетинковых червей *C. capitata*. Биомасса биоценоза *C. capitata* в этом районе была почти на два порядка ниже средней по району. Однако статистически достоверных различий между изучаемыми гидрохимическими параметрами трех разрезов установить не удалось.

Полученные результаты дают представление о состоянии морских прибрежных экосистем рекреационно-туристических и охраняемых зон Кавказа и могут быть полезны для дальнейшего мониторинга этого района.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН по теме «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» № АААА-А18-118021490093-4; государственного задания ФГБУН Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН по теме «Морские природные системы Черного и Азовского морей: эволюция и современная динамика гидрофизических, гидрохимических, биологических, береговых и литодинамических процессов» № 0149-2019-0014; государственного задания ФГБУН Мурманского морского биологического института КНЦ РАН № АААА-А17-117052310083-5.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work was undertaken through the support of the Russian Academy of Sciences: research grant № АААА-А18-118021490093-4 Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS on the subject «Functional, metabolic and toxicological aspects of the existence of hydrobionts and their populations in biotopes with different physical and chemical regime»; research grant № 0149-2019-0014 Shirshov Institute of Oceanology of RAS on the subject «Marine natural systems of the Black Sea and the Sea of Azov: evolution and modern dynamics of hydrophysical, hydrochemical, biological, coastal and lithodynamic pro-

cesses»; research grant № АААА-А17-117052310083-5 Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селифонова Ж.П. Экосистемы акваторий черноморских портов Новороссийска и Туапсе. СПб.: Наука, 2012. 228 с.
2. Селифонова Ж.П. Прибрежные экосистемы северо-восточного шельфа Черного моря и Азовского моря. Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф.Ушакова, 2014. 170 с.
3. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Soloviev D.M., Tepe Ya. On river plumes along the Turkish coast of the Black Sea // *Ecologica Montenegrina*. 2019. V. 25. P. 1-16.
4. Паутова Л.А., Силкин В.А., Часовников В.К. Реакция фитопланктонного сообщества на катастрофическое наводнение (июль 2012 г.) // *Вопросы современной альгологии*. 2018. Т. 17. N 2. URL: <http://algology.ru/1295> (дата обращения: 21.07.2019)
5. Гицба Я.В., Экба Я.А. Влияние речного стока на загрязнение биогенными элементами и нефтепродуктами морской акватории Абхазии // *Известия Южного Федерального Университета. Технические науки*. 2017. Т. 193. N 8. С. 27-37. DOI: 10.23683/2311-3103-2017-8-27-37
6. Selifonova Zh.P., Makarevich P.R., Samyshev E.Z., Bartits L.M. Study of ecosystem of the Sukhum Bay with emphasis on anthropogenic impact, Abkhazian Black Sea coast // *Ecologica Montenegrina*. 2019. V. 22. P. 108-116.
7. Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А., Марьясова Е.С. Оценка уровня техногенных загрязнений в прибрежной зоне Черного моря в районе Геленджика // *Океанология*. 2016. Т. 56. N 1. С. 76-80. DOI: 10.7868/S0030157416010020
8. Samyshev E.Z., Minkina N.I., Orlova I.G. Integral assessment of pollution in bottom sediments of coastal and open sea areas of the Black Sea // *Морський екологічний журнал*. 2014. V.13, N. 4. P. 41-49.
9. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.243\_02. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
10. Брянцева Ю.В., Лях А.М., Сергеева А.В. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. Севастополь, 2005. 25 с.
11. Коновалова Г.В. Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря // *Биология моря*. 1984. N 1. С. 13-23.
12. Hobbie J.E., Dadey R.J., Jasper S. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // *Appl. Environ. Microbiologia*. 1977. V. 33. Iss. 5. P. 1225-1228.
13. Sorokin Yu.I. Aquatic microbial ecology. Leiden: Backhuys, 1999. 245 p.
14. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
15. Силкин В.А., Паутова Л.А., Микаэлян А.С. Рост кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (Lohm.) Hay et Mohl. в северо-восточной части Черного моря, лимитированный концентрацией фосфора // *Альгология*. 2009. Т. 19. N 2. С. 135-144.
16. Якубенко В.Г., Востоков С.В., Силкин В.А., Паутова Л.А., Востокова А.С. Гидрофизические факторы формирования интенсивного «цветения» кокколитофориды *Emiliania huxleyi* в Абхазском секторе Черного моря в конце мая 2013 г. // *Экология гидросферы*. 2019. Т. 3. N 1. С. 52-67. DOI: 10.33624/2587-9367-2019-1(3)-52-67
17. Сорокин Ю.И. Бактериопланктон // *Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения прикавказской зоны Черного моря*. М.: Недра, 1996. С. 266-276.

18. Селифонова Ж.П. Гетеротрофные бактерии, зоофлагелляты и инфузории прибрежных вод северо-восточного шельфа Черного моря // Биология внутренних вод. 2014. N 3. С. 45-53. DOI: 10.7868/S0320965214030176
19. Селифонова Ж.П. Голопланктон акваторий курортных городов северо-восточной части Черного моря // Бюллетень МОИП. Отд. Биол. 2014. Т. 119. Вып. 1. С. 39-50.
20. Селифонова Ж.П. Иктиопланктон прибрежных вод северо-восточного шельфа Черного моря и Керченского пролива // Вопросы иktiологии. 2012. Т. 52. N. 4. С. 423-431.
21. Самышев Э.З., Золотарев П.Н. Механизмы антропогенного воздействия на бенталь и структуру донных биоценозов северо-западной части Черного моря / Ин-т морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского. РАН. Севастополь: ООО «Колорит», 2018. 208 с.
22. Колючкина Г.А., Будько Д.Ф., Часовников В.К., Чжу В.П. Влияние характеристик донных осадков на локальную изменчивость гистопатологий двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* на северо-восточном побережье Черного моря // Океанология. 2017. Т. 57. N 6. P. 911-933. DOI: 10.7868/S0030157417060077
23. Заика В.Е., Киселева М.И., Михайлова Т.В., Маккаева Е.Б. и др. Многолетние изменения зообентоса Черного моря. Киев: Наукова думка, 1992. 248 с.
24. Кучерук Н.В., Басин А.Б., Котов А.В., Чикина М.В. Макрозообентос рыбных грунтов северо-кавказского побережья Черного моря: многолетняя динамика сообществ // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. М.: Наука, 2002. С. 289-297.
25. Набоженко М.В. Современное распределение двустворчатых моллюсков (Mollusca: Bivalvia) северо-восточной части Чёрного моря // Вестник Южного научного центра РАН. 2011. Т. 7. N. 3. С. 79-86.
26. Chikina M.V., Kucheruk N.V. Long-term changes in the structure of coastal benthic communities in the north-eastern part of the Black Sea: influence of alien species // Oceanology. 2005. V. 45. N 1. P. 176-182.
27. Ревков Н.К. Макрозообентос украинского шельфа Черного моря // Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. С. 140-162.
28. Селифонова Ж.П., Часовников В.К. Экологическое состояние зообентоса прикавказской зоны Черного моря (район Джубга – Хоста) // Системы контроля окружающей среды. 2017. Т. 10. N 30. С. 119-128. DOI: 10.33075/2220-5861-2017-4-119-128
29. Sorokin Yu.I., Zakuskina O.Yu. Acid-soluble sulfides in the upper layer of the bottom sediments on the north-eastern shelf of the Black Sea: relation to the pollution and environmental aftereffects // Oceanology. 2008. V. 48. N 2. P. 204-211.
- REFERENCES**
1. Selifonova Zh.P. *Ekosistemy akvatorii chernomorskikh portov Novorossiiska i Tuapse* [Marine Ecosystems of the Ports of Novorossiysk and Tuapse of the Black Sea]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2012, 228 p. (In Russian)
2. Selifonova Zh.P. *Pribrzhnye ekosistemy severo-vostochnogo shel'fa Chernogo morya i Azovskogo morya* [Coastal ecosystems of the north-eastern Black Sea and the Sea of Azov]. Novorossiysk, State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakov Publ., 2014, 170 p. (In Russian)
3. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Soloviev D.M., Tepe Ya. On river plumes along the Turkish coast of the Black Sea. *Ecologica Montenegrina*, 2019, vol. 25, pp. 1-16.
4. Pautova L.A., Silkin V.A., Chasovnikov V.K. [The response of the phytoplankton community to a catastrophic flood (July 2012)]. *Voprosy sovremennoi al'gologii*, 2018, vol. 17, no. 2 (In Russian) Available at: <http://algology.ru/1295> (accessed 21.07.2019)
5. Gitsba Ya.V., Ekba Ya.A. Influence of river runoff on pollution by nutrients and oil products in the marine area of Abkhazia. *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*, 2017, vol. 193, no. 8, pp. 27-37. (In Russian) DOI: 10.23683/2311-3103-2017-8-27-37
6. Selifonova Zh.P., Makarevich P.R., Samyshev E.Z., Bart-sits L.M. Study of ecosystem of the Sukhum Bay with emphasis on anthropogenic impact, Abkhazian Black Sea coast. *Ecologica Montenegrina*, 2019, vol. 22, pp. 108-116.
7. Chasovnikov V.K., Chjoo V.P., Ocherednik O.A., Mar'yasova E.S. Evaluation of the level of technogenic pollution in the coastal zone of the Black Sea near Gelendzhik. *Oceanology*, 2016, vol. 56, no. 1, pp. 76-80. (In Russian) DOI: 10.7868/S003015 41 6010020
8. Samyshev E.Z., Minkina N.I., Orlova I.G. Integral assessment of pollution in bottom sediments of coastal and open-sea areas of the Black Sea. *Morskoi ekologicheskii zhurnal [Marine ecological journal]*. 2014, vol. 13, no. 4, pp. 41-49.
9. *Rukovodstvo po khimicheskoy analizu morskikh vod. RD 52.10.243\_02* [Guide for Chemical Analysis of Marine Waters. RD 52.10.243\_02]. SPb., Gidrometeoizdat Publ., 1993, 264 p. (In Russian)
10. Bryantseva Yu.V., Lyah A.M., Sergeeva A.V. *Raschet ob'emov i ploshchadei poverkhnosti odnokletochnykh vodoroslei Chernogo morya* [Calculation of Volumes and Surface Areas of Single-celled Algae of the Black Sea.]. Sevastopol', 2005, 25 p. (In Russian)
11. Konovalova G.V. Structure of the planktonic phytocene of the East Sea of the Japan Bay. *Biologiya morya [Russian journal of Marine Biology]*. 1984, no. 1, pp. 13-23. (In Russian)
12. Hobbie J.E., Dadey R.J., Jasper S. Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiologia*, 1977, vol. 33, iss. 5, pp. 1225-1228.
13. Sorokin Yu.I. *Aquatic microbial ecology*. Leiden, Backhuys, 1999, 245 p.
14. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii* [Guide to Methods for Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1983, 239 p. (In Russian)
15. Silkin V.A., Pautova L.A., Mikaelyan A.S. Growth of coccolithophorids *Emiliana huxleyi* (Lohm.) Hay et Mohl. in the north-eastern part of the Black Sea, limited by the concentration of phosphorus. *Al'gologiya [Algologia]*. 2009, vol. 19, no. 2, pp. 135-144. (In Russian)
16. Yakubenko V.G., Vostokov S.V., Silkin V.A., Pautova L.A., Vostokova A.S. Hydrophysical factors of coccolithophores *Emiliana huxleyi* intensive bloom formation in the Abkhazian sector of the Black Sea at the end of May 2013. *Hydro-sphere ecology*, 2019, vol. 3, no. 1, pp. 52-67. (In Russian) DOI: 10.33624/2587-9367-2019-1(3)
17. Sorokin Yu.I. [Bakterioplankton]. In: *Tekhnogennoe zagryaznenie i protsessy estestvennogo samoochishcheniya prikavkazskoi zony Chernogo morya* [Technogenic Pollution and Processes of Natural Self-purification of the Caucasian zone of the Black Sea]. Moscow, Nedra Publ., 1996, pp. 266-276. (In Russian)
18. Selifonova Zh.P. Heterotrophic bacteria, zooflagellates and infusoria of coastal waters of the north-eastern shelf of the Black Sea. *Inland Water Biology*, 2014, no. 3, pp. 45-53. (In Russian) DOI: 10.7868/S0320965214030176
19. Selifonova Zh.P. Holoplankton of the waters of resort towns in the north-eastern part of the Black Sea. *Byulleten' Moskovskogo obschestva ispytateley prirody. Otdelenie Biologicheskoe* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists

Biological series]. 2014, vol. 119, iss. 1, pp. 39-50. (In Russian)

20. Selifonova Zh.P. Ichthyoplankton of coastal waters of the north-eastern shelf of the Black Sea and the Kerch Strait. *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology]. 2012, vol. 52, no. 4, pp. 423-431. (In Russian)

21. Samyshev E.Z., Zolotarev P.N. *Mekhanizmy antropogen-nogo vozdeistviya na bental' i strukturu donnykh biotsenozov severo-zapadnoi chasti Chernogo morya* [Mechanisms of Anthropogenic Impact on Benthos and the Structure of Bottom Biocenoses in the North-western Part of the Black Sea]. Sevastopol, «Kolorit» Publ., 2018, 208 p. (In Russian)

22. Kolyuchkina G.A., Budko D.F., Chasovnikov V.K., Chzhu V.P. Influence of bottom sediment characteristics on local variability of histopathologies of the bivalve *Anadara kagoshimensis* on the north-eastern coast of the Black Sea. *Oceanology*, 2017, vol. 57, no. 6, pp. 911-933. (In Russian) DOI: 10.7868/S0030157417 06 00 77

23. Zaika V.E., Kiseleva M.I., Mikhailova T.V., Makkaveeva E.B. et al. *Mnogoletnie izmeneniya zoobentosa Chernogo morya* [Long-term Changes in the Zoobenthos of the Black Sea]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1992, 248 p. (In Russian)

24. Kucheruk N.V., Basin A.B., Kotov A.V., Chikina M.V. [Macrozoobenthos of bottom sediments of the North Caucasus coast of the Black Sea: long-term dynamics of communities]. In: *Kompleksnye issledovaniya severo-vostochnoi chasti Chernogo morya* [Complex Studies of the North-

Eastern Part of the Black Sea]. Moscow, Nauk Publ., 2002, pp. 289-297. (In Russian)

25. Nabozhenko M.V. Recent distribution of bivalve mollusks (Mollusca: Bivalvia) in the northeastern Black Sea. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo centra RAN* [Bulletin of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2011, vol. 7, no. 3, pp. 79-86 (In Russian)

26. Chikina M.V., Kucheruk N.V. long-term changes in the structure of coastal benthic communities in the northeastern part of the Black Sea: influence of alien species. *Oceanology*, 2005, vol. 45, no. 1, pp. 176-182.

27. Revkov N.K. [Macrozoobenthos of the Ukrainian shelf of the Black Sea]. In: *Promyslovye bioresursy Chèrnogo i Azovskogo morei* [Commercial Bioresources of the Black and Azov Seas.]. Sevastopol', EKOSI-Gidrofizika Publ., 2011, pp. 140-162. (In Russian)

28. Selifonova Zh.P., Chasovnikov V.K. Ecological condition of zoobenthos on the Caucasus coast near Dzhubga – Khosta (the Black Sea). *Monitoring systems of environment*, 2017, vol. 10, no. 30, pp. 109-118. (In Russian) DOI: 10.33075/2220-5861-2017-4-119-128

29. Sorokin Yu.I., Zakuskina O.Yu. Acid-soluble sulfides in the upper layer of the bottom sediments on the north-eastern shelf of the Black Sea: relation to the pollution and environmental aftereffects. *Oceanology*, 2008, vol. 48, no. 2, pp. 204-211.

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Валерий К. Часовников выполнил отбор проб и гидрохимические измерения. Жанна П. Селифонова, Эрнест З. Самышев, Павел Р. Макаревич проанализировали данные и подготовили рукопись. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Valery K. Chasovnikov conducted sampling and hydrochemical measurements. Zhanna P. Selifonova, Ernest Z. Samyshev and Pavel R. Makarevich analyzed the data and prepared the manuscript. All authors participated equally in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

#### ORCID

Жанна П. Селифонова / Zhanna P. Selifonova <https://orcid.org/0000-0002-4924-815X>  
 Валерий К. Часовников / Valery K. Chasovnikov <https://orcid.org/0000-0003-3713-5059>  
 Эрнест З. Самышев / Ernest Z. Samyshev <https://orcid.org/0000-0001-6979-6172>  
 Павел Р. Макаревич / Pavel R. Makarevich <https://orcid.org/0000-0002-7581-862X>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 595.384.16:639.281.7.(262.18)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-28-36

# Современное состояние и хозяйственная ценность астакофауны в отдельных районах восточного шельфа Каспийского моря

Владимир Б. Ушивцев<sup>1</sup> , Сергей В. Востоков<sup>1</sup>, Гульнара А. Ахмедова<sup>2</sup>,  
Майя Л. Галактионова<sup>1</sup>, Сергей А. Котеньков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

## Контактное лицо

Владимир Б. Ушивцев, кандидат биологических наук, директор Каспийского филиала ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН; 414056 Россия, г. Астрахань, ул. Савушкина, д. 6, стр. 27.

Тел. +7(8512)544559

Email [caspy@bk.ru](mailto:caspy@bk.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4305-6111>

## Формат цитирования

Ушивцев В.Б., Востоков С.В., Ахмедова Г.А., Галактионова М.Л., Котеньков С.А. Современное состояние и хозяйственная ценность астакофауны в отдельных районах восточного шельфа Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 28-36. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-28-36

Получена 5 августа 2019 г.

Прошла рецензирование 9 октября 2019 г.

Принята 12 декабря 2019 г.

## Резюме

**Целью** данной работы стала оценка современного состояния популяций раков (*Astacidae*) на восточном шельфе Каспийского моря в местах их массового обитания (залив Александра Бековича-Черкасского). Сбор исследовательского материала осуществлялся в марте-апреле 2018 г.

**Материал и методы.** В основу полевых работ легли методы подводных исследований с применением легководолазной техники. Сбор исследовательского материала осуществлялся методом маршрутного учета на трансектах площадью 100 м<sup>2</sup>. Собранные раки идентифицировались по видам, измерялись, взвешивались, оценивалась плодовитость и состояние панциря. После измерений раки в живом виде выпускались в море. Расчет общей численности осуществлялся на основе определения плотности скоплений (экз./м<sup>2</sup>) с дальнейшим пересчетом на полезные площади биотопов. Оценку промысловых запасов проводили на основе размерно-весовых характеристик собранных особей. Для обобщения материалов и выводов использован сравнительный анализ результатов современных исследований и архивные данные 70-90-х годов прошлого столетия.

**Результаты** анализа показали, что в составе популяций произошли существенные изменения. Доминантным видом стал *Caspiastacus pachypus* Rathke, который в значительной степени вытеснил доминирующего ранее *Pontastacus eichwald* Bott.

**Заключение.** Анализ современного состояния астакофауны на восточном шельфе и исторических данных свидетельствует о существенных изменениях структуры популяции каспийских раков. Стенобионт *C. pachypus* стал доминирующим видом. Его малые размеры снизили хозяйственную ценность раков по сравнению с предыдущим периодом. При этом запасы раков сохраняют промышленный потенциал для освоения этих биоресурсов Каспийского моря.

## Ключевые слова

Каспийское море, восточное побережье, раки, распространение, видовой состав популяций, особенности биологии видов, промысловая и хозяйственная ценность запасов, допустимые объемы вылова.

# Current State and Economic Value of Astacofauna in Certain Areas of the Eastern Shelf of the Caspian Sea

Vladimir B. Ushivtsev<sup>1</sup> , Sergey V. Vostokov<sup>1</sup>, Gulnara A. Akhmedova<sup>2</sup>,  
Maya L. Galaktionova<sup>1</sup> and Sergey A. Kotenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>P.P.Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Dagestan State University, Makhachkala, Russia

## Principal Contact

Vladimir B. Ushivtsev, Cand. Biol. Sci.,  
Director, Caspian Branch, P.P. Shirshov  
Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; 6 bldg. 27 Savushkinast  
St, Astrakhan, 414056 Russia  
Tel. +78512544559  
Email [caspy@bk.ru](mailto:caspy@bk.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4305-6111>

## How to cite this article

Ushivtsev V.B., Vostokov S.V., Akhmedova G.A., Galaktionova M.L., Kotenkov S.A.  
Current state and economic value of  
astacofauna in certain areas of the eastern  
shelf of the Caspian Sea. *South of  
Russia: ecology, development*. 2020, vol.  
15, no. 1, pp. 28-36. (In Russian) DOI:  
10.18470/1992-1098-2020-1-28-36

Received 5 August 2019

Revised 9 October 2019

Accepted 12 December 2019

## Abstract

**Aim.** The purpose of this work was to assess the current state of crayfish populations in their habitats on the eastern shelf of the Caspian Sea (Alexander Bekovich-Cherkassky Bay).

**Material and Methods.** Fieldwork was based on underwater research methods using light diving equipment. Collection of research material was carried out according to an established crayfish survey protocol using fixed grid sites of 100 square metres. Collected crayfish were identified by species, measured and weighed, fecundity of females and the condition of crayfish shells were recorded. Crayfish were then released back into the sea. Calculation of numbers was carried out on the basis of determination of cluster density (ind/m<sup>2</sup>) with a further assessment of useful biotope areas. Calculation of commercial stocks based on crayfish length. The research synthesized information derived from comparative analysis of modern research results and archival data from the 1970s to 1990s.

**Results.** Analysis showed that significant changes in the composition of populations had occurred. The dominant species recorded was *Caspiastacus pachypus* Rathke which has substantially displaced from the biotopes *Pontastacus eichwald* Bott. which was previously the dominant species here.

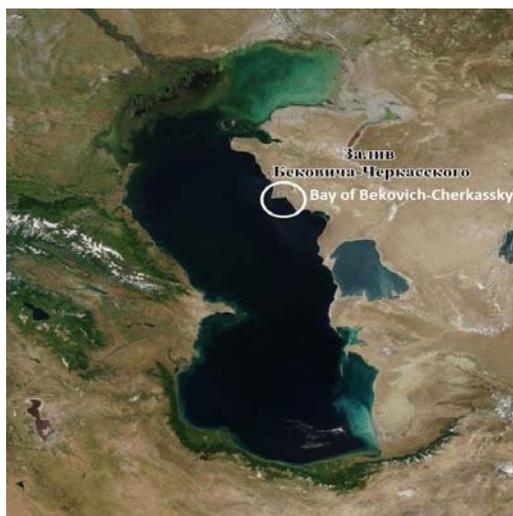
**Conclusion.** Comparative analysis of the modern state of the astacofauna on the eastern shelf and historical data indicates significant changes in the structure of populations of Caspian crayfish. The resilient *C. pachypus* has become the dominant species. Its small commercial size has significantly reduced the economic value of crayfish stocks. In general, however, commercial stocks of these crayfish make it possible to develop these marine biological resources.

## Key Words

Caspian Sea, eastern shelf, crayfish, spread, species composition of crayfish populations, features of species biology, commercial and economic value of crayfish stocks, allowable catch limits.

## ВВЕДЕНИЕ

Сам факт обитания речных раков в соленых водах Каспия является уникальным и заслуживающим изучения. В современном Каспии, на всем его протяжении, на западном и восточном шельфе, на многих банках открытых частей моря можно встретить раков [1-4]. На восточном шельфе Среднего и Южного Каспия их скопления пригодны для промышленной эксплуатации [5; 6]. В море обитают два вида раков: *Pontastacus eichwald* Bott – длиннопалые раки и *Caspiastacus pachypus* Rathke – толстопалые раки [3]. В период последнего подъема уровня моря, пик которого был отмечен в середине 90-х годов прошлого столетия, была отмечена тенденция к увеличению численности *C. pachypus* [7; 8]. С тех пор в течение 20 лет популяции раков Каспия не наблюдались. Исследования удалось провести летом 2016 года. В казахстанском секторе моря от мыса Тюб-Караган до Казахского залива были обследованы прибрежные воды на глубинах от 5 до 25 метров. Наблюдения показали, что в исследуемом секторе моря доминантным видом стал *C. pachypus* – толстопалый рак [9]. Следующий этап исследований, материалы которого представлены в настоящей работе, был проведен в марте – апреле 2018 года. На примере астакофауны, обитающей в Заливе Александра Бековича-Черкасского



**Рисунок 1.** Район проведения работ – залив А. Бековича-Черкасского

**Figure 1.** Area of work conducted in A. Bekovich-Cherkassky Bay

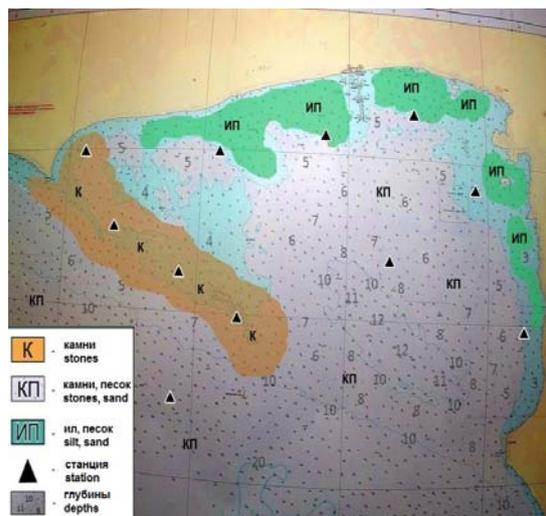
## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди обследованных площадей дна залива было выделено три вида биотопов, к которым привязаны популяции раков (рис. 2). Первый биотоп – это твердые каменистые грунты, состоящие из плит ракушечника и их обломков (К). Такие грунты начинаются от мыса Саржа и тянутся в юго-восточном направлении до центра залива. Полезная площадь таких грунтов составляет 1670 га. Второй биотоп – это смешанные песчано-каменистые грунты (КП), выстилающие большую часть дна залива, их полезная площадь 21000 га. И третий биотоп можно отнести к мягким грунтам, состоящим из илистого песка (ИП), покрытого зарослями *Zostera nana*.

(рис. 1), получены материалы, свидетельствующие о состоянии популяций. Изучены особенности видовой и половой структур, размерный состав раков, плодовитость, запасы и хозяйственная ценность. Определен допустимый объем промышленного вылова.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу работ были положены методы подводных исследований с применением легководолазной техники на глубинах 3-12 м. Пробы раков отбирались водолазами на трансектах учетной площадью 100 м<sup>2</sup> [10]. В заливе было выполнено 11 станций (рис. 2). Общая учетная площадь составила 3100 м<sup>2</sup>. Общее количество собранных на трансектах раков 620 экз. Раки отбирались в сетные кутцы и доставлялись на борт судна. Каждая проба разделялась по видам и по полу. Раки измерялись, взвешивались, отмечалось состояние панцирей, оценивалась рабочая плодовитость самок. Далее раки в живом виде выпускались в море. На станциях измерялась температура воды, отмечались физиологические особенности биотопов. Полученная информация обработана и отражена на карте залива. Осуществлен сравнительный анализ современных и архивных материалов.

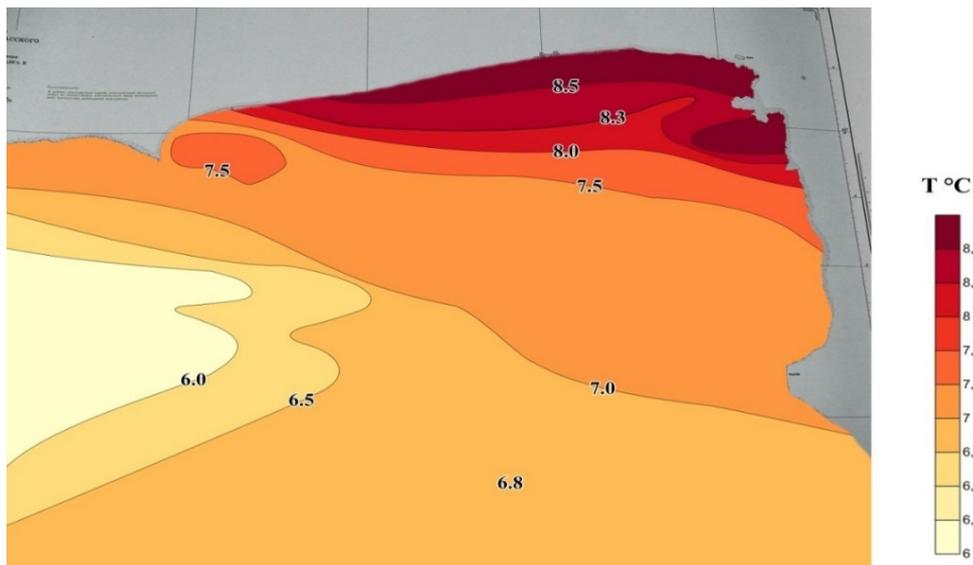


**Рисунок 2.** Расположение станций и биотопов раков в заливе А. Бековича-Черкасского

**Figure 2.** Grid of stations and biotopes in A. Bekovich-Cherkassky Bay

Такие грунты обнаружены в прибрежной части залива с полезными площадями 773 га. Температурный режим воды в заливе был типичным для марта месяца и находился в диапазоне 6-8,5°C (рис. 3).

Маршрутный учет на трансектах показал, что наиболее плотные скопления самцов *C. pachypus* были привязаны к твердым грунтам (К) каменистой гряды, простирающейся от мыса Саржа до центра залива. В большом количестве они обнаружены на смешанных песчано-каменистых грунтах (КП) вокруг гряды, местами, в основном неполовозрелые особи, встречались на мягких илисто-песчаных грунтах (ИП) в зарослях морской травы (рис. 4).

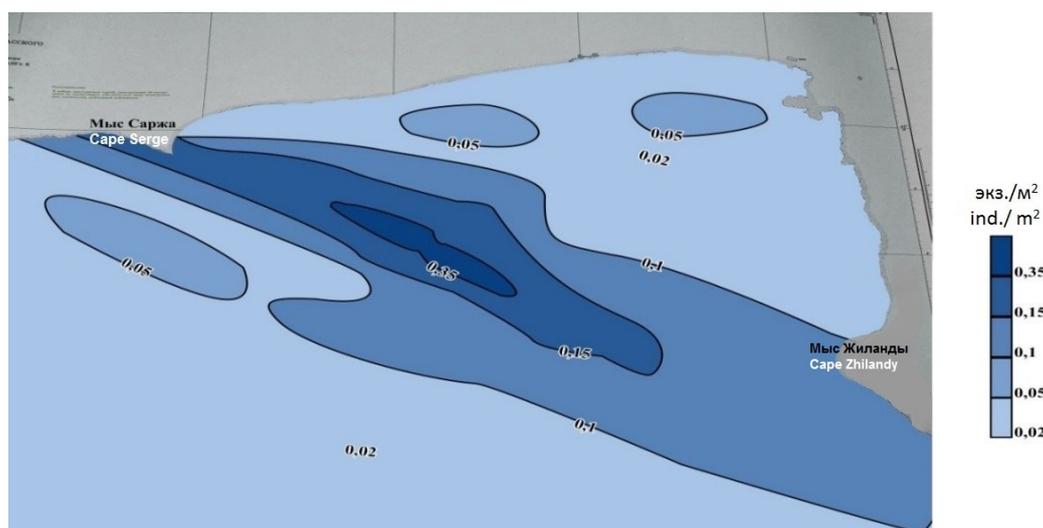


**Рисунок 3.** Температура воды в заливе А. Бековича-Черкасского в марте 2018 года  
**Figure 3.** Water temperature in A. Bekovich-Cherkassky Bay, March 2018

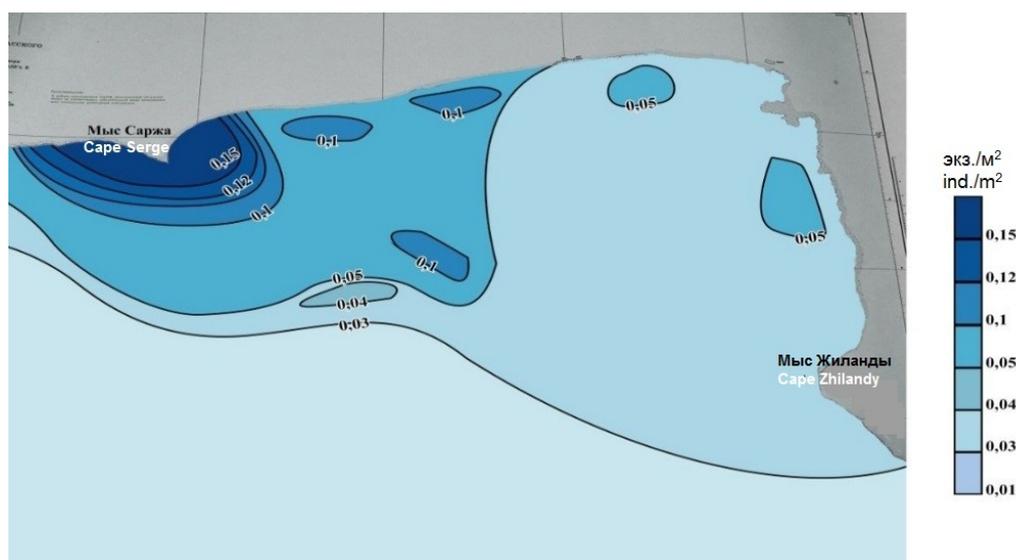
Самки *S. pachypus* большей частью также были привязаны к каменистым (К) и смешанным (КП) грунтам. Но в отличие от самцов наиболее плотные скопления образовывали на мелководьях вокруг мыса Саржа, где вода лучше прогревалась и имела благоприятный газовый режим (рис. 5). Местами они обнаружены в норах на нетипичном для них биотопе – мягких песчано-илистых грунтах (ИП) в зарослях *Zostera nana*, где отмечена самая высокая температура воды. В целом картина распространения самок *S. pachypus* была привязана к температурному и газовому режиму в заливе. Такое распространение объясняется тем, что самки в процессе инкубации икры искали наиболее благоприятные условия для размножения.

Распространение *P. eichwald* существенно отличалось и имело свои характерные особенности. Самки

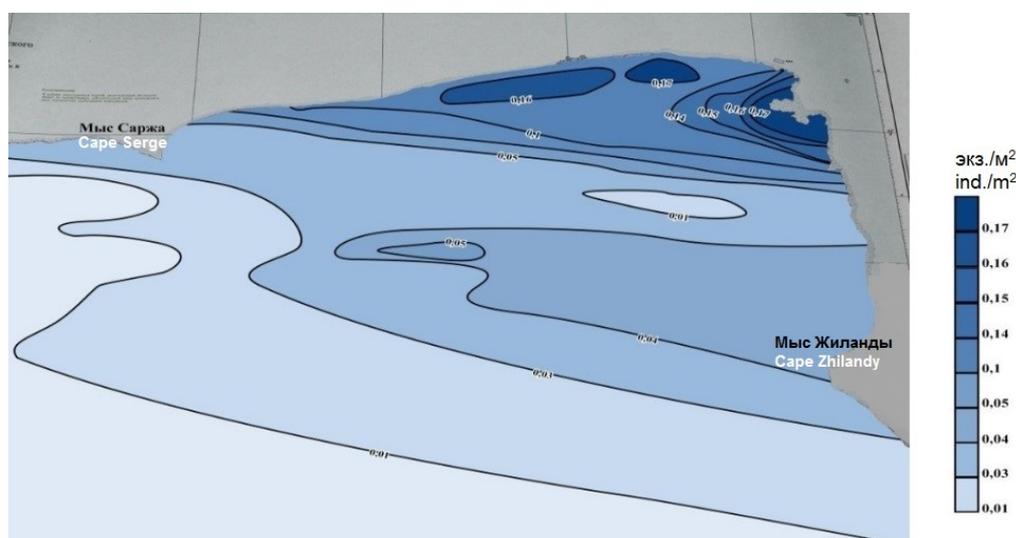
в большом количестве были обнаружены на мягких песчано-илистых грунтах (ИП) в прибрежных водах северной, северо-восточной и восточной частях залива. Здесь же отмечена самая высокая температура воды 8,5°C (рис. 6). На этом биотопе раки обнаружены в норах и в зарослях морской травы. В меньшем количестве самки встречались на смешанных (КП) и единично на каменистых (К) грунтах. В целом, картина распространения икраяных самок *P. eichwald* была привязана к температуре воды и грунтам, позволяющим строительство убежищ. Являясь эврибионтным, этот вид рака в меньшей степени, чем *S. pachypus* зависит от газового режима, поэтому предпочитает строить индивидуальные убежища в виде глубоких нор.



**Рисунок 4.** Распространение самцов *S. pachypus* в заливе А. Бековича-Черкасского  
**Figure 4.** Distribution of males of *S. pachypus* in A. Bekovich-Cherkassky Bay



**Рисунок 5.** Распространение самок *C. pachypus* в заливе А. Бековича-Черкасского  
**Figure 5.** Distribution of females of *C. pachypus* in A. Bekovich-Cherkassky Bay



**Рисунок 6.** Распространение самок *P. eichwald* в заливе А. Бековича-Черкасского  
**Figure 6.** Distribution of females of *P. eichwald* in A. Bekovich-Cherkassky Bay

Половозрелые самцы *P. eichwald* большей частью концентрировались в центре залива на каменистых грунтах (К) подводной гряды. По мере удаления от гряды их количество снижалось. Молодь местами образовывала скопления вдоль береговой линии на мягких песчано-илистых грунтах (ИП) в зарослях морской травы (рис. 7). Распространение половозрелых самцов обоих видов раков в целом было привязано к кормовой базе, наилучшие показатели которой отмечены в центре залива. Ювенильные особи большей частью встречались в прибрежных теплых водах, где, судя по состоянию панцирей, готовились к очередной линьке.

Анализ видового состава популяций показал, что из 620 экз. раков, собранных на 11 станциях залива, 455 экз. были представлены *C. pashtypus* и 165 экз. *P. eichwald*. Сравнительный анализ архивных и современных данных показал, что в заливе процентное соотно-

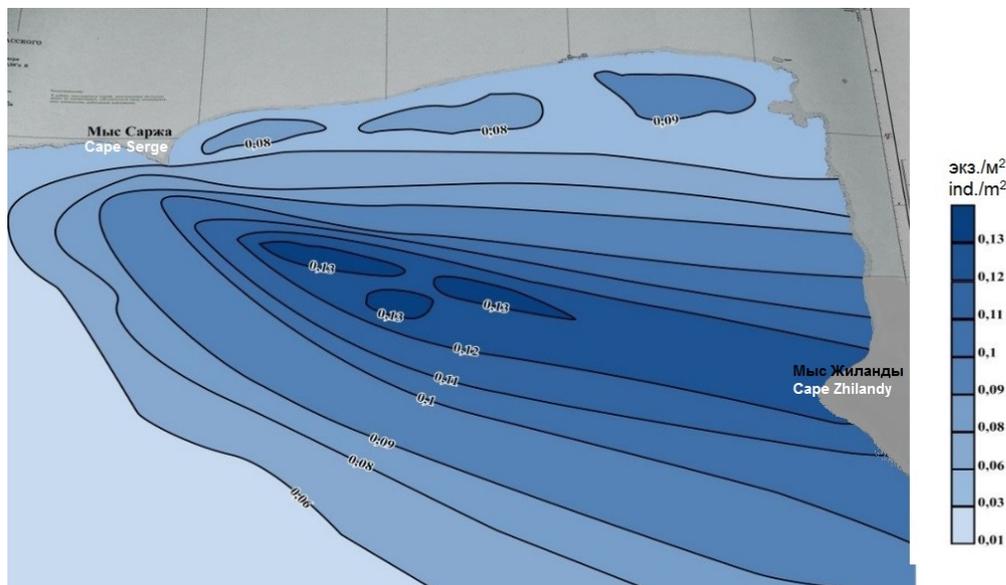
шение видов *C. pachypus*/*P. eichwald* составляло: в 1978 году 15/85%, в 1994 году 55/45%, в 2018 году 74/26%. В период с 1978 по 1994 гг. наблюдалась очередная трансгрессия уровня моря, который повысился на 2,5 м. В связи с этим проточность залива существенно возросла, изменились течения, температура воды летом снизилась в среднем с 23 до 19°C [7-9]. Более холодолюбивый и оксифильный *C. pashtypus* в новых условиях начал увеличивать свою численность [11-14]. Современные исследования показывают, что за 20 лет со времени последних наблюдений, несмотря на то, что уровень моря находится в стадии снижения, *C. pachypus* уверенно доминирует в водах залива и продолжает вытеснять *P. eichwald*.

Анализ рабочей плодовитости показал, что в среднем у самок *C. pachypus* на брюшке было  $16 \pm 3$  икр., у самок *P. eichwald*  $70 \pm 16$  икр. Половое соотношение в

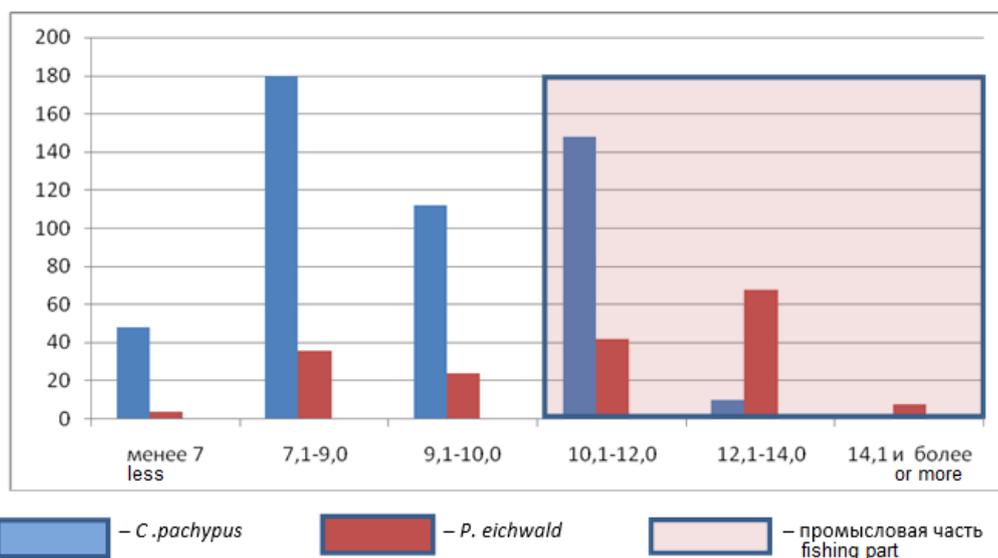
популяциях самки / самцы, у *S. pachypus* 1:5, у *P. eichwald* 1:2. Все это соответствует литературным данным прошлых лет [3; 12].

При изучении размерного состава популяций собранные раки были разбиты на группы. Менее 7 см; 7,1-9,0 см; 9,1-10,0 см; 10,1-12,0 см; 12,1-14,0 см; 14,1 см и более. Размерный ряд раков показал, что из 455

экз. *S. pachypus* особи с промысловыми размерами (длина тела более 10 см) составили 158 экз., или 35%. Из 165 экз. *P. eichwald*, промысловая часть 118 экз., или 72% (рис. 8). Изучение весовых характеристик всего размерного ряда раков показало, что средний вес *S. pachypus* составляет  $30 \pm 9$  г, *P. eichwald*  $60 \pm 15$  г.



**Рисунок 7.** Распространение самцов *P. eishwaldi* в заливе А. Бековича-Черкасского  
**Figure 7.** Distribution of males of *P. eishwaldi* in A. Bekovich-Cherkassky Bay



**Рисунок 8.** Размерный состав раков в заливе А. Бековича-Черкасского  
**Figure 8.** Dimensions of crayfish in A. Bekovich-Cherkassky Bay

Запасы раков в заливе рассчитывались исходя из средней численности популяций раков (экз/м<sup>2</sup>), среднего веса 1 экз. и полезных площадей залива (табл. 1).

Биотоп каменистых грунтов (К) в заливе имеет площадь 1670 га. Средняя численность популяций на биотопе, полученная по материалам маршрутных уче-

тов на трансектах – 0,21 экз/м<sup>2</sup>, или 2100 раков на 1 га. Процентное соотношение видов *S. pachypus*/*P. eichwald* 86/14 или 1806 экз./294 экз. При средней массе 1 экз. *S. pachypus* 30 г астакомасса на 1 гектаре составит в среднем 54 кг, а в целом на биотопе около 90 т, при этом промысловая часть астакомассы *S. pachypus* из расчета

35% составит 39 т. При средней массе *P. eichwald* 60 г астакомасса на гектаре составит в среднем 18 кг, а на биотопе около 30 т, при этом промысловая часть астакомассы *P. eichwald* из расчета 72% составит около 22 т. Итого общая промысловая астакомасса каменистых грунтов залива составит около 60 т. При рациональном промысле ОДУ составит 25% или 15 т.

Биотоп песчано-каменистых грунтов (КП) в заливе занимают площадь 21000 га. Средняя численность популяций 0,03 экз/м<sup>2</sup>, или 300 раков на 1 га. Процентное соотношение видов *C. pachypus*/*P. eichwald* 75/25 или 225 экз./75 экз. При средней массе 1 экз. *C. pachypus* 30 г астакомасса на 1 гектаре составит в среднем 7кг, а в целом на биотопе около 147 т, при этом промысловая часть астакомассы *C. pachypus* из расчета 35% составит около 51 т. При средней массе *P. eichwald* 60 г астакомасса на гектаре составит 4,5 кг, а в среднем на биотопе около 112 т, при этом промысловая часть астакомассы из расчета 72% составит около 80 т. Итого об-

щая промысловая астакомасса песчано-каменистых грунтов (ПК) залива составит около 131 т. При ОДУ 25% объем вылова составит около 32 т.

Биотоп мягких песчано-илистых грунтов (ИП) в заливе занимает площадь – 773 га. Средняя численность популяций 0,1 экз/м<sup>2</sup> или 1000 раков на 1 га. Процентное соотношение видов *C. pachypus*/*P. eichwald* 15/85 или 150 экз./850 экз. При средней массе 1 экз. *C. pachypus* 30 г астакомасса на 1 гектаре составит в среднем 4,5 кг, а в целом на биотопе около 3,5 т, при этом промысловая часть астакомассы *C. pachypus* из расчета 35% составит около 1,2 т. При средней массе *P. eichwald* 60 г астакомасса на гектаре составит 51 кг, а в среднем на биотопе около 39 т, при этом промысловая часть астакомассы из расчета 72% составит около 28 т. Итого общая промысловая астакомасса песчано-илистых грунтов (ИП) залива составит 29,2 т. При ОДУ 25% объем вылова составит 7,3 т.

**Таблица 1.** Запасы и лимит вылова раков в заливе А. Бековича-Черкасского в марте-апреле 2018 г.

**Table 1.** Stocks and crayfish catch limits in A. Bekovich-Cherkassy Bay, March-April 2018

Биотоп Biotope	Астакомасса (т) Aggregated crayfish weight (t)		Промысл. астакомасса (т) Commercial crayfish weight (t)		Промысл. запасы (т) Commercial Stocks (t)	Общедопустимый улов (ОДУ, т) Total catch limit (t)
	<i>C. pachypus</i>	<i>P. eichwald</i>	<i>C. pachypus</i>	<i>P. eichwald</i>		
<b>Камни (К)</b> Stones	90	30	39	22	61	15,2
<b>Камни-песок (КП)</b> Stones-sand	147	112	51	80	131	32,7
<b>Ил-песок (ИП)</b> Silt-sand	3,5	39	1,2	28	29,2	7,3
<b>Общие</b> Total	240,5	181	91,2	130	221,2	55,2

По архивным данным [5-7, 9; 11; 15-18] в 1978-1979 гг. астакофауна залива была представлена двумя видами раков, и имела общую биомассу 319,1 т, из которых 266,4 т приходилось на промысловую часть популяции, состоящую на 97% из длиннопалых раков и на 3% из толстопалых. ОДУ составлял 66 т (табл. 2). В процессе подъема уровня моря численность длиннопалых раков падала, толстопалых – росла. Соотношение видов выровнялось в 1985 г., при этом промысловая часть популяции значительно снизилась и составила 152,4 т, из которых 52,5% были длиннопалые раки и 47,5% толстопалые. ОДУ составил 38 т. В 1992 г. при сохранении тенденции роста численности у одних раков и падения у других, общая астакомасса в заливе определена в 273,6 т, из которых промысловая часть популяции, состоящая

на 68% из толстопалых раков и на 32% из длиннопалых, несколько увеличилась и составляла 169,7 т. ОДУ – 42 т.

Таким образом, за период с 1978 по 1992 гг. промысловые запасы *P. eichwald* в заливе Бековича-Черкасского снизились с 258,3 т до 54,4 т, т.е. в 4,7 раза. В 2018 году определены в 130 т. За период с 1978 по 1992 гг. промысловые запасы *C. pachypus* возросли с 8,1 т до 115,3 т, или в 14,3 раза. В 2018 году определены в 91,2 т.

В целом, современные исследования показали, что состояние астакофауны залива Бековича-Черкасского за последние 20 лет сохранило тенденцию увеличения численности *C. pachypus*, в связи с чем хозяйственная ценность раков в целом снижается. При этом их промысловые запасы сохранились и могут эксплуатироваться с ОДУ 55,2 т (табл. 2).

**Таблица 2.** Соотношение видов, запасы и лимит вылова раков в заливе А. Бековича-Черкасского

**Table 2.** Correlation of species, stocks and crayfish catch limits in A. Bekovich-Cherkassy Bay

Годы Years	<i>C. pachypus</i> %	<i>P. eichwald</i> %	Запасы, т. Stocks (t)	Пром. запасы, т. Commercial stocks (t)	ОДУ, т. Total catch limit (t)
<b>1978</b>	15	85	319	266	66
<b>1994</b>	55	45	274	168	42
<b>2018</b>	74	26	421,5	221,2	55,2

Рациональный промысел с преимущественным выловом *C. pachypus* смог бы снизить пресс этого вида рака в заливе и увеличить численность более ценного в хозяйственном плане *P. eichwaldi*.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проведенные на восточном шельфе моря, свидетельствуют о наличии потенциальных биоресурсов в виде запасов каспийских раков. Только в заливе Бековича-Черкасского ежегодно можно добывать до 50 т раков. При рациональной добыче для улучшения экологического состояния популяций и повышения хозяйственной ценности астакофауны залива промышленное изъятие в большей степени следует направить на запасы *C. pachypus*.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-0005).

#### ACKNOWLEDGMENT

This research was conducted in the framework of State assignment of IORAS (Subject No. 0149-2019-0005).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокова Е.Н. Речной рак Каспийского моря // Рыбное хозяйство. 1948. N 9. С. 32-37.
2. Румянцев В.Д. Толстопалый рак Каспия // Труды КаспНИРХа. 1971. Т. 26. С. 265-266.
3. Румянцев В.Д. Речные раки Волго-Каспия. М.: «Пищевая промышленность», 1974. 84 с.
4. Ushitsev V.B., Vostokov S.V., Lobkovsky L.I., Vodovsky N.V., Galaktionova M.L. Methodology of directional development of local biocenoses for optimization of monitoring and improvement of the marine environment on shelves of Russia // Doklady Akademii nauk. 2019. V. 488. N 1. P. 94-98. DOI: 10.31857/S0869-5652488194-98
5. Ушивцев В.Б. Определение запасов речного рака на Каспии // Рыбное хозяйство. 1981. N 4. С. 50-51.
6. Ушивцев В.Б. Запасы раков в Казахских водах Каспия // Тезисы докладов XIX научной конференции «Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана». 1986. 121 с.
7. Ушивцев В.Б. Влияние колебаний уровня Каспия на запасы раков // Тезисы докладов I-й Международной конференции «Биологические ресурсы Каспийского моря». Астрахань, 1992. 93 с.
8. Ушивцев В.Б. и др. Состояние запасов раков на восточном шельфе Каспия в период подъема уровня моря // В кн: «Экосистемы морей России в условиях антропогенного пресса». Астрахань: КаспНИРХ, 1994. С. 155-157.
9. Ушивцев В.Б. Особенности распространения популяций раков (Crustacea, Decapoda, Astacidae) на восточном шельфе Каспийского моря в период с 1915 по 2016 гг. // Сборник материалов Всероссийской научно-практической итоги конференции с международным участием «Морские биологические исследования: достижения и перспективы», приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции, в 3-х т. (Севастополь, 19-24 сентября 2016 г.) / под общ. Ред. А.В.Гаевской. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 1. С. 232-236.
10. Денисов А.Е. Некоторые вопросы методики водолазных исследований донных сообществ // Океанология. 1972. Т. 12. Вып. 5. С. 884-891.

11. Ушивцев В.Б. Раки Каспийского моря (Crustacea, Decapoda, Astacidae) в условиях повышения уровня моря: распространение, динамика численности, промыслово-биологические особенности // Дисс. ... канд. биол. наук, ИОРАН, Москва, 2001. 196 с.
12. Черкашина Н.Я. Биология *Astacus leptodactylus eichwaldi* Bott и *Astacus pachypus* Rathke в туркменских водах Каспия // Тр. ВНИРО. 1974. Т. 99. Вып. 5. С. 70-83.
13. Черкашина Н.Я. Распределение и биология толстопалого рака в туркменских водах Каспия // Зоологический журнал. 1976. Т. 55. Вып. 4. С. 602-606.
14. Цукерзис Я.М. Исследования некоторых эколого-физиологических особенностей широкопалого и длиннопалого раков в связи с их межвидовыми взаимоотношениями // Тр. АН Литовской ССР. 1966. Сер. 5. Т. 2 (40). С. 345-351.
15. Ушивцев В.Б. Морские объекты промысла // В кн: «Научные основы распределения промышленных объектов Каспийского моря». Астрахань: БИВЦ, «Каспрыба». 1992. С. 98-99.
16. Ушивцев В.Б., Камакин А.М. Раки Южного Каспия (Crustacea: Decapoda, Astacidae): распространение, характер биотопов // Каспийский Плавучий Университет, Научный бюллетень. 2000. N 1. 157 с.
17. Цукерзис Я.М. О межвидовых отношениях широкопалого (*A. astacus* L.) и длиннопалого (*A. leptodactylus* E.) в озерах восточной Литвы // Зоологический журнал. 1964. Т. 43. Вып. 2. С. 73-76.
18. Ushitsev V.B. Astacofauna of the present Caspian Sea (distribution, stock dynamics, behavior, projects of fishery) // Proceeding of the 12th Symposium IAA. Aagsburg – Germany, 1998. 57 p.

#### REFERENCES

1. Bokova E.N. Crayfish of the Caspian Sea. Rybnoye khozyaystvo [Fish farm]. 1948, no. 9, pp. 32-37. (In Russian)
2. Rummyantsev V.D. Caspian's Fatal Carcass. Trudy KaspNIRKha [Works of KaspNIRH]. 1971, vol. 26, pp. 265-266. (In Russian)
3. Rummyantsev V.D. *Rechnyye raki Volgo-Kaspiya* [River Crayfish of the Volga-Caspian]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1974, 84 p. (In Russian)
4. Ushitsev V.B., Vostokov S.V., Lobkovsky L.I., Vodovsky N.V., Galaktionova M.L. Methodology of directional development of local biocenoses for optimization of monitoring and improvement of the marine environment on shelves of Russia. *Doklady Akademii nauk*, 2019, vol. 488, no. 1, pp. 94-98. DOI: 10.31857/S0869-5652488194-98
5. Ushitsev V.B. Determination of stocks of crayfish in the Caspian Sea. Rybnoye khozyaystvo [Fish farm]. 1981. no. 4, pp. 50-51. (In Russian)
6. Ushitsev V.B. Zapasyrakov v Kazakhskikh vodakh Kaspiya [Cancer stocks in the Kazakh waters of the Caspian Sea]. *Tezisy докладov XIX nauchnoy konferentsii «Biologicheskiye osnovy rybnogo khozyaystva vodoyemov Sredney Azii i Kazakhstana»*, Astrakhan, 1986 [Abstracts of reports, XIX scientific conference "The biological basis of fisheries in water bodies of Central Asia and Kazakhstan", Astrakhan, 1986]. Astrakhan, 1986, 121 p. (In Russian)
7. Ushitsev V.B. Vliyaniye kolebaniy urovnya Kaspiya na zapasy rakov [The effect of fluctuations in the level of the Caspian Sea on the reserves of crayfish]. *Tezisy докладov I-y Mezhdunarodnoy konferentsii «Biologicheskiye resursy Kaspiyskogo morya»*, Astrakhan', 1992 [Abstracts of reports of I International Conference "Biological Resources of the Caspian Sea", Astrakhan, 1992]. Astrakhan, 1992, 93 p. (In Russian)

8. Ushivtsev V.B. et al. [The state of crayfish stocks on the eastern shelf of the Caspian Sea in the period of sea level rise]. In: *Ekosistemy morey Rossii v usloviyakh antropogennoy pressy* [Ecosystems of the Seas of Russia in Conditions of Anthropogenic Pressure]. Astrakhan, CaspNIRKH Publ., 1994, pp. 155-157. (In Russian)
9. Ushivtsev V.B. Osobennosti rasprostraneniya populyatsiy rakov (Crustacea, Decapoda, Astacidae) na vostochnom shel'fe Kaspiyskogo morya v period s 1915 po 2016 gg. [Characteristics of the spread of crayfish populations (Crustacea, Decapoda, Astacidae) on the eastern shelf of the Caspian Sea from 1915 to 2016]. *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Morskiye biologicheskiye issledovaniya: dostizheniya i perspektivy», Sevastopol', 19-24 sentyabrya 2016* [Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Marine biological research: achievements and prospects, Sevastopol, 19-24 September 2016]. Sevastopol, 2016, pp. 232-236. (In Russian)
10. Denisov A.E. Some questions regarding the methodology of diving research of bottom communities. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1972, vol. 12, iss. 5, pp. 884-891. (In Russian)
11. Ushivtsev V.B. *Raki Kaspiyskogo morya (Crustacea, Decapoda, Astacidae) v usloviyakh povysheniya urovnya morya: rasprostranenie, dinamika chislennosti, promyslovo-biologicheskie osobennosti* [The Crayfish of the Caspian Sea (Crustacea, Decapoda, Astacidae) in conditions of rising sea levels: distribution, population dynamics, industrial and biological features]. Diss. Cand. biol. sciences, Moscow, 2001, 196 p. (In Russian)
12. Cherkashina N.Ya. Biology of *Astacus leptodactylus eichwaldi* Bott and *Astacus pachtypus* Rathke in Turkmen waters of the Caspian Sea. *Trudy VNIRO* [Works of VNIRO]. 1974, vol. 99, iss. 5, pp. 70-83. (In Russian)
13. Cherkashina N.Ya. Distribution and biology of fatty crayfish in Turkmen waters of the Caspian Sea. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological Journal]. 1976, vol. 55, iss. 4, pp. 602-606. (In Russian)
14. Tsukerzis Ya.M. Studies of some ecological and physiological features of wide-toothed and long-toed claws in connection with their interspecific relationships. *Trudy AN Litovskoy SSR* [Works of Lithuanian ASSSR]. 1966, series 5, vol. 40, iss. 2, pp. 345 - 351. (In Russian)
15. Ushivtsev V.B. [Marine objects of fishing]. In: *Nauchnyye osnovy raspredeleniya prom. ob'yektov Kaspiyskogo moraya* [Scientific Basis for the Distribution of Prom. Objects of the Caspian Sea]. Astrakhan, BIIS Kaspyrba Publ., 1992, pp. 98-99. (In Russian)
16. Ushivtsev V.B., Kamakin A.M. Crayfish of the Southern Caspian (Crustacea: Decapoda, Astacidae): distribution, nature of biotopes. *Kaspiyskiy Plavuchiy Universitet, Nauchnyy byulleten'* [Caspian Floating University, Scientific Bulletin]. 2000, no. 1, 157 p. (In Russian)
17. Tsukerzis Ya.M. On interspecific relations of wide-fingered (*A. astacus* L.) and long-fingered (*A. leptodactylus* E.) in lakes of eastern Lithuania. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological Journal]. 1964, vol. 43, iss. 2, pp. 73-76. (In Russian)
18. Ushivtsev V.B. Astacofauna of the present Caspian Sea (distribution, stock dynamics, behavior, fishery projects). *Proceedings of the 12th Symposium IAA*. Aagsburg, Germany, 1998, 57 p.

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Владимир Б. Ушивцев осуществил сбор и анализ материала. Майя Л. Галактионова осуществила статистическую обработку материала. Сергей В. Востоков принимал участие в сборе и обработке данных и написании раздела статьи. Гульнара А. Ахмедова участвовала в изготовлении графического материала статьи. Сергей А. Котеньков осуществил поиск исторических данных, литературный обзор и редакцию статьи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vladimir B. Ushivtsev conducted the collection and analysis of the study material. Maya L. Galaktionova carried out statistical processing of the material. Sergey V. Vostokov participated in the collection and processing of data and writing the article. Gulnara A. Akhmedova participated in the production of graphic material for the article. Sergey A. Kotenkov carried out the search for historical evidence, the review of literature and edited the article. All authors participated equally in writing the article and are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

#### ORCID

Владимир Б. Ушивцев / Vladimir B. Ushivtsev <https://orcid.org/0000-0003-4305-6111>  
 Сергей В. Востоков / Sergey V. Vostokov <https://orcid.org/0000-0002-0754-9325>  
 Гульнара А. Ахмедова / Gulnara A. Akhmedova <https://orcid.org/0000-0002-4902-691X>  
 Майя Л. Галактионова / Maya L. Galaktionova <https://orcid.org/0000-0002-5819-6224>  
 Сергей А. Котеньков / Sergey A. Kotenkov <https://orcid.org/0000-0003-0462-5553>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 581.9:581.5(234.9)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-37-48

## Флорофитоценоотическое разнообразие Западного Кавказа

Светлана А. Литвинская 

Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

### Контактное лицо

Светлана А. Литвинская, доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и природопользования Института географии, геологии, туризма и сервиса, Кубанский государственный университет; 350040 Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.  
Тел. +79189990040

Email [litvinsky@yandex.ru](mailto:litvinsky@yandex.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3805-1359>

### Формат цитирования

Литвинская С.А. Флорофитоценоотическое разнообразие Западного Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 37-48. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-37-48

Получена 22 сентября 2019 г.

Прошла рецензирование 9 ноября 2019 г.

Принята 14 декабря 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Выявить современное фитоценоотическое и флористическое разнообразие Западного Кавказа, показать особенности флороценокомплексов.

**Материал и методы.** Статья написана на основе многолетних маршрутно-экспедиционных и стационарных исследований с использованием классических геоботанических методов.

**Результаты.** Согласно исследованиям флора региона насчитывает около 3500 видов сосудистых растений из 178 семейств и 936 родов, что свидетельствует о высоком уровне флористического разнообразия. Спектр ведущих семейств Западного Кавказа приближается к средиземноморскому типу. Флора региона имеет высокий показатель эндемизма. Растительный покров подчиняется широтной зональности и высотной поясности. Показана ценологическая значимость ценокомплексов. Рассматриваются основные типы растительности: древние плавнево-литоральные ландшафты дельты р. Кубань, псаммофильной литоральной растительностью со специфическими редкими видами Азовского и Чёрного морей, степные сообщества, горные леса, экотонная зона криволинейных и субальпийских лесов, субальпийские и альпийские луга и ковры. В каждом высотном поясе представлен петрофитный флорокомплекс (Petrophyton). Для высокогорных петрофитных ценозов приводится ценоотическая структура и эндемичные виды. Рассматривается флористическая и ценоотическая дифференциация лесов Западного Кавказа.

**Выводы.** Западный Кавказ – это один из центров флористического и ценоотического разнообразия Кавказского экорегиона. Характерно высокое популяционное и видовое разнообразие, большое число эндемиков и своеобразие ценокомплексов. Западный Кавказ является рефугиумом древних экосистем колхидского и средиземноморского корня.

### Ключевые слова

Западный Кавказ, флора, растительность, дифференциация, литораль, степи, леса, луга, скальные комплексы, эндемизм, редкие виды.

# Florophytocenotic Diversity of the Western Caucasus

Svetlana A. Litvinskaya 

Kuban State University, Krasnodar, Russia

## Principal Contact

Svetlana A. Litvinskaya, Dr Biol. Sci., Professor, Department of Geoecology and Nature Management, Institute of Geography, Geology, Tourism and Services, Kuban State University; 149 Stavropolskaya St, Krasnodar, 350040 Russia. Tel. +79189990040

Email [litvinsky@yandex.ru](mailto:litvinsky@yandex.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3805-1359>

## How to cite this article

Litvinskaya S.A. Florophytocenotic diversity of the Western Caucasus. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 37-48. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-37-48

Received 22 September 2019

Revised 9 November 2019

Accepted 14 December 2019

## Abstract

**Aim.** To identify the modern phytocenotic and floristic diversity of the Western Caucasus and to present the specifics of its florocenocomplexes.

**Material and Methods.** The article is written on the basis of many years of expeditionary and stationary research using classical geobotanical methods.

**Results.** According to research the flora of the region comprises about 3,500 species of vascular plants from 178 families and 936 genera, indicating a high level of floristic diversity. The spectrum of the leading families of the Western Caucasus is close to the Mediterranean type. The region's flora has a high index of endemism. The vegetation cover is characterized by latitudinal and altitudinal zonation. The zoological significance of ceno-complexes is shown. The principal vegetation types of the region are considered: the ancient flood-littoral landscapes of the river Kuban delta, the psammophilic littoral vegetation with specific rare species of the Azov Sea and the Black Sea, steppe communities, mountain forests, ecotone zone of crooked and subalpine forests, subalpine and alpine meadows and carpets. A petrophytic flora complex (Petrophyton) is represented in each altitudinal zone. For high mountain petrophytic cenoses, the cenotic structure and endemic species are given. The floristic and cenotic differentiation of the forests of the Western Caucasus is considered.

**Conclusions.** The Western Caucasus is one of the centres of floristic and cenotic diversity of the Caucasian ecoregion. It is characterized by a high population and species diversity, a large number of endemic species and ceno-complexes. The Western Caucasus is a refugium of ancient ecosystems with Colchidic and Mediterranean roots.

## Key Words

Western Caucasus, flora, vegetation, differentiation, littoral, steppes, forests, meadows, rock complexes, endemism, rare species.

**ВВЕДЕНИЕ**

Специфической чертой флористического и фитоценотического разнообразия рассматриваемого региона является высокий его количественный показатель, что связано с положением Российской части Кавказа на границе степного, средиземноморского, переднеазиатского, ирано-туранского и кавказского флористических центров. Регион генетически связан с Крымом, что привело к выделению Крымско-Новороссийской геоботанической провинции и наличию крымско-новороссийских эндемиков. Регион до настоящего времени не имеет конспекта флоры и отличается слабой изученностью дифференциации растительного покрова. Западный Кавказ является горячей точкой сохранения биоразнообразия Кавказского экорегиона, поскольку находится под мощным и все возрастающим антропогенным прессингом. Цель исследований: выявить современное фитоценотическую дифференциацию и флористическое разнообразие Западного Кавказа, показать специфику флороценокомплексов. Необходимость сохранения растительного покрова является требованием и условием устойчивого развития региона.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектом исследований являлись горные и предгорные ландшафты Западного Кавказа. Исследования носили крупномасштабный характер, что позволило достаточно подробно выявить важнейшие черты флороценокомплексов. Растительный покров изучался при многолетних маршрутно-экспедиционных и стационарных исследованиях в весенне-летние сезоны. Маршрутами покрывалась вся территория региона от береговой зоны Азовского моря на западе и до отрогов Ставропольской возвышенности на востоке, от мыса Панагия до Имеретинской низменности. Все исследования (детально-маршрутные и рекогносцировочные) велись с применением метода пробных площадей, методов дистанционного зондирования, анализа картографического материала, классических геоботанических методов (метод пробных площадей, картирование транс-

сект, закладки экологических профилей, сбор гербарного материала, фотографирование). Под пробной площадью понимается специально выделенные участки фитоценоза, предназначенный для его описания и выявления всех характерных черт. Площадь пробных площадей для травянистых сообществ – 100 кв. м, для целевых назначений пробные площади - 1 кв<sup>2</sup>, для литоральных участков подсчет численности редких видов проводится на линейных транссектах, для лесных сообществ закладывались участки площадью 225 м<sup>2</sup>. Детальное внимание уделяется изучению редких и эндемичных видов, подлежащих охране на уровне РФ и региона. Для анализа биоморфологической и экологической структуры использовались работы В.Н. Голубева [1], С.А. Литвинской [2]. Эндемизм устанавливался согласно авторским публикациям [3], Red List of the Endemic Plants of the Caucasus [4].

**ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Регион отличается высоким флористическим разнообразием. По современным предварительным данным флора северо-западной части Большого Кавказа (Западное Предкавказье, Западный Кавказ, Северо-Западное Закавказье и часть Западного Закавказья в пределах Краснодарского края) насчитывает около 3400-3500 видов сосудистых растений, что свидетельствует о высоком флористическом богатстве (табл. 1). В целом спектр ведущих семейств региона приближается к средиземноморскому типу, благодаря высокому положению семейств *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Scrophulariaceae*, *Apiaceae*. Однако вместо характерного для флор Средиземноморья семейства *Boraginaceae* в спектр входит семейство бореального типа *Superaceae*, что связано с генезисом и общей дифференциацией растительного покрова региона. Анализ среднего звена систематической структуры на уровне родового спектра отражает более специфические особенности флоры.

Второй важной чертой флоры региона является высокий уровень эндемизма [2-4] (рис. 1).

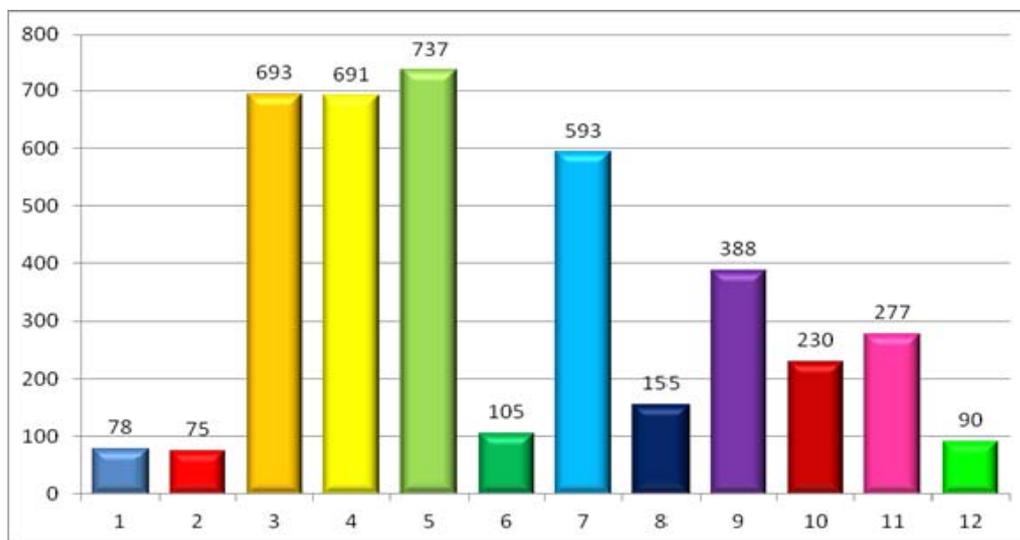
**Таблица 1.** Флористическое разнообразие регионов Российского Кавказа**Table 1.** Floristic diversity of the regions of the Russian Caucasus

Регион Region	Площадь Area	Количество видов Number of species	Насыщенность, 1м <sup>2</sup> Saturation, 1m <sup>2</sup>
<b>Краснодарский край</b> Krasnodar Territory	75500 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	3500	0,042
<b>Республика Адыгея</b> Republic of Adygea	7600 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	2000	0,26
<b>Ставропольский край</b> Stavropol Territory	66200 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	2251	0,034
<b>Карачаево-Черкессия</b> Karachay-Cherkessia	14300 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	1903	0,133
<b>Кабардино-Балкария</b> Kabardino-Balkaria	12500 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	2985	0,238
<b>Северная Осетия-Алания</b> North Ossetia-Alania	8000 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	2600	0,325
<b>Чеченская Республика</b> Chechen Republic	15600 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	2315	0,148
<b>Ингушетия</b> Ingushetia	3600 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	1531	0,425
<b>Дагестан</b> Dagestan	50300 км <sup>2</sup> / km <sup>2</sup>	3500	0,07

Исследуемый район характеризуется значительным флористическим и ценогическим разнообразием. Для растительного покрова региона характерна высокая биогеоценотическая мозаичность. Здесь сосредоточены древние растительные сообщества, выделяющиеся высоким уровнем биологического разнообразия и являющиеся хранителями уникального гено- и ценофонда. Лесные сообщества насыщены третичными, плейстоценовыми и ксеротермическими реликтами.

В дельте р. Кубань произрастают специфические аональные лиманно-плавневые и плавнево-литоральные флороценотические комплексы. Следует отметить богатство и гетерогенность флоры плавнево-литорального ландшафта р. Кубань, в формировании которой участвовали элементы Древнего Средиземья и умеренных регионов Голарктики. Эдификаторами в них являются *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. и *Phragmites altissimus* (Benth.) Nabile, реже *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. с участием видов рода *Alisma*, *Oenanthe aquatica* (L.) Poir., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla и др. В толще воды –

виды *Potamogeton* L., *Stuckenia pectinata* (L.) Börner., *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L. Лиманная часть отличается богатством погружённой в воду растительности, состоящей из *Myriophyllum spicatum* L., *Najas major* All., *Zannichellia major* Boenn., *Caulinia minor* (All.) Coss. et Germ., *Ruppia maritima* L., *Zostera marina* L., *Potamogeton lucens* L., *P. perfoliatum* L. Здесь представлены разнообразные ценозы: рдестово-пронзённолистно-роголистниковые; рдестово-курчавые; урутьево-штукениевые; урутьево-рдестово-роголистниковые; роголистниково-штукениевые. В гигрофильных сообществах отмечены такие виды, как *Thelypteris palustris* Schott, *Symphytum officinale* L., *Stachys palustris* L., *Carex pseudocyperus* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Typha laxmannii* Lepechin, *Bolboschoenus glaucus* (Lam.) S.G. Sm. Здесь отмечаются следующие реликтовые, редкие и исчезающие виды: *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Nuphar luteum* (L.) Sm., *Nymphoides peltatum* (S.G. Gmel.) Kuntze, *Nymphaea alba* L., *Trapa maeotica* Woronow.



**Рисунок 1.** Количество эндемиков в разных регионах Кавказа

**Figure 1.** The number of endemic in different regions of the Caucasus

Примечание: 1 – Западное Предкавказье; 2 – Восточное Предкавказье; 3 – Западное Предкавказье; 4 – Центральный Кавказ; 5 – Восточный Кавказ; 6 – Северо-Западное Закавказье; 7 – Западное Закавказье; 8 – Центральное Закавказье; 9 – Восточное Закавказье; 10 – Юго-Западное Закавказье; 11 – Южное Закавказье; 12 – Талыш

Note: 1 – Western Ciscaucasia; 2 – Eastern Ciscaucasia; 3 – Western Caucasus; 4 – Central Caucasus; 5 – East Caucasus; 6 – North-western Transcaucasia; 7 – Western Transcaucasia; 8 – Central Transcaucasia; 9 – Eastern Transcaucasia; 10 – South-western Transcaucasia; 11 – South Transcaucasia; 12 – Talysh

Уникальным флористическим комплексом на косах Азовского побережья (Ачуевская, Вербяная, Камышеватская, Сазальникская, Ясенская) является *Lithoralephyton*. Эти сообщества формируются в условиях повышенной солёности и влажности воздуха на продуктах аккумуляции морского аллювия. При незначительной площади прибрежной зоны на ней выражена довольно сложная структура мозаичности растительного покрова. Прибрежная зона Азовского и Чёрного морей занята псаммофильной литоральной растительностью со специфическими редкими видами: *Tamarix gracilis* Willd., *Astrodaucus littoralis* (M. Bieb.) Drude, *Argusia sibirica* (L.)

Dandy, *Verbascum pinnatifidum* Vahl, *Gypsophila perfoliata* L., *Centaurea arenaria* M. Bieb. ex Willd. subsp. *odessana* (Prodan) Dostál, *Leymus sabulosus* (M. Bieb.) Tzvelev. Основной фон растительности придают ценозы с преобладанием *Leymus sabulosus*, *Artemisia tchernieviana* Bess., *Glycirrhiza glabra* L., *Ephedra distachia* L. [5].

Западное Предкавказье – это район распространения степного флороценокомплекса. Они выделяются флористическим составом, типом степной растительности, генезисом, связанным с Кавказом. На северо-западе в район Ейского п-ова проникают степные

элементы из Ростовской области, на востоке по отрогам Ставропольской возвышенности – виды Центрального Предкавказья, по крутым берегам рек Лаба, Кубань, Пшеха и др. в степные сообщества мигрируют кавказские элементы, на крайнем западе на Таманский п-ов – керченско-крымские виды. В степных сообществах северных районов доминируют *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr., *Stipa pennata* L. Маркерными степными видами являются *Adonis vernalis* L., *Paeonia tenuifolia* L., *Amygdalus nana* L., *Ajuga laxmannii* (L.) Benth., *Caragana frutex* (L.) C. Koch, *Calophaca wolgarica* (L. fil.) DC., *Phlomis pungens* Willd., *Salvia nutans* L., *Bellevia speciosa* Woronow ex Grossh., *Stipa pennata* L. Из редких видов отмечены *Allium podolicum* (Asch. et Graebn.) Blocki ex Racib., *Ferula euxina* Pimenov, *Phalacrachena inuloides* (Fisch. ex Schmalh.) Iljin, *Sperihedum triste* (L.) V.I. Dorof., *Onobrychis tanaïtica* Spreng., *O. vassilczekoi* Grossh., *Astragalus pseudotataricus* Boriss. и др. Типичная степная растительность Таманского п-ова представлена сообществами с эдификаторной ролью дерновинных злаков (*Stipa capillata* L., *S. brauneri* (Pacz.) Klokov), *Festuca valesiaca* Gaud., *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) Beauv., *Koeleria cristata* (L.) Pers.).

По берегам Витязевского лимана, в окр. Пересыпи, Турецкого фонтана зарегистрированы псаммофильные степи (*Steppa arenosa*), по склонам балок и холмов близ ст. Голубицкой – луговые степи (*Steppa subpratensis*) с формациями *Stipeta poeticae*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*. Флористические особенности района заключаются в наличии здесь характерных видов: *Podospermum lachnostegium* Woronow, *Elitrigia stipifolia* (Czern. ex Nevski) Nevski, *Crambe steveniana* Rupr. [6].

Преобладающий тип растительности региона – горные леса, фитоценотический состав которых обу-

словлен вертикальной поясностью, влиянием рельефа, близостью Черного моря, мозаичностью почв и разнообразием климата. Это единственное место в России, где представлены, с одной стороны, формации субсредиземноморского типа (сосны пицундской и крымской, дуба пушистого, можжевельниковые и фисташковые редколесья, томилляры) [7], и с другой, – третичнореликтовые субтропические колхидские леса из *Castanea sativa* Mill., *Quercus hartwissiana* Steven, *Pterocarya fraxinifolia* (Lam.) Spach, *Fagus orientalis* Lipsky, *Taxus baccata* L. и *Buxus colchica* Pojark.

Продромус ценоценологического разнообразия лесных видов на территории Западного Кавказа в доминантной системе представлен 56 формациями среди которых есть формации, эдификаторами которых являются реликтовые виды (24 формации, 43% от всех важнейших лесных формаций), виды редкие, подлежащие охране в РФ (10 формаций, 18%) и регионе (9, 16%). Среди дендрофлоры высок процент эндемичных видов, что свидетельствует о самобытности флоры региона. Всего зарегистрировано 86 эндемиков. Следует отметить значительное участие в лесном покрове древних реликтовых видов, причем они присутствуют во всех высотных поясах, концентрируясь в колхидских смешанных субтропических лесах. Всего зарегистрировано около 60 реликтовых видов, что составляет 19% от всей дендрофлоры региона. Все лесные ценоценозы региона насыщены эндемиками и реликтами: в буковых лесах отмечено 68 реликтов, в скальнубуковых – 50, в арчевниках произрастает 58 эндемичных видов (10,5% от формационной флоры). Все флороценокомплексы региона насыщены редкими видами, занесенными в федеральную и региональную Красные книги (табл. 2).

**Таблица 2.** Приуроченность редких видов к типам растительности  
**Table 2.** Relation of rare species to types of vegetation

Тип растительности Type of vegetation	Количество Number	Тип растительности Type of vegetation	Количество Number
Litoralophyton	28	Silva Colcha erat herba	53
Steppa erat herba	75	Picea, abies et in silva	4
Palus erat herba	24	Pratum mesophytica	14
Silva erat herba	36	Submediteranion erat herba	93
Alpine pratum, Pratum frigidisicca (pustoshi)	28	Subalpine pratum erat herba, rodoretum	31
Petrrophyton	34	Halophyton	7

Для Западного Кавказа характерны ценоценокомплексы, где представлено высокое экосистемное и видовое биоразнообразие, значимое на международном уровне с 7 уровнями: кавказско-анатолийско-гирканские умеренные леса (78) [код РА 0408] с наземным экорегионом «Смешанные леса Кавказа»; средиземноморские горные смешанные леса (77) [код РА 0416], российская часть Северо-Западного Закавказья входит в наземный экорегион «Крымский субсредиземноморский лесной комплекс»; места концентрации видов растений, занесенных в Red list Caucasus (2014), занесенных в Красный список МСОП, Красный список Европы; глобальная горячая точка биологического разнообразия, выделен-

ная Conservation International, - «Кавказ», экосистемы Северного Кавказа; лесные территории, выделенные в рамках международной программы «Рамсарские водно-болотные угодья международного значения»; лесные территории Всемирного природного наследия «Западный Кавказ»; лесные территории, предложенные как потенциальные территории особого природоохранного значения (ТОПЗ) для формирования Панъевропейской экосети [8].

Северо-Западное Закавказье – это единственное место в России, наряду с Крымом, где представлены формации субсредиземноморского типа с сосной *Pinus brutia* subsp. *pityusa* (Ten.) Holmboe, *P. nigra* var.

*pallasiana* (D. Don) Aschers. et Graebn., *Quercus pubescens* Willd., аридные редколесья с *Juniperus excelsa* M. Bieb., *J. foetidissima* Willd., *J. deltoidea* R. P. Adams, *Pistacia mutica* Fisch. et Mey.

Под аридными редколесьями понимаются «открытые светлые леса, образованные ксерофильными древесными породами, никогда не образующими сомкнутого полога и развивающимися на фоне ксерофильного травяного покрова» [9]. Некоторые ученые считают, что аридные редколесья – это лесостепь южного субтропического типа, сходная с саваннами, «переходная зона от безлесной полупустыни к лесной зоне, занимает промежуточное положение между этими природными зонами» [10]. В современной трактовке этот тип растительности относится к «восточносредиземноморским ксерофильным листопадным лесам, редколесьям и кустарникам».

Можжевельниковый флороценотический комплекс представлен 550 видами сосудистых растений. Флористическое ядро ценозов составляют средиземноморские ксерофиты и мезоксерофиты, со значительным участием степных элементов. Высок эндемизм формации: около 60 видов, что составляет 11% от флоры редколесий. В его состав входит немало видов, занесенных в Красные книги: *Lonicera etrusca* Santi, *Dianthus acantholimonoides* Schischk., *Hedysarum candidum* M. Bieb., *Campanula komarovii* Maleev, *Eremurus spectabilis*, *Veronica filifolia* Lipsky, *Stipa pulcherrima* C. Koch, *Limodorum abortivum* (L.) Sw., *Steveniella satyrioides* (Steven) Schlechter, *Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich., *Sorbus domestica* L. и др.

*Pinus brutia* subsp. *pityusa* (Ten.) Holmboe – реликтовый эндемик, наиболее древний представитель третичной флоры, произрастающий только в приморской литоральной полосе Черноморского побережья от горы Лысой около с. Варваровка до урочища Мюссера (Абхазия). Флористическое ядро формации – средиземноморские виды, среди которых немало эндемичных и редких: *Orchis simia*, *O. punctulata*, *Cephalanthera floribunda* Woronow, *C. rubra* (L.) Rich., *C. longifolia* (L.) Fritsch, *Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich., *Ophrys aestrifera* M. Bieb., *Campanula komarovii*, *Lonicera etrusca*, *Iris pumila* и др.

Специфика флороценокомплекса *Pinus brutia* subsp. *pityusa* отражается в выделении трех союзов (из которых один новый) и десяти ассоциаций (из которых девять новых). Сообщества выделенных ассоциаций занимают различные флористические районы, что отражает, с одной стороны, своеобразие экологических условий Черноморского побережья, специфику и генезис приморских экосистем, с другой – свидетельствует о наибольшей значимости климатического фактора в дифференциации растительного покрова соснового флороценокомплекса [11]. Наличие гемиксерофильных видов (*Juniperus excelsa* M. Bieb., *Pistacia mutica* Fisch. et Mey., *Paliurus spina-christi* Mill. *Jasminum fruticans* L., *Teucrium polium* L., *Helianthemum nummularium* (L.) Dunal, *Asparagus verticillatus* L., *Convolvulus cantabrica* L., *Erysimum cuspidatum* (M. Bieb.) DC., *Salvia ringens* Sibth. et Smith, *Xeranthemum cylindraceum* Smith, *Jurinea arachnoidea* Bunge) позволило отнести данные сообщества к союзу *Jasmino-Juniperion excelsae* Didukh et al. 1986 ex Didukh 1996). Наличие диагностического блока мезофильных видов (*Viola alba* Bess., *Hedera helix* subsp.

*caucasigena* (Pojark.) Takht. et Mulk., *Cornus mas* L., *Ligustrum vulgare* L., *Sorbus torminalis* (L.) Grantz, *Physospermum cornubiense*, *Acer laetum* C. A. Mey.) – к союзу *Carpino orientalis* – *Quertion pubescentis* Korzh. et Shelyag 1983; и блока колхидских видов (*Campanula longistyla* Fomin, *Hedera colchica* C. Koch, *Staphylea colchica* Steven, *Omphalodes cappadocica* (Willd.) DC., *Helleborus caucasicus* A. Br., *Scabiosa olgae* Albov) позволило выделить новый союз *Campanulo longistylae-Pinion pityusae* all. nova. Сообщества из сосны пицундской в пределах Северо-Западного Закавказья отнесены к классу *Quercetea pubescenti-petraeae* Jakucs (1960) 1961, порядку *Orno-Cotinetalia* Jakucs (1960) 1961 и двум союзам *Jasmino-Juniperion excelsae* Didukh et al. 1986 ex Didukh 1996, *Corpino orientalis* – *Quertion pubescentis* Korzh. et Shelyag 1983. В состав союзов входит 6 новых ассоциаций и 2 субассоциации.

На Западном Кавказе (Северо-Западное Закавказье) в окрестностях Архипо-Осиповка – Бетта (Адлерова, Назарова, Сосновая щели) и верховьях р. Сухой Бжид известно единственное на Кавказе место произрастания *Pinus nigra* var. *pallasiana* (D. Don) Aschers. et Graebn. Ценозы *Pinus nigra* var. *pallasiana* являются восточным форпостом субсредиземноморских лесов. Для Российского Кавказа характерно снижение высотных границ распространения сосны крымской. Синтаксономически леса из *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* входят в класс *Erico-Pinetea* Horvat 1959, Союз *Pinion pallasianae* Golubev et Korzh. 1984, Порядок *Pinetalia pallasianae-kochianae* Korzh. 1998. В кавказском рефугиуме произрастания сосны крымской зарегистрировано более 340 видов. Флористическое ядро составляют средиземноморские элементы. В крымскососновых сообществах зарегистрирован 31 редкий вид сосудистых растений и два вида грибов (*Clathrus ruber Battara* Pers., *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.), занесенных в Красные книги РФ и Краснодарского края (*Taxus baccata* L., *Campanula komarovii* Maleev, все виды рода *Cephalanthera*, *Paeonia caucasica* (Schipcz.) Schipcz., *Limodorum abortivum* (L.) Sw., *Orchis punctulata* Steven ex Lindl., *O. simia* Lam., *O. mascula* L., *O. militaris* L., *Staphylea pinnata* L. и мн. др.). В приморской полосе вид образует уникальные смешанные реликтовые сообщества с *Pinus brutia* subsp. *pityusa* Steven, *Quercus pubescens* Willd. Здесь же близ с. Текос описано редкое сообщество, где во втором ярусе сосняков доминирует *Taxus baccata* L. Произрастание *Taxus baccata* в крымскососновых ценозах кавказского рефугиума – явление чрезвычайно редкое.

В Северо-Западном Закавказье на хребтах Маркотх, Навагир, Коцекур, а также на отдельных вершинах (Лысая, Папай, Бараний Рог и другие) представлен горностепной флорокомплекс со *Stipa pulcherrima* и обильным средиземноморским разнотравьем. Это реликтовый флороценокомплекс, отличающийся высоким разнообразием, обилием эндемичных и редких видов: *Eremurus spectabilis* M. Bieb., *E. tauricus* Steven, *Asphodeline lutea* (L.) Reichenb., *A. taurica* (Pall. ex M. Bieb.) Kunth, *Psephellus declinatus* (M. Bieb.) C. Koch, *Thymus markhotensis* Maleev. На Западном Кавказе оригинальностью выделяется хр. Герпегем, где концентрируется гипсофильная флора. Особенностью флоры хребта Герпегем является произрастание редких видов, занесенных в Красные книги. Государственной охране подлежат 15 видов: *Paeonia caucasica* (Schipcz.) Schipcz.,

*Ostrya carpinifolia* Scop., *Thymus pulchellus* C. A. Mey., *Colchicum umbrosum* Steven, *Iris aphylla* L., *Asphodeline tenuior* (Fisch. ex M. Bieb.) Ledeb., *Galanthus alpinus* Sosn., *Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich., *Dactylorhiza urvilleana* (Steud.) H. Baumann et Kuenkele, *Limodorum abortivum* (L.) Sw., *Neotinea tridentata* (Scop.) R. M. Batemann, *Stipa pulcherrima* C. Koch, региональной – 11 видов: *Anemone sylvestris* L., *Helleborus caucasicus* A. Brown, *Iberis taurica* DC., *Sorbus caucasica* Zinserl., *Campanula pendula* M. Bieb., *Epipactis palustris* (L.) Crantz. На хребте Герпегем находятся самые крупные локалитеты редких узкоэндемичных видов *Thymus pulchellus* и *Asphodeline tenuior* (Fisch. ex M. Bieb.) Ledeb., *Jurinea sosnowskyi* Grossh., *Genista angustifolia* Schischk.

Западное Закавказье – это единственное место в России, где произрастают третичнореликтовые субтропические колхидские леса на северо-западной границе ценоареала из *Quercus iberica* Steven, *Q. hartwissiana* Steven, *Castanea sativa* Mill., *Pterocarya fraxinifolia* (Lam.) Spach, *Fagus orientalis* Lipsky, *Taxus baccata* L. и других. Здесь основное флористическое

ядро составляют колхидские элементы флоры: *Hedera colchica* (C. Koch) C. Koch, *Ilex colchica* Pojark., *Vinca major* L., *Aristolochia iberica* Fisch. et C.A. Mey. ex Boiss., *A. steupii* Woronow, *Hypericum androsaemum* L., *H. xylosteifolium* (Spach) N. Robson и др. (рис. 2). Они отличаются богатством флористического состава, из которых древесных форм 16, кустарников 46 и 160 видов травянистых растений. Колхидский флороценокомплекс богат третичными реликтами. Роль доминантов травянистого яруса играют около 14 видов (*Ruscus colchicus* P.F. Yeo, *Trachystemon orientale* (L.) D. Don, *Drymochloa drymeja* (Mert. et W. D. J. Koch) Holub, *Asarum ibericum* Steven, *Omphalodes cappadocica* (Willd.) DC., *Carex buschiorum* V. Krecz.), кустарникового – 15 видов (*Rhododendron luteum*, *Rh. ponticum* L., *Hypericum inodorum* Lipsky, *Staphylea colchica* Steven). Колхидский лесной флороценокомплекс богат представителями редких папоротников: *Osmunda regalis* L. (исчезнувший), *Pteris cretica* L., *Adiantum capillus-veneris* L., *Polypodium australe* Fée, *Asplenium adiantum-nigrum* L., *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm., *Polystichum aculeatum* (L.) Roth, *P. setiferum* (Forsk.) T. Moore ex Woynar и др.



*Asarum ibericum* Steven



*Aristolochia iberica* Fisch. et C.A. Mey.



*Omphalodes cappadocica* (Willd.) DC.



*Paeonia wittmanniana* Hartw.

**Рисунок 2.** Виды травянистого яруса колхидских лесов  
**Figure 2.** Species of the grassy layer of Colchis forests

Следует отметить высокий природоохранный статус природных экосистем Причерноморья. В новое издание Красной книги Краснодарского края [12] включено 292 вида высших растений (72% от всех охраняемых сосудистых видов), произрастание которых связано с

экосистемами Черноморского побережья (Северо-Западное и Западное Закавказье в пределах России).

Широко распространены, особенно на северном макросклоне Главного кавказского хребта, леса из *Quercus petraea* Liebl. Они отличаются одновозрастно-

стью, порослевым происхождением, обилием в травяном ярусе маргантов, пратантов и даже степантов, нарушенностью ценотической структуры, пониженной производительностью. Эндемизм мало характерен для травяного яруса мезофильных дубовых лесов из *Quercus petraea*, в связи с ограниченностью видообразования в условиях широколиственных лесов. Флористическое ядро составляют виды голарктического типа ареала (43%), однако имеет место влияние Субсредиземноморья (14,4%), что отличает дубравы региона от аналогичных в Восточной Европе. В спектре жизненных форм преобладают кистекорневые и короткокорневищные травяные поликарпики (14,3%), следует отметить высокий процент однолетних, одно-двулетних монокарпиков. Под пологом *Quercus petraea* часто произрастает *Rhododendron luteum*. В роли доминантов травяного яруса выступают около 30 видов, среди которых наиболее часто *Physospermum cornubiense* (L.) DC., *Poa nemoralis* L., *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) Beauv., *Ranunculus constantinopolitanus* D'Urv., *Carex cuspidata* Host, *C. tomentosa* L., *Convallaria majalis* L., *Lathyrus aureus* (Steven) Barandza, *Laser trilobum* (L.) Borkh., *Sanicula europaea* L., *Aegonychon purpureo-caeruleum* (L.) Holub. Высокую встречаемость имеют *Salvia glutinosa* L., *Stachys silvatica* L., *Euphorbia villosa* Waldst. et Kit., *Serratula quinquefolia* M. Bieb., *Melica uniflora* Retz., *Campanula alliarifolia* Willd., *C. bononiensis* L., *Galega orientalis* Lam., *Geranium silvaticum* L., *Melampyrum arvense* L., *Psoralea bituminosa* L., *Scopolia carniolica* Jacq., *Symphytum tauricum* Willd., *Luzula forsteri* (Smith) DC.

*Fagus orientalis* Lipsky – древний восточно-средиземноморский вид. В регионе выделяется две флористико-географической разности буковых лесов. Первый – северокавказский тип, представленный на северном макросклоне Главного Кавказского хребта (от водораздела Лаба-Уруп до восточных границ букняков). В них высокую встречаемость имеют виды европейского неморального комплекса: *Oxalis acetosella* L., *Dentaria bulbifera* L., *Carex digitata*, *Viola silvestris* Lam., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Paris quadrifolia* L., *Geranium robertianum* L., *Sanicula europaea* L., *Epilobium montanum* L., *Schedonorus giganteus* (L.) Holub, *Asperula odorata* L., а из папоротников – *Athyrium filix-femina* (L.) Roth., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott. Второй – колхидский тип, который характерен для Западного Закавказья и представлен на южном макросклоне. Для колхидских букняков характерны контакт с каштанниками и участие вечнозеленых и летнезеленых третичнореликтовых видов в подлеске и травяном ярусе. Это *Hedera colchica* C. Koch, *Trachystemon orientalis*, *Brunnera macrophylla* (Bieb.) Jont., *Pteris cretica*, *Euphorbia macroceras* (Fisch. et Mey.), *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm.

Темнохвойные леса Западного Кавказа представлены флороценокомплексами двух видов *Abies nordmanniana* (Steven) Spach. и *Picea orientalis* (L.) Link). Пихта – типично средиземногорный древний род, известный с палеогена, представленный в настоящее время на Кавказе только одним видом. Пихтовые леса – древняя автохтонная формация, широко представленная в плиоцене и пережившая климатические депрессии в рефугиумах (Колхида) Основные массивы пихтарников сосредоточены в бассейнах рек Пшехи, Малой и Большой Лабы и выклиниваются в верховьях р. Кубань.

*Abies nordmanniana* доминирует в растительном покрове до водораздела бассейнов рек Большая Лаба и Уруп, восточнее этого водораздела встречается ель. На южном макросклоне преобладает пихта, восточнее реки Ингура характерны смешанные елово-пихтовые леса, а в Аджарии преобладают уже еловые сообщества. Для них характерно преобладание высоко полнотных (0,7-1,2) и высоко бонитетных (II-IV) древостоев.

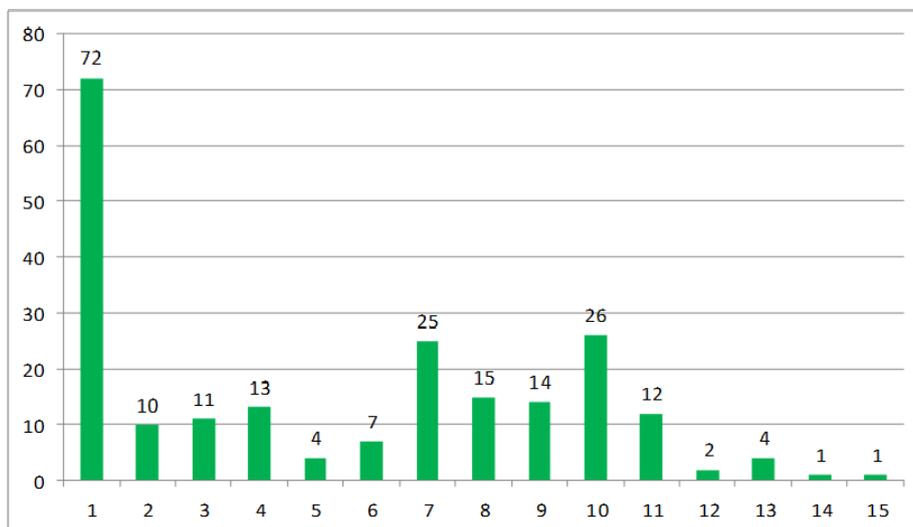
Кроме своего сплошного ареала пихтовые ценозы встречаются на крайнем северо-западе среди скально-дубовых лесов. Имеется несколько географически удаленных точек на северном макросклоне Главного Кавказского хребта: долина р. Аюк, гора Щётка, верховья р. Псекупс. В долине р. Аюк пихта начинает встречаться на высоте 250 м над ур. м. Чистого насаждения она не образует, а входит в состав грабово-букового леса. Единственное местонахождение пихты в нижнем горном поясе на южном макросклоне находится в верховьях р. Дефань у подножья горы Лысая, где она достигает высоты 20 м при среднем диаметре ствола 35 см. В типологическом отношении темнохвойные леса Кавказа отличаются большой дифференциацией, что связано с разнообразием лесорастительных условий и факторов среды. *Abies nordmanniana* растет совместно с *Fagus orientalis*, образуя на южном макросклоне устойчивые смешанные буково-пихтовые насаждения, а на востоке растет вместе с *Picea orientalis*. Еловые леса на Западном Кавказе занимают всего 5% территории лесов и тяготеют к террасам рек и нижним частям склонов до высоты 1500 (1700) м в восточных районах.

Эти три вида близки экологически и ценотически. Но пихтовые леса приурочены к районам с большим количеством осадков и повышенной влажностью воздуха. *Abies nordmanniana* чувствительна к высоким температурам, ее всходы не переносят заморозков и прямой солнечной радиации. Темнохвойные леса Кавказа отличаются несколько обедненным составом тяжелых элементов. Здесь произрастают *Linnaea borealis* L., *Moneses uniflora* (L.) A. Gray, *Circaea alpina* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F. Schmidt и др., но на Кавказ не проникли многие широко распространенные виды неморального флористического комплекса. В ценофлорах *Abies nordmanniana* и *Picea orientalis* Западного Кавказа зарегистрировано 217 видов, относящихся к 139 родам и 70 семействам, 77 реликтов, 54 колхидских эндемика, 43 – кавказских эндемика, что говорит о специфике биологического разнообразия и независимом развитии неморальных флор Кавказа и Центральной и Южной Европы с третичного периода. «Во все периоды плиоцен-плейстоценового развития Кавказ не терял своеобразие своей неморальной флоры» [13]. Флора темнохвойного ценокомплекса довольно разнообразна по приуроченности к определенным поясам. Значительное количество видов произрастают от нижнегорного до вернегорного пояса включительно (97 видов), 25 видов произрастает непосредственно в зоне пихтовых лесов (рис. 3).

Выше темнохвойных и смешанных лесов начинается экотонная зона криволесий и субальпийских лесов. В верховьях рек Белой и Пшехи, в окрестностях Красной Поляны, на горе Ачишхо произрастают субальпийские березняки. Они отличаются богатством флористического состава и обилием кавказских элементов. Широкое распространение имеет березовое криволес-

сье, в составе которых произрастают *Betula litwinowii* A. Dol. и *B. pendula* Roth, *Sorbus boissierii* Schneid., *S. aucuparia*, *S. subfusca* (Ledeb.) Boiss., *Salix caprea* L., *S. caucasica* Anderss., *Acer trautvetteri* Medw. В подлеске произрастают *Rhododendron caucasicum* Pall., реже *Ribes bibersteinii* Berl., *Vaccinium arctostaphylos* L., *V. vitis-idaea* L. В сообществах *Betula litwinowii* обильно представлены виды субальпийского высокоотравья и субальпийских

лугов: *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth., *Anthoxanthum odoratum* L., *Poa longifolia* Trin., *Delphinium flexuosum* M. Bieb., *D. speciosum* M. Bieb., *Aconitum nasutum* Fisch. ex Reichb., *Polygonum corneum* C. Koch., *Veratrum album*, *Polygonum verticillatum* (L.) All., *Aruncus vulgaris* Raf., *Senecio platyphylloides* (M. Bieb.) DC., *Milium effusum* L., *Campanula latifolia* L., *Inula orientalis* Lam., *Serratula radiata* (Waldst. et Kit.) M. Bieb.



**Рисунок 3.** Распределение флоры темновойного ценокомплекса по высотным поясам

**Figure 3.** Distribution of flora of dark coniferous ceno-complex in high-altitude zones

Примечание: 1 – нижнегорный-среднегорный; 2 – верхнегорнолесной; 3 – нижнегорный; 4 – среднегорный; 5 – верхнегорнолесной-альпийский; 6 – среднегорный-субальпийский; 7 – нижнегорный-высокогорный; 8 – верхнегорнолесной-субальпийский; 9 – субальпийский, альпийский; 10 – среднегорный-верхнегорнолесной; 11 – субальпийский; 12 – нижнегорный-альпийский; 13 – нижнегорный-субальпийский; 14 – альпийский; 15 – среднегорный-альпийский.

Note: 1 – low mountain-mid mountain; 2 – upper mountain forest; 3 – lower mountain; 4 – mid-mountain; 5 – high mountain-alpine; 6 – mid-mountain-subalpine; 7 – low mountain-high mountain; 8 – high mountain-subalpine; 9 – subalpine, alpine; 10 – mid-mountain-high-forest; 11 – subalpine; 12 – lower mountain-alpine; 13 – lower mountain-subalpine; 14 – alpine; 15 – mid-mountain-alpine.

Высокогорные березняки не всегда формируют криволеся. В пологих ложбинах с богатой горнолуговой почвой встречаются парковые насаждения, образованный *Betula litwinowii* и *Acer trautvetteri* Medw. В травостое обычны: *Lilium monadelphum* M. Bieb., *Hesperis matronalis* L., *Silene multifida* (Adam) Rohrb., *Galega orientalis* Lam., *Heracleum mantegazzianum* Somm. et Levier, *Valeriana colchica* Utkin, *Campanula latifolia* L., *Telekia speciosa* (Schreb.) Baumg. На высоте 1800–2200 м над ур. м. оригинальны высокогорные кленовики из *Acer trautvetteri*, где значительного развития достигают представители субальпийского высокоотравья (*Gadalia lactiflora*, *Sephalaria gigantea* (Ledeb.) Borb., *Symphitum asperum* Lerech., *Telekia speciosa*, *Delphinium speciosum* M. Bieb., *D. pyramidatum* Albov, *Aconitum orientale* Mill., *Heracleum mantegazzianum* и др.).

Субальпийская растительность – это сложный комплекс разнообразных типов между верхней границей леса и поясом альпийских лугов и ковров. Субальпийская растительность занимает пространство от верхней границы сомкнутых лесных хвойных и широколиственных сообществ до нижней границы альпийского пояса.

Специфическим компонентом субальпийской растительности Кавказа является высокоотравье. Это древний реликтовый тип растительности Кавказа, в котором преобладают колхидские, евкавказские и кав-

казские элементы. Он является исходным типом для ряда других вариантов высокогорной растительности. Для субальпийского высокоотравья характерна небольшая флористическая насыщенность сообществ. В Западном Кавказе выделяются следующие группы ассоциаций: *Inuletum* (*Inula magnifica* Lipsky); *Telekietum* (*Telekia speciosa*); *Aconitetum* (*Aconitum orientale*); *Cicerbietum* (*Cicerbita prenanthoides* (Bhmalh.) Beauverd, *C. macrophylla* (Willd.) Wallr.); *Symphytetum* (*Symphitum asperum*), *Delphinietum* (*Delphinium pyramidatum*), *Senecietum* (*Senecio platyphylloides* Somm. et Levier, *S. cladobotrys*), *Cirsietum* (*Cirsium chlorocomos* Somm. et Levier), *Heracleetum* (*Heracleum asperum* M. Bieb., *H. mantegazzianum*). В растительность субальпийских лугов вкраплены заросли *Rhododendron caucasicum* Pall., *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* (J. et C. Presl) Nym., *J. sabina* L., *Vaccinium vitis-idaea*, *Empetrum caucasicum* (V. Vassil.) Juz., *Salix caprea* L., *S. kazbekensis* A. Skv. Ценокомплекс с *Rhododendron caucasicum* – это древний специфический тип растительности, распространенный к востоку от горы Оштен и простирающийся до верховий реки Самур в Дагестане. Родореты развиваются на торфянистой почве. Они флористически бедны и слабо расчленены на сообщества.

Выше субальпийского пояса располагается альпийский пояс с лугами, коврами, где большое развитие получают скалы, осыпи, россыпи со скально-осыпной

растительностью. Последняя флористически связана с лугами, а фитоценотически – с нагорно-ксерофильной высокогорной растительностью. Полоса альпийских лугов на Западном Кавказе простирается с 1800 м до 2100 м над ур. м. Альпийские луга отличаются от субальпийских совершенно иным флористическим составом, другими эдификаторами, специфическими сообществами, особой биоэкологической структурой. Альпийские луга часто представляют собой пестрое сочетание различных фитоценозов, чередующихся с осыпями, каменистыми россыпями и скалистыми обнажениями [14]. Фитоценотически они разнообразны и подразделяются на собственно луга (*Prata eumesophytica*) и луга, образованные жесткими злаками (*Nardeta*) и осоками (*Elynetia*) – *Prata frigidisicca*. Последние иногда выделяются в особый тип – «пустоши».

Особое место в альпийском поясе Западного Кавказа занимают альпийские ковры (колокольчиковые, сибальдиевые, лютиковые), характеризующиеся слабой встречаемостью злаков и осок, но с большим видовым разнообразием разнотравья, среди которых часто встречаются *Campanula biebersteiniana* Roem. et Schult., *Primula algida* Adam, виды рода *Potentilla*, *Alchemilla* и др. Комплекс альпийских ковров произошел в результате эволюции криофильной высокогорной третичной флоры. Большинство видов относится к кавказско-малоазийской группе (*Campanula biebersteiniana*, *Sibbaldia parviflora*), кавказско-переднеазиатской (*Minuartia circassica* (Albov) Woronow, *Lusula sudetica* (Willd.) Schult), кавказской (*Pedicularis crassirostris* Bunge; *Carex medwedewii* Leskov, *Colpodium versicolor* (Steven)

Schmalh. В фитоценотическом отношении они относятся к классу *Salicetea Herbaceae* Br.-Br. 1947 (характерные виды класса на Западном Кавказе: *Luzula multiflora* (Ehrh.) Lej., *Plantago atrata* Hoppe [14].

В целом флористический состав альпийских ковров беднее других типов высокогорной растительности. На Западном Кавказе наиболее широко распространены злаково-разнотравные и разнотравные ковры (колокольчиковые, манжетковые, сибальдиевые с *Crocus vallicola* Herb., *Pedicularis nordmanniana* Bunge, *Euphrasia alboffii* Chabert, *E. macrodonta* Juz. На склонах г. Фишт зарегистрированы лютиковые ковры из эндемичного *Ranunculus helenae* Albov. В альпийских коврах, где контактное число видов невелико (20-25 видов), наряду со скально-осыпно-россыпной флорой принимают участие немало луговых видов, среди них *Phleum alpinum* L., *Festuca ovina* L., *Anemone caucasica* Willd. ex Rupr., *Gentiana djimilensis* C. Koch, *Primula ruprechtii* Kusn., *Chaerophyllum roseum* M. Bieb., *Aster alpinum* L.

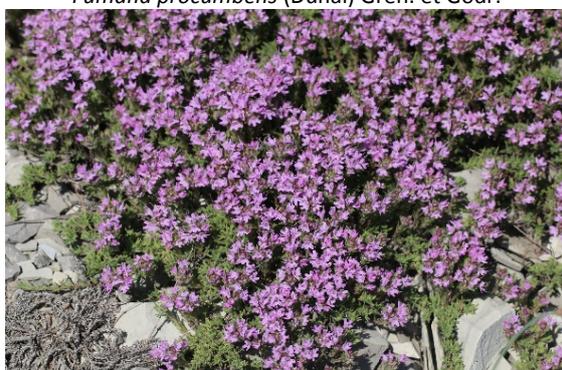
В каждом поясе и в каждом локусе представлен специфичный петрофитный флорокомплекс (*Silvapatrophyton*, *Pratapetrophyton*, *Morenophyton*, *Schistosophyton*), насыщенный эндемичными и высокоспециализированными видами. В петрофитном флорокомплексе можно выделить несколько вариантов. В нижнем горном поясе Северо-Западного и Западного Закавказья, выделяется *Calcepetrophyton*, переходящий в томилляры и трагакантники, насыщенный средиземноморскими элементами и локальными эндемиками (рис. 4).



*Fumana procumbens* (Dunal) Gren. et Godr.



*Hedysarum candidum* Bieb.



*Thymus helenzhicus* Klok. et Schost.



*Scutellaria novorossica* Juz.

**Рисунок 4.** Характерные виды *Calcepetrophyton* нижнего горного пояса  
**Figure 4.** Typical *Calcepetrophyton* species of the lower mountain belt

В лесах всех поясов выделяется Silvanetum, насыщенный оригинальными реликтовыми видами разной экологии. Уникален петрофитный комплекс ущелий и сочащихся скал. Характерным растением данных местообитаний является *Adiantum capillus-veneris* L.

Только Silvanetum Западного Закавказья насчитывают 400 видов, из которых специфических видов – 70 [15]. В скально-лесных комплексах Северо-Западного Закавказья произрастают средиземноморские виды *Genista lipskyi* Novopokr. et Schischk., *Bupleurum woronovii* Manden., *Salvia ringens* Sibth. et Smith, *Scabiosa olgae* Albov. Интересны скально-лесные комплексы Западного Кавказа, где произрастают *Woodsia fragilis* (Trev.) T. Moore, *Asplenium adianthum-nigrum* L.

Флористический состав высокогорных петрофитных флорокомплексов достаточно богат и находится в зависимости от высоты над ур м, экспозиции склонов, состава горных пород. Их ценозы объединены в новый класс и названы по постоянно встречающимся на данных экотопах – *Veronica telephiifolia* Vahl. и *Cerastium multiflorum* С.А. Mey. – *Veronico telephiifoliae-Cerastietea multiflori*. В высокогорьях Западного Кавказа широко представлены известняковые ландшафты (Фишт-Оштенский массив) с карстовыми формами рельефа в виде карров, карстовых воронок, каньонообразных ущелий.

Высокогорная скальная кальцефильная растительность Западного Кавказа относится к классу *Asplenietea trichomanis* (Br.-Bl. in Meier & Br.-Bl. 1934) Oberd 1977 (союз *Thalictro foetidi-Asplenion*), сообщества подвижных особей – к классу *Thlaspietea rotundifolii* Br.-Bl. 1948). В них описаны сообщества ассоциаций *Veronico minutae-Chaerophylletum humilis* Onipchenko 2002, *Saxifragetum Cartilaginetae-Asplenietum Rutae-Murariae* ass. nov. prov., *Valerianetum Saxicolae-Helianthietum buschii* ass. nov. prov.

## ВЫВОДЫ

Западный Кавказ – это один из центров флористического и ценотического разнообразия на Кавказе. Для него характерно высокое популяционное и ценотическое разнообразие, большое число эндемиков и своеобразие ценотаксонов, что объясняется сложной геологической историей, проявлением островного эффекта Кавказа как горной страны, изолированным положением отдельных частей Западного Кавказа, многообразием физико-географических условий, проявлением широтной зональности и высотной поясности, биогеографической гетерогенностью и ландшафтной мозаичностью. Западный Кавказ является рефугиумом древних экосистем колхидского и средиземноморского корня. Уникальность и специфичность флоры и растительного покрова подчеркивает высокий природоохранный статус региона.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаю искреннюю признательность коллегам, студентам, кто принимал участие в многочисленных полевых исследованиях, при работе в гербарных фондах: Л.В. Аверьянову, О.Б. Безлепкиной, Муртазалиеву Р.А., Поповичу А.В., Постарнак, В.В. Швановой, и мн. др. Особая благодарность коллеге, другу, профессору Г.М.

Абдурахманову, который инициировал написание данной статьи. Работа выполнялась при поддержке грантов РФФИ р\_а 16-45-230298, РФФИ р\_а 19-45-230019.

## ACKNOWLEDGEMENT

I express my sincere gratitude to all colleagues and students who took part in numerous field studies and worked in herbarium funds: L.V. Averyanov, O.B. Bezlepkin, Murtazaev R.A., Popovich A.V., Postarnak, V.V. Shvanova and many others. Special thanks to my colleague and friend, Professor G.M. Abdurakhmanov, who initiated the writing of this article. This work was supported by grants from the RFBR r\_a 16-45-230298, RFFI r\_a 19-45-230019.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубев В.Н. Биологическая флора Крыма. Ялта: НБЦ-ННЦ, 1996. 126 с.
2. Литвинская С.А. Таксономическая и биогеографическая характеристика флоры Западного Предкавказья и Западного Кавказа: Phylum Magnoliophyta: Classis Liliopsida. Т.2(1). Москва: Наука, 2019. 560 с.
3. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Кавказский элемент во флоре Российского Кавказа: география, созология, экология. Краснодар: Просвещение-Юг, 2009. 439 с.
4. Red List of the Endemic plants of the Caucasus: Armenia, Azerbaijan, Georgia, Iran, Russia and Turkey. St. Louis, U. S. A., Missouri Botanical Garden, 2013. 451 p.
5. Литвинская С.А. Растительность литоральной зоны и лиманной акватории лицензионного участка дельты реки Кубани ООО «НК «Приазовнефть» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2016. N 2. С. 55-62.
6. Литвинская С.А. Ценотическое разнообразие степей северо-западной части Большого Кавказа // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2017. N 3. С. 48-58.
7. Литвинская С.А. Растительность Черноморского побережья России (Средиземноморский анклав). Краснодар, 2004. 118 с.
8. Литвинская С.А. К проблеме выделения лесов высокой природоохранной ценности на Северном Кавказе // Ботаническая наука в современном мире. Ереван, 2015. С. 36-43.
9. Гроссгейм А.А. Растительный покров Кавказа // Материалы к познанию фауны и флоры СССР. Отд. биологии. 1948. Вып. 4 (12). 268 с.
10. Гулишавили В.З., Махатадзе Л.Б., Прилипко Л.И. Растительность Кавказа. Москва: Наука, 1975. 233 с.
11. Литвинская С.А., Постарнак Ю.А. Опыт флористической классификации растительности лесов из сосны пицундской Крымско-Новороссийской провинции на Северо-Западном Кавказе // Наука Кубани. 2002. N 1. С. 110-118.
12. Красная книга Краснодарского края (растения и грибы). 3-е изд. / Отв. ред. С. А. Литвинская. Краснодар, 2017. 849 с.
13. Камелин Р.В. Материалы к анализу флоры Кавказа. О некоторых особенностях состава флоры Кавказа и их значении для понимания истории флоры этой станы // Ботанический журнал. 2006. Т. 91. N 5. С. 649-673.

14. Коротков К.О., Белоновская Е.А. Синтаксономия альпийского пояса Большого Кавказа. 1. Альпийские луга с ограниченным ареалом // Растительность России. 2001. N 1. С. 17-35.
15. Колаковский А.А. Растительный мир Колхиды. Москва: Изд-во Московского университета, 1961. 460 с.

#### REFERENCES

- Golubev V.N. *Biologicheskaya flora Kryma* [Biological Flora of the Crimea]. Yalta, NBTS-NNTS Publ., 1996, 126 p. (In Russian)
- Litvinskaya S.A. *Taksonomicheskaya i biogeograficheskaya kharakteristika flory Zapadnogo Predkavkaz'ya i Zapadnogo Kavkaza: Phylum Magnoliophyta: Classis Liliopsida* [Taxonomic and Biogeographic Characteristics of the Flora of the Western Ciscaucasia and Western Caucasus: Phylum Magnoliophyta: Classis Liliopsida]. Moscow, Nauka Publ., 2019, vol. 2(1), 560 p. (In Russian)
- Litvinskaya S.A., Murtazaliev R.A. *Kavkazskii element vo flore Rossiiskogo Kavkaza: geografiya, sozologiya, ekologiya* [The Caucasus Element within the Flora of the Russian Caucasus: Geography, Zoology, Ecology]. Krasnodar, Prosveshchenie-Yug Publ., 2009, 439 p. (In Russian)
- Red List of the Endemic Plants of the Caucasus: Armenia, Azerbaijan, Georgia, Iran, Russia and Turkey. St Louis, U. S. A., Missouri Botanical Garden, 2013, 451 p.
- Litvinskaya S.A. Vegetation of the littoral and estuary territories in the license area of the Kuban river delta of LLC "NK "Priazovneft". *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental Protection in Oil and Gas Complex]. 2016, no. 2, pp. 55-62. (In Russian)
- Litvinskaya S.A. Cenothis diversity of the steppes of the north western part of the Great Caucasus. *Botanicheskii vestnik Severnogo Kavkaza* [Botanical herald of the North Caucasus]. 2017, no. 3, pp. 48-58. (In Russian)
- Litvinskaya S.A. *Rastitel'nost' Chernomorskogo poberezh'ya Rossii (Sredizemnomorskii anklav)* [Vegetation of the Black Sea Coast of Russia (Mediterranean Enclave)]. Krasnodar, 2004, 118 p. (In Russian)
- Litvinskaya S.A. [To the problem of forest conservation of high conservation value in the North Caucasus]. In: *Botanicheskaya nauka v sovremennom mire* [Botanical Science in the Modern World]. Yerevan, 2015, pp. 36-43. (In Russian)
- Grossheim A.A. [Vegetation cover of the Caucasus]. In: *Materialy k poznaniyu fauny i flory SSSR. Otdelenie biologii* [Materials for the knowledge of the fauna and flora of the USSR. Department of Biology]. 1948, iss. 4 (12), 268 p. (In Russian)
- Gulisashvili V. Z., Makhatadze L. B., Prilipko L. I. *Rastitel'nost' Kavkaza* [Vegetation of the Caucasus]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 233 p. (In Russian)
- Litvinskaya S.A., Postarnak Yu.A. The experience of floristic classification of pine forest vegetation from Pitsunda Crimean-Novorossiysk province in the North-West Caucasus. *Nauka Kubani* [Science of the Kuban]. 2002, no. 1, pp. 110-118. (In Russian)
- Litvinskaya S.A., ed. *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraja (rasteniya i griby)* [The Red Book of the Krasnodar Territory (Plants and Fungy)]. Krasnodar, 2017, 3rd ed., 849 p. (In Russian)
- Kamelin R.V. Data to the analysis of the Caucasus flora. Some peculiarities in the composition of the Caucasus flora and their importance for the understanding of the history of this country. *Botanicheskii zhurnal* [Botanicheskii Zhurnal]. 2006, vol. 91, no. 5, pp. 649-673. (In Russian)
- Korotkov K.O., Belonovskaya E.A. The Great Caucasus alpine belt syntaxonomy. I. Alpine meadows with restricted distribution. *Rastitel'nost' Rossii* [Vegetation of Russia]. 2001, no. 1, pp. 17-35. (In Russian)
- Kolakovskii A.A. *Rastitel'nyi mir Kolkhidy* [Plant World of Colchis]. Moscow, Moscow University Publ., 1961, 460 p. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Светлана А. Литвинская проводила геоботанические описания, осуществляла гербарные сборы, определяла растения, анализировала данные. Автор несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Svetlana A. Litvinskaya undertook geobotanical descriptions, developed herbarium collections, identified plants and analyzed data. Author is responsible for plagiarism and self-plagiarism.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author states that there is no conflict of interest.

#### ORCID

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

Оригинальная статья / Original article  
УДК 633.1:631.52ДВ  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-49-59

## Экологическая устойчивость тритикале к неблагоприятным факторам окружающей среды

Татьяна А. Асеева , Кристина В. Зенкина

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение науки «Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук», Хабаровск, Россия

### Контактное лицо

Татьяна А. Асеева, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства; 680521 Россия, Хабаровский край, Хабаровский район, с. Восточное, ул. Клубная, д. 13.  
Тел. +79241065299  
Email [aseeva59@mail.ru](mailto:aseeva59@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

### Формат цитирования

Асеева Т.А., Зенкина К.В. Экологическая устойчивость тритикале к неблагоприятным факторам окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 49-59. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-49-59

Получена 29 августа 2019 г.  
Прошла рецензирование 11 ноября 2019 г.  
Принята 18 декабря 2019 г.

### Резюме

**Цель.** В зоне рискованного земледелия особенно актуально выращивание сельскохозяйственных культур с высокой урожайностью и оптимальной адаптивной приспособленностью к стрессовым факторам окружающей среды. В связи с этим целью настоящей исследовательской работы является определение экологической устойчивости сортов ярового тритикале к неблагоприятным факторам Среднего Приамурья.

**Материал и методы.** В опыте использовали множество статистических и математических методов определения адаптивного потенциала сортов ярового тритикале по урожайности. В качестве объекта исследований использовали 40 сортов и селекционных линий ярового тритикале различного эколого-географического происхождения.

**Результаты.** С помощью кластерного анализа образцы тритикале ранжированы на 5 групп с различной реакцией на спектр изменений условий окружающей среды. В результате исследований установлено, что сорт Скорый (Россия) и сорт Виктория (Украина) максимально реализуют свой потенциал урожайности в сочетании со способностью нейтрализовать негативное воздействие почвенно-климатических факторов внешней среды.

**Заключение.** Установлена сортовая реакция тритикале на конкретные условия вегетации. Выделены образцы ярового тритикале с высокой экологической устойчивостью, пластичностью и стабильностью для хозяйственного использования и дальнейшей селекционной работы.

### Ключевые слова

Яровое тритикале, урожайность, экологическая устойчивость, адаптивный потенциал, кластерный анализ.

# Environmental Sustainability of Triticales to Adverse Environmental Factors

Tatiana A. Aseeva  and Kristina V. Zenkina

Khabarovsk Federal Research Centre, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

## Principal Contact

Tatiana A. Aseeva, Dr Agric. Sciences, Chief Researcher, Far Eastern Agricultural Research Institute; 13 Klubnaya St, Vostochnoye village, Khabarovsk district, Khabarovsk territory, 680521 Russia.

Tel. +79241065299

Email [aseeva59@mail.ru](mailto:aseeva59@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

## How to cite this article

Aseeva T.A., Zenkina K.V. Environmental sustainability of triticales to adverse environmental factor. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 49-59. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-49-59

Received 29 August 2019

Revised 11 November 2019

Accepted 18 December 2019

## Abstract

**Aim.** In regions where farming is risky it is especially important to grow crops with high productivity and optimal adaptability to environmental stress factors. In this regard, the purpose of this study was to determine the environmental sustainability of spring triticale cultivars to the unfavourable environmental factors of the Middle Amur Region.

**Material and Methods.** Many statistical and mathematical methods were used to determine the adaptiveness of potential spring triticale cultivars by yield. As research material, we used 40 cultivars and breeding lines of spring triticale of various ecological and geographical origins.

**Results.** Using cluster analysis, triticale samples were ranked into 5 groups with differing responses to the spectrum of changes in environmental conditions. As a result of this research, it was established that the Skoryi (Russia) and Viktoria (Ukraine) cultivars achieve maximum yield potential as well as having an ability to neutralize the negative impact of soil and climatic factors.

**Conclusion.** The reaction of triticale cultivars to specific vegetation conditions was established. Exemplars of spring triticale with high environmental sustainability, ductility and stability for economic use and further breeding were identified.

## Key Words

Spring triticale, yield, environmental sustainability, adaptive potential, cluster analysis.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с глобальными климатическими изменениями последних лет остро стоит вопрос повышения адаптивного потенциала сельскохозяйственных культур, как в экологическом градиенте, так и способности формировать стабильный уровень урожайности в разные по гидротермическим условиям годы [1; 2]. Внедрение тритикале в сельскохозяйственное производство невозможно без создания сортов, адаптированных к условиям возделывания [3], поэтому повышение стрессоустойчивости сортов в настоящее время является одним из важнейших направлений в селекции тритикале [4]. Поиск новых перспективных и адаптированных сортов необходим для каждого региона страны [5], однако уверенно прогнозировать их селекционную ценность можно, только когда известен их адаптивный потенциал [6]. Для определения реакции генотипов к неблагоприятным факторам окружающей среды повсеместно используют математические и статистические методы исследований [7-11]. Таким образом, в результате огромного количества селекционных программ и экологического испытания культуры тритикале в научно-исследовательских институтах, вузах страны и международного сотрудничества создан ряд современных сортов, обладающих разнообразием биологических признаков и адаптивных свойств и допущенных к использованию в основных зерносеющих регионах мира [12-15].

Урожайность является одним из наиболее важных показателей, определяющих реакцию сорта на стресс и результирующим показателем функционирования всех систем растения [16], поэтому увеличение данного признака является приоритетным направлением исследований. В связи с неустойчивым гидротермическим режимом в Среднем Приамурье наблюдается значительный недобор урожая зерновых колосовых культур, в частности пшеницы. Прогресс в зерновой отрасли региона возможен за счет использования альтернативных сельскохозяйственных культур, обладающих высокой потенциальной продуктивностью с устойчивостью к варьирующим во времени и пространстве факторам внешней среды. Ранее было установлено, что потребность в тепле и влаге в отдельные периоды роста и развития растений у пшеницы и тритикале диаметрально противоположны [17], поэтому в годы с неблагоприятными погодными условиями экономически эффективнее выращивание ярового тритикале в качестве страховой культуры. На современном этапе селекции в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений РФ и допущенных к выращиванию в данной экологической зоне внесено 7 сортов ярового тритикале. Небольшое количество районированных сортов, а также изучение реакции генотипов тритикале на условия окружающей среды региона ведется недостаточно, что сдерживает распространение культуры в производстве. Исходя из этого, определение экологической устойчивости коллекционных образцов ярового тритикале в сравнении с яровой пшеницей к лимитированным условиям окружающей среды представляет собой актуальную и важную задачу для хозяйственного использования и дальнейшей селекционной работы. В связи с этим, *цель исследований* – определить экологическую устойчивость сортов ярового тритикале к неблагоприятным факторам Среднего Приамурья.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная часть работы выполнена в период 2015-2018 гг. Объект исследований – 40 сортов и линий ярового тритикале из различных стран мира. В качестве стандартов (st) использовали районированный сорт местной селекции яровой мягкой пшеницы Хабаровчанка и сорт ярового тритикале Укро, первым включенный в реестр селекционных достижений и рекомендованный для возделывания в Дальневосточном регионе, высевали через девять номеров. Почвенный покров опытного поля представлен лугово-бурыми оподзоленно-глеевыми тяжелосуглинистыми почвами. Предшественник в опыте – черный пар. Перед посевом в почву внесли питательные элементы из расчета  $N_{30}P_{30}K_{30} \text{ кг/га}$ . Агротехника возделывания – общепринятая для условий Среднего Приамурья и включала: вспашку поля с осени на зябь, весеннюю культивацию, боронование в два следа. Посев зерновых культур проводили сеялкой «ССФК-7М» на делянках площадью 4 м<sup>2</sup> рендомизировано с нормой высева 5,5 млн. всхожих зерен на гектар. Вследствие позднего схода снежного покрова и чрезмерного переувлажнения почвы в 2015 и 2016 гг. посев провели 18 и 21 мая соответственно. В 2017 и 2018 гг. посев провели в оптимальные сроки – третья декада апреля (21 и 25 апреля соответственно). Учет урожая коллекционных образцов ярового тритикале проводился методом поделяночного обмолота комбайном «Хеге-125» с последующим приведением к стандартной влажности.

Для оценки адаптивного потенциала и устойчивости сортов ярового тритикале в условиях Среднего Приамурья определяли экологическую характеристику каждого генотипа с помощью простых логических, математических и статистических методов. Учитываемый признак – урожайность зерна (Y). Данные представлены в виде средних арифметических значений (X). Коэффициенты вариации (V) рассчитаны согласно методике полевого дела [18]. Среднесортовая урожайность по опыту ( $X_{ij}$ ) – средняя урожайность всех исследуемых сортов за все годы испытания. Год с максимальным проявлением изучаемого признака принят за оптимальный (opt), с минимальным проявлением – лимитированный (lim). Для определения реакции генотипов ярового тритикале на условия года был рассчитан индекс условий среды ( $L_j$ ), который представляет собой отношение среднего урожая по сортам в конкретный год испытания ( $X_i$ ) к среднесортовой урожайности по опыту. Коэффициент адаптивности (CA) рассчитывали по Л.А. Животкову [19]. Разность ( $Y_{lim} - Y_{opt}$ ) отражает уровень устойчивости сортов к стрессовым условиям произрастания (SU), а уравнение  $(Y_{opt} + Y_{lim})/2$  показывает генетическую гибкость сортов или наличие компенсаторной способности (CS) [20]. Размах урожайности (D) определяли по В.А. Зыкину с соавторами [21]. Индексы фенотипической стабильности и экологической пластичности рассчитывали по А.Г. Крючкову [22] и А.А. Грязнову [23] соответственно. Уровень и стабильность урожайности каждого сорта устанавливали с помощью комплексного показателя PУSS, выраженного в процентах к стандартному сорту ярового тритикале Укро [24]. Мера общей адаптивной способности сортов тритикале (OAS) рассчитана по методике А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой [25]. Показатели гомеостатичности и селек-

ционной ценности образцов определяли по В.В. Хангильдину [26]. Экологическую пластичность и стабильность сортов определяли по методу, основанному на расчете коэффициентов линейной регрессии ( $b_1$ ) и среднего квадратичного отклонения от линий регрессии ( $S^2_{дi}$ ) соответственно [27]. Статистическая обработка экспериментальных данных (дисперсионный, корреляционный и кластерный анализы) проводились в системе Statistica 10.0 («StatSoft, Inc.», США). Рассчитанные коэффициенты корреляции статистически значимы при 95% уровне достоверности ( $P < 0,05$ ).

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность ярового тритикале зависит от генетического разнообразия и взаимодействия генотип-среда. Гидротермические условия в период проведения исследований были неоднозначными и контрастными,

что привело к статистически значимому вкладу всех факторов внешней среды в общую изменчивость урожайности сортов тритикале (табл. 1). Результаты двухфакторного дисперсионного анализа позволили установить достоверность влияния на урожайность ярового тритикале изучаемых факторов и их взаимодействия при уровне значимости 95% ( $F_{ф} > F_{кр}$ ). Максимальный вклад в формирование урожая ярового тритикале оказывал фактор «среда», объединяющий биотические и абиотические условия окружающей среды в период вегетации злаков. Действие фактора «генотип», определяющего адаптацию к факторам внешней среды, на урожайность сортов составляет 19,6%. Взаимодействие факторов «генотип-среда» также было значительным, доля его влияния на урожайность тритикале по результатам исследований – 39,1%.

**Таблица 1.** Результаты двухфакторного дисперсионного анализа урожайности сортов ярового тритикале

**Table 1.** The results of a two-way analysis of varieties of yields of varieties of spring triticale

Источник вариации Source of variation	SS	DF	MS	F <sub>факт.</sub> F <sub>fact.</sub>	F <sub>крит.</sub> F <sub>crit.</sub>	ДВФ FC
<b>Фактор А (генотип)</b> Factor A (genotype)	2180,955	40	54,52387	1,503068	1,495202391	19,6
<b>Фактор В (среда)</b> Factor B (environment)	4588,892	3	1529,631	42,16758	2,680167578	41,3
<b>Взаимодействие А х В</b> Interaction A x B	4353,005	120	36,27504			39,1
<b>Прочие факторы</b> Other factors	0	0				0
<b>Итого</b> Total	11122,85	163				

Примечание: SS – сумма квадратов отклонений, DF – число степеней свободы, MS – дисперсия, F<sub>факт.</sub> – фактическое значение отношения Фишера, F<sub>крит.</sub> – критическое значение отношения Фишера, ДВФ – доля вклада фактора, процент.

Note: SS – sum of the squared deviations, DF – number of degrees of freedom, MS – dispersion, F<sub>факт.</sub> – actual value of Fisher's ratio, F<sub>крит.</sub> – critical value of Fisher ratio, FC – factor contribution, percent.

Сорт как генетическая система специфически реагирует на внешние факторы среды. Среднесортная урожайность изучаемого набора сортов ярового тритикале в опыте составляет 22,16 ц/га. Наиболее благоприятная ситуация для более полной реализации потенциальных возможностей генотипов ярового тритикале сложилась в 2017 году, где индекс условий среды принимал максимальное значение и большинство сортообразцов сформировали урожайность значительно выше среднесортной (табл. 2). Для остальных лет экологического

изучения был характерен отрицательный индекс среды, где фактором, лимитирующим урожайность ярового тритикале, послужило значительное количество выпавших осадков и, как следствие, переувлажнение почвы в течение всего периода вегетации. Высокий отрицательный индекс условий среды в 2016 году указывает на достаточно высокую долю влияния агрометеорологических условий Среднего Приамурья на формирование урожая ярового тритикале.

**Таблица 2.** Урожайность сортов ярового тритикале в агроценозах Среднего Приамурья

**Table 2.** Productivity of spring triticale varieties in agrocenoses of the Middle Amur Region

№ ВИР*	Сорт Variety	Происхождение Origin	Урожайность, ц/га Yield, c/ha				
			2015	2016	2017	2018	X <sub>i</sub>
64108	Хабаровчанка, стандарт / Khabarovchanka, standard	Россия / Russia	20,50	29,50	15,30	23,00	22,08
3644	Укро, стандарт / Ykro, standard	Россия / Russia	26,20	14,30	26,70	21,20	22,10
3592	АС Certa / AC Certa	Канада / Canada	35,80	22,90	34,70	17,90	27,83
3630	Лана / Lana	Беларусь / Belarus	36,80	18,10	44,20	16,20	28,83
3631	Примэвара 5 / Primevara 5	Молдавия / Moldavia	21,20	12,40	28,40	19,70	20,43
3632	АС Alta / AC Alta	Канада / Canada	18,80	15,30	24,20	18,60	19,23
3633	АС Copia / AC Copia	Канада / Canada	14,80	7,80	22,10	24,90	17,40
3645	Дагво / Dagvo	Россия / Russia	25,00	11,10	29,40	24,70	22,55
3676	Скорый / Skoriy	Россия / Russia	22,00	20,90	23,90	19,20	21,50
3677	Гребешок / Grebeshok	Россия / Russia	26,20	15,80	37,50	26,50	26,50

3682	Molos 4 / Molos 4	Мексика / Mexico	19,80	10,90	26,00	10,90	16,90
3685	F7NTcl 154 / F7NTcl 154	Мексика / Mexico	13,80	20,10	27,80	19,40	20,28
3871	Жайворонок харківський / Zhaiboronok Kharkivskiy	Украина / Ukraine	9,40	11,10	34,20	21,30	19,00
3872	Хлібодар харківський / Khlিবodar Kharkivskiy	Украина / Ukraine	12,00	12,10	30,40	23,10	19,40
3873	Соловей харківський / Solobei Kharkivskiy	Украина / Ukraine	11,20	17,;0	27,70	21,40	19,43
3874	Арсенал / Arsenal	Украина / Ukraine	9,40	11,90	14,80	25,00	15,28
3875	Крупільське / Krupilske	Украина / Ukraine	15,80	13,00	28,00	15,40	18,05
3887	Ульяна / Ulyana	Беларусь / Belarus	31,40	27,50	34,30	17,30	27,63
3888	Узор / Uzor	Беларусь / Belarus	18,20	16,60	43,70	28,70	26,80
3889	Лотос / Lotos	Беларусь / Belarus	24,80	17,70	34,90	24,70	25,53
3890	Мыкола / Mikola	Украина / Ukraine	22,20	15,90	30,00	21,80	22,48
3891	Легінь харківський / Legin Kharkivskiy	Украина / Ukraine	16,80	10,30	28,40	19,90	18,85
3892	Коровай харківський / Kogovai Kharkivskiy	Украина / Ukraine	15,60	20,10	31,30	21,90	22,23
3893	Харків КАВІАС / Kharkiv KAVIAS	Украина / Ukraine	10,20	16,70	33,70	15,20	18,95
3894	ЯТХ 42 / ЯТКН 42	Украина / Ukraine	21,20	12,90	26,40	22,20	20,68
3895	Ярило / Yarilo	Россия / Russia	25,20	17,90	29,80	19,40	23,08
3907	ЗГ 186 / ЗГ 186	Россия / Russia	22,60	16,30	35,40	22,40	24,18
3916	Память Мережко / Pamyat Merezko	Россия / Russia	24,20	17,60	34,80	18,30	23,73
3922	Виктория / Viktoria	Украина / Ukraine	30,80	24,70	28,20	25,70	27,35
3927	Садко / Sadko	Беларусь / Belarus	4,00	20,10	18,20	26,30	17,15
3933	Кармен / Karmen	Россия / Russia	18,00	19,60	28,50	14,90	20,25
3934	Норманн / Normann	Россия / Russia	13,20	14,70	16,60	20,30	16,20
3935	Ровня / Rovnya	Россия / Russia	19,20	34,10	45,20	13,90	28,10
3958	Кобзар / Kobzar	Беларусь / Belarus	24,00	17,30	37,90	13,90	23,28
3959	Лосиновске / Losinovske	Беларусь / Belarus	27,40	15,10	40,70	21,30	26,13
3960	Эгуривський / Egurivskiy	Беларусь / Belarus	27,60	16,40	32,20	21,10	24,33
3961	Обериг харьковский / Obering Kharkovskiy	Беларусь / Belarus	29,80	17,60	32,90	10,80	22,78
3962	ЯТХ 26-07 / ЯТКН 26-07	Беларусь / Belarus	23,60	14,20	33,60	8,30	19,93
3985	Brio / Brio	Швейцария / Switzerland	21,20	8,10	36,00	18,10	20,85
3986	Tleridal / Tleridal	Швейцария / Switzerland	14,70	14,50	35,50	25,30	22,50
3988	Sandio / Sandio	Швейцария / Switzerland	32,70	20,60	45,40	16,90	28,90
	<b>НСР<sub>05</sub></b>		<b>2,3</b>	<b>2,4</b>	<b>2,8</b>	<b>1,8</b>	
	<b>Σ X<sub>ij</sub>, ц/га</b>		<b>857,30</b>	<b>691,10</b>	<b>1268,90</b>	<b>817,00</b>	<b>908,58</b>
	<b>X<sub>ij</sub>, ц/га</b>		<b>20,91</b>	<b>16,86</b>	<b>30,95</b>	<b>19,93</b>	<b>22,16</b>
	<b>L<sub>j</sub>, ед.</b>		<b>-1,3</b>	<b>-5,3</b>	<b>8,8</b>	<b>-2,2</b>	

Примечание: \*Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)

Note: \*N.I. Vavilova All-Russian Institute of Plant Genetic Resources

Одним из важнейших способов определения относительной изменчивости урожайности сортов используется коэффициент вариации, являющийся одним из показателей нормы реакции генотипа, характеризующий его стабильность по данному показателю. Высокие значения коэффициента вариации урожайности характерны для большинства изученных сортов и линий яро-

вого тритикале и составляют до 60% (табл. 3). Выделены сорта Скорый и Виктория с минимальными значениями изменчивости урожайности в условиях данного региона ( $V < 10\%$ ,  $D < 20\%$ ), что свидетельствует о стабильном формировании урожая данных образцов независимо от воздействий неблагоприятных факторов внешней среды.

Таблица 3. Адаптивный потенциал сортов ярового тритикале в агроценозах Среднего Приамурья

Table 3. Adaptive potential of spring triticale varieties in agroecosystems of the Middle Amur Region

Сорт Variety	Показатели* / Indicators*												
	V	D	CA	SU	CS	PI	IP	PUSS	OAS	Hom	S <sub>c</sub>	b <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> <sub>di</sub>
Хабаровчанка, стандарт / Khabarovchanka, standard	26,72	48,14	1,10	-14,2	22,4	1,07	3,74	97,65	-0,08	5,82	11,46	-0,88	5,90
Укро, стандарт / Ukro, standard	26,07	46,44	1,00	-12,4	20,5	1,00	3,84	100,00	-0,06	6,84	11,84	0,70	5,76
АС Certa / AC Certa	31,72	50,00	<b>1,26</b>	-17,9	26,9	<b>1,27</b>	3,16	103,53	<b>5,67</b>	4,90	13,91	0,88	8,82
Лана / Lana	48,00	63,35	<b>1,30</b>	-28,0	<b>30,2</b>	<b>1,27</b>	2,08	70,59	<b>6,67</b>	2,14	11,8	<b>1,87</b>	13,84
Примэвара 5 / Primevara 5	32,12	56,34	0,92	-16,0	20,4	0,91	3,11	75,29	-1,73	3,97	8,97	<b>1,01</b>	6,56
АС Alta / AC Alta	19,17	36,78	0,87	<b>-8,9</b>	19,8	0,88	5,23	117,65	-2,93	<b>11,28</b>	12,15	0,59	3,68

АС Сорпа / AC Copia	44,18	68,67	0,79	-17,1	16,4	0,78	2,26	45,88	-4,76	2,30	5,45	0,71	7,69
Дагво / Dagvo	35,17	62,24	1,02	-18,3	20,3	1,01	2,84	75,29	0,39	3,50	8,51	<b>1,01</b>	7,93
Скорый / Skoriy	<b>9,17</b>	<b>19,67</b>	0,97	<b>-4,7</b>	21,6	1,01	<b>10,91</b>	<b>275,29</b>	-0,66	<b>49,92</b>	<b>17,27</b>	0,26	<b>1,97</b>
Гребешок / Grebeshok	33,44	57,87	1,20	-21,7	26,7	<b>1,18</b>	2,96	92,94	<b>4,34</b>	3,61	11,17	<b>1,37</b>	8,86
Молос 4 / Molos 4	43,65	58,08	0,76	-15,1	18,5	0,75	2,29	45,88	-5,26	2,56	7,09	<b>1,08</b>	7,38
F7NTcl 154 / F7NTcl 154	28,38	50,36	0,91	-14,0	20,8	0,93	3,53	83,53	-1,88	5,11	10,06	0,69	5,75
Жайворонок харківський / Zhaivoronok Kharkivskiy	60,08	72,51	0,86	-24,8	21,8	0,82	1,67	37,65	-3,16	1,28	5,22	<b>1,63</b>	11,41
Хлібодар харківський / Khlibodar Kharkivskiy	46,37	60,53	0,88	-18,4	21,2	0,86	2,16	49,41	-2,76	2,72	7,66	<b>1,22</b>	9,00
Соловей харківський / Solobei Kharkivskiy	35,68	59,57	0,88	-16,5	19,5	0,88	2,80	63,53	-2,73	3,30	7,85	0,80	6,93
Арсенал / Arsenal	44,83	62,40	0,69	-15,6	17,2	0,72	2,23	40,00	-6,88	2,18	5,74	0,01	6,85
Крупільське / Krupilske	37,38	53,57	0,81	-15,0	20,5	0,80	2,67	56,47	-4,11	3,22	8,38	<b>1,10</b>	6,75
Ульяна / Ulyana	26,88	49,56	<b>1,25</b>	<b>-7,0</b>	25,8	<b>1,28</b>	3,72	121,18	<b>5,47</b>	6,04	13,93	0,69	7,43
Узор / Uzor	46,57	62,01	1,21	-27,1	<b>30,2</b>	<b>1,18</b>	2,15	68,34	<b>4,64</b>	2,12	10,18	<b>1,87</b>	12,48
Лотос / Lotos	27,73	49,28	1,15	-17,2	26,3	<b>1,15</b>	3,61	108,24	<b>3,37</b>	5,35	12,95	<b>1,13</b>	7,08
Мыкола / Mikola	25,74	47,00	1,01	-14,1	23,0	1,02	3,89	102,35	0,32	6,20	11,91	0,92	5,78
Легінь харківський / Legin Kharkivskiy	39,89	63,73	0,85	-18,1	19,4	0,83	2,51	55,29	-3,31	2,61	6,84	<b>1,16</b>	7,52
Коровай харківський / Korovai Kharkivskiy	29,72	50,16	1,00	-15,7	23,5	1,02	3,37	88,24	0,07	4,77	11,08	0,90	6,60
Харків АВІАС / Kharkiv AVIAS	53,92	69,73	0,86	-23,5	22,0	0,83	1,85	41,18	-3,21	3,44	5,74	<b>1,44</b>	10,22
ЯТХ 42 / YaTKh 42	27,34	51,14	0,93	-13,5	19,7	0,94	3,66	89,41	-1,48	5,60	10,10	0,78	5,65
Ярило / Yarilo	23,74	39,93	1,04	-11,9	23,9	1,05	4,21	114,12	0,92	8,16	13,86	0,82	5,48
ЗГ 186 / ZG 186	33,23	53,95	1,09	-19,1	25,9	<b>1,08</b>	3,01	85,88	2,02	3,81	11,13	<b>1,31</b>	8,03
Память Мережко / Pamyat Merezkho	33,53	49,43	1,07	-17,2	26,2	<b>1,06</b>	2,98	83,53	1,57	4,12	12,0	<b>1,26</b>	7,95
Виктория / Viktoria	<b>9,98</b>	<b>19,81</b>	1,23	<b>-6,1</b>	27,8	<b>1,29</b>	<b>10,02</b>	<b>332,35</b>	<b>5,19</b>	<b>44,92</b>	<b>21,93</b>	0,18	<b>2,73</b>
Садко / Sadko	54,95	84,79	0,77	-22,3	15,2	0,82	1,82	36,47	-5,01	1,40	2,61	-0,08	9,42
Кармен / Karmen	28,82	47,72	0,91	-13,6	21,7	0,92	3,47	82,35	-1,91	5,16	10,59	0,81	5,84
Норманн / Normann	18,93	34,98	0,73	<b>-7,1</b>	16,8	0,76	5,28	101,18	-5,96	<b>12,04</b>	10,53	0,06	2,07
Ровня / Rovnya	50,71	69,25	<b>1,27</b>	-31,3	29,6	<b>1,27</b>	1,97	64,71	5,94	1,17	8,64	<b>1,44</b>	14,25
Кобзар / Kobzar	45,61	63,32	1,05	-24,0	25,9	1,00	2,19	60,00	1,12	2,13	8,54	<b>1,61</b>	10,61
Лосиновске / Losinovske	41,87	62,90	1,18	-25,6	27,9	<b>1,15</b>	2,39	72,94	<b>3,97</b>	2,44	9,69	<b>1,75</b>	10,94
Згуривський / Egurivskiy	28,67	49,07	1,10	-15,8	24,3	<b>1,10</b>	3,49	100,00	<b>2,17</b>	5,37	12,39	<b>1,02</b>	6,97
Обериг харьковский / Oberig Kharkovskiy	45,49	46,50	1,03	-15,3	21,9	1,02	2,20	58,82	0,62	3,27	7,48	<b>1,19</b>	10,36
ЯТХ 26-07 / YaTKh 26-07	55,62	75,30	0,90	-25,3	21,0	0,87	1,18	42,35	-2,23	1,42	4,92	<b>1,53</b>	11,08
Brio / Brio	55,37	77,50	0,94	-27,9	22,1	0,89	1,81	44,71	-1,31	1,35	4,69	<b>1,84</b>	11,54
Tleridal / Tleridal	44,57	59,15	1,02	-21,0	25,0	1,00	2,24	58,82	0,34	2,40	9,19	<b>1,43</b>	10,03
Sandio / Sandio	44,65	62,78	<b>1,30</b>	-28,5	<b>31,2</b>	<b>1,28</b>	2,24	76,47	<b>6,74</b>	2,71	10,76	<b>1,88</b>	12,90

Примечание: \*V – коэффициент вариации, D – размах урожайности, CA – коэффициент адаптивности, SU – стрессоустойчивость, CS – компенсаторная способность, PI – индекс экологической пластичности, IP – индекс фенотипической стабильности, PUSS – показатель уровня экологической стабильности, OAS – общая адаптационная способность, Hom – гомеостатичность, S<sub>c</sub> – селекционная ценность, b<sub>i</sub> – экологическая пластичность, S<sup>2</sup><sub>di</sub> – фенотипическая стабильность.

Note: \*V – variation coefficient, D – yield range, CA – adaptability coefficient, SU – stress resistance, CS – compensatory ability, PI – environmental plasticity index, IP – phenotypic stability index, PUSS – indicator of environmental stability level, OAS – general adaptation ability, Hom – homeostasis, S<sub>c</sub> – breeding value, b<sub>i</sub> – ecological plasticity, S<sup>2</sup><sub>di</sub> – phenotypic stability.

Сорта и линии ярового тритикале в гидротермических условиях Среднего Приамурья проявили разные адаптивные свойства. Образцы АС Сорта, Лана, Дагво, Гребешок, Ульяна, Узор, Лотос, Мыкола, Коровай харківський, Ярило, ЗГ 186, Память Мережко, Виктория, Ровня, Кобзар, Лосиновске, Згуривський, Обериг харьковский, Tleridal, Sandio, включая стандартный сорт, как тритикале, так и пшеницы, способны противостоять неблагоприятным факторам окружающей среды и максимально реализовать свой потенциал продуктивности (CA>1). Вместе с тем, у сортов Лана, АС Сорта, Ульяна, Ровня и Sandio коэффициент адаптивности выше, чем у других, следовательно, данные сорта являются высокоадаптивными. Остальные сорта ярового тритикале относятся к категории среднеадаптивных.

В регионах с жестким характером агрометеорологических условий, к которым относится Среднее Приамурье, в совокупности с потенциальной продуктивностью сортов большое значение приобретает их экологическая устойчивость. За годы исследований высокая относительная устойчивость к стрессовым факторам произрастания установлена у сортов АС Алта, Скорый, Ульяна, Виктория и Норманн (SU<-10). У данных образцов наблюдалась минимальная депрессия, следовательно, диапазон их приспособительных возможностей обширней, нежели у остальных генотипов ярового тритикале, которые в годы экологического испытания не реализовали свой потенциал урожайности и характеризовались более низкой стрессоустойчивостью.

Расчеты генетической гибкости сортов или наличие их компенсаторной способности позволили установить среднюю урожайность изучаемых сортов ярового тритикале в контрастных, как благоприятных, так и лимитированных условиях выращивания. Максимальное соответствие условиям Среднего Приамурья установлено у сортов Лана, Узор, Sandio ( $CS>30$ ), которые обладают оптимальным соотношением между потребностями генотипов и сложившейся выраженностью факторов внешней среды.

Комплексный показатель уровня экологической стабильности сортов ярового тритикале, учитывающий одновременно величину и стабильность урожайности, варьировал в широких пределах. В данном опыте сортообразцы AC Certa, AC Alta, Ульяна, Лотос, Мыкола, Ярило, Норманн на 1-21% превышали по данному показателю соответствующий стандарт ярового тритикале. Вместе с этим установлена хозяйственная ценность сортов Скорый и Виктория вследствие положительного отклика на благоприятные условия выращивания, и способности поддерживать достаточно высокий уровень продуктивности в стрессовых условиях.

Показатели индекса пластичности указывают на преимущество сортов AC Certa, Лана, Гребешок, Ульяна, Узор, Лотос, ЗГ 186, Память Мережко, Виктория, Ровня, Лосиновске, Згуривский, Sandio ( $PI>1$ ) вследствие высокой экологической устойчивости при ухудшении агрометеорологических факторов и существенный рост при улучшении, т.е. формирование их урожайности происходит с большей адекватностью к меняющимся климатическим условиям произрастания, чем у других сортов. Высокое значение индекса стабильности сортообразцов Скорый и Виктория ( $IP>10$ ) подтверждает, что данные генотипы ярового тритикале сохраняют относительное постоянство анализируемого признака и наиболее приспособлены к условиям окружающей среды.

Проявление общей адаптивной способности генотипов ярового тритикале, характеризующей среднее значение урожайности в различных условиях выращивания, разнообразно в специфической среде Среднего Приамурья. Наибольшим эффектом адаптивности обладают сорта AC Certa, Лана, Гребешок, Ульяна, Узор, Лотос, Виктория, Ровня, Лосиновске, Згуривский, Sandio, способные формировать высокую потенциальную урожайность в условиях региона. При этом сочетание высокого значения данного параметра с низкой вариабельностью урожайности указывает, что сорт Виктория отличается наибольшей реализацией своего потенциала урожайности и сохраняет свойственную им относительную стабильность во все годы.

Наряду с общей адаптацией рассчитан показатель гомеостатичности, который является универсальным свойством саморегуляции живого в системе взаимоотношения организма с окружающей средой. По данным исследований, практически все коллекционные образцы ярового тритикале обладают невысокой степенью гомеостатичности в агроценозах Среднего Приамурья. Сорта AC Alta, Скорый, Виктория и Норманн способны сводить к минимуму последствия неблагоприятных факторов окружающей среды. Высокий уровень гомеостаза сортов Скорый и Виктория в сочетании со стабильным формированием урожайности обусловлен высокой экологической устойчивостью данных

генотипов к широкому диапазону неблагоприятных факторов. Их высокая селекционная ценность, основанная на соотношении урожайности в благоприятных и лимитирующих условиях, наряду с гомеостатичностью, указывает на оптимальную систему адаптивных реакций данных образцов, обеспечивающих стабилизацию определенного потенциала урожайности в широких границах условий среды. Эти сорта характеризуются буферностью, то есть обладают тенденцией к сохранению относительной динамической сбалансированности и восстановлению ее с помощью собственных регуляторных механизмов в случае нарушения.

Важным этапом в алгоритме подсчета адаптивных свойств сортов зерновых колосовых культур является оценка их по экологической пластичности и стабильности. Установлено, что для каждого сорта ярового тритикале характерна определенная реакция на условия окружающей среды. К экологически пластичным сортам, с коэффициентом регрессии равным и близким единице, в условиях Среднего Приамурья отнесены сорта Лана, Примэвара 5, Дагво, Гребешок, Moloc 4, Жайворонок харківський, Хлібодар харківський, Крупільське, Узор, Лотос, Легінь харківський, Харків АВІАС, ЗГ 186, Память Мережко, Ровня, Кобзар, Лосиновске, Згуривский, Обериг харьковский, ЯТХ 26-07, Brio, Tleridal, Sandio – изменение их урожайности полностью соответствует изменению условий внешней среды. Остальные генотипы тритикале характеризуются более низкой экологической пластичностью ( $b_i<1$ ) и при отклонении агроэкологических условий вегетационного периода от оптимальных показателей у образцов ярового тритикале резко снижается урожайность. Установлено, что стандартный сорт яровой мягкой пшеницы Хабаровчанка отличается противоположной реакцией на крайне неблагоприятные условия выращивания ( $b_i=-0,88$ ).

Исходя из вышесказанного, разнообразные подходы в анализе адаптивного потенциала и экологической пластичности дают всестороннюю оценку изучаемым сортам ярового тритикале и в то же время затрудняют восприятие получаемой информации. Поэтому практический интерес представляет оценка взаимосвязей параметров адаптивности между собой и с урожайностью (табл. 4). Сопряженность коэффициента вариации ( $V$ ) с размахом урожайности ( $D$ ) высокая, при этом оба показателя умеренно связаны с другими свойствами адаптивного потенциала ярового тритикале. Урожайность сортов интенсивно коррелирует с коэффициентом адаптивности ( $CA$ ), компенсаторной способностью ( $KS$ ), индексом пластичности ( $IP$ ) и общей адаптационной способностью ( $OAS$ ), которые взаимосвязаны между собой и в совокупности дополняют друг друга, что позволяет сделать вывод об универсальности и целесообразности применения данных показателей в изучении адаптивного потенциала. Установлено, что чем выше стрессоустойчивость сортов ( $SU$ ) в условиях Среднего Приамурья, тем стабильнее формирование урожайности ( $S^2_{adj}$ ). Сорта ярового тритикале, имеющие высокий индекс стабильности ( $PI$ ) в сочетании с комплексным показателем уровня стабильности ( $PUSS$ ), характеризуются как наиболее гомеостатичные и адаптированные к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям региона.

**Таблица 4.** Корреляционная матрица взаимосвязей параметров адаптивности между собой и с урожайностью ярового тритикале**Table 4.** Correlation matrix of interrelationships of adaptability parameters and with spring triticale productivity

	X	V	D	CA	SU	KS	PI	IP	PUSS	OAS	Hom	S <sub>c</sub>	b <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> <sub>di</sub>
X	1,000	-	-	1,000	-	0,934	0,987	0,101	0,335	1,000	0,107	0,577	0,386	0,426
V		1,000	0,155	-	-	0,010	-	-	-	-	-	-	0,562	0,792
D			1,000	0,126	0,842	-	0,234	0,828	0,778	0,131	0,668	0,829	0,461	0,681
CA				1,000	0,152	0,835	0,079	0,246	0,821	0,155	0,752	0,859	0,386	0,429
SU					1,000	-	-	0,740	0,603	-	0,616	0,522	-	-
KS						1,000	0,237	0,010	0,233	0,345	0,045	0,488	0,536	0,539
PI							1,000	0,199	0,425	0,934	0,190	0,652	0,235	0,326
IP								1,000	0,958	0,101	0,967	0,791	-	-
PUSS									1,000	0,335	0,944	0,879	-	-
OAS										1,000	0,106	0,577	0,384	0,469
Hom											1,000	0,710	0,385	0,426
S <sub>c</sub>												1,000	0,406	0,459
b <sub>i</sub>													1,000	0,721
S <sup>2</sup> <sub>di</sub>														1,000

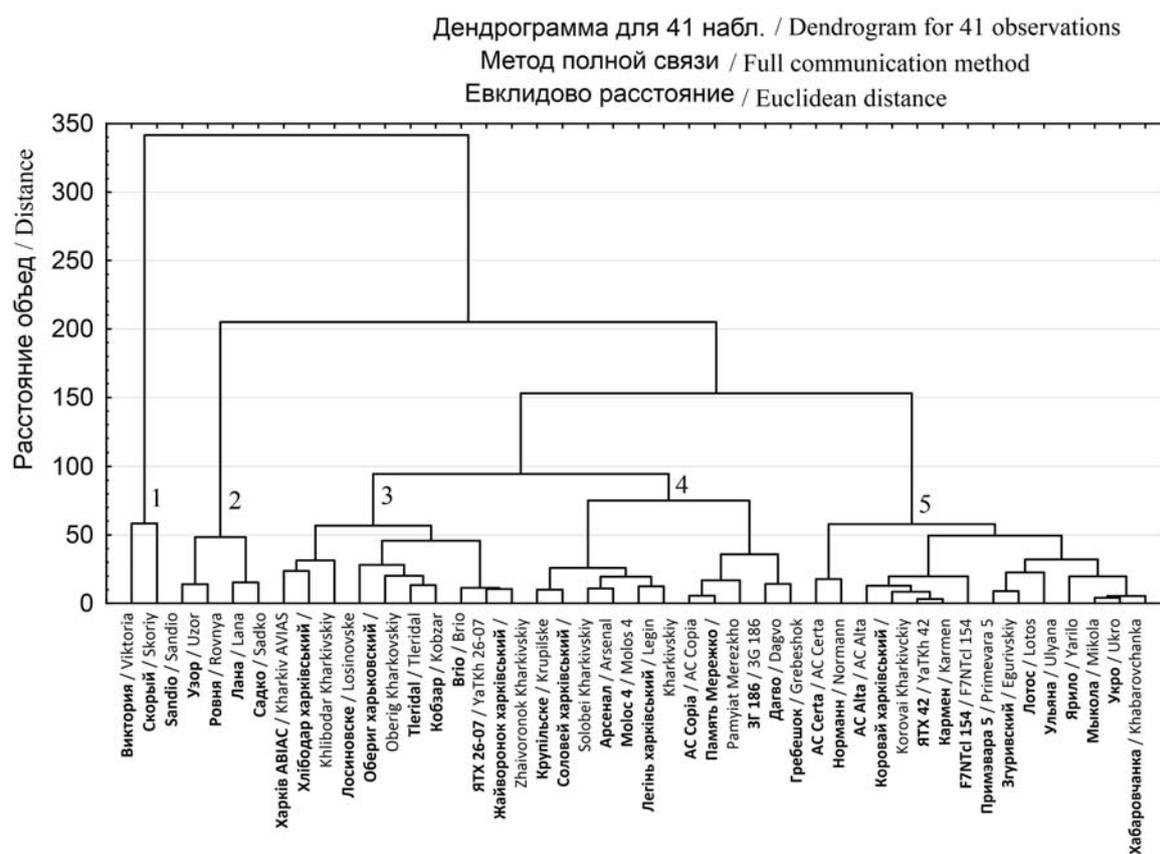
Примечание: \*V – коэффициент вариации, D – размах урожайности, CA – коэффициент адаптивности, SU – стрессоустойчивость, CS – компенсаторная способность, PI – индекс экологической пластичности, IP – индекс фенотипической стабильности, PUSS – показатель уровня экологической стабильности, OAS – общая адаптационная способность, Hom – гомеостатичность, S<sub>c</sub> – селекционная ценность, b<sub>i</sub> – экологическая пластичность, S<sup>2</sup><sub>di</sub> – фенотипическая стабильность.

Note: \*V – variation coefficient, D – yield range, CA – adaptability coefficient, SU – stress resistance, CS – compensatory ability, PI – environmental plasticity index, IP – phenotypic stability index, PUSS – indicator of environmental stability level, OAS – general adaptation ability, Hom – homeostasis, S<sub>c</sub> – breeding value, b<sub>i</sub> – ecological plasticity, S<sup>2</sup><sub>di</sub> – phenotypic stability.

Для определения адаптивного потенциала генотипов важен комплексный подход. Группировка образцов ярового тритикале с помощью методов многомерного статистического анализа позволяет провести сравнительную оценку по комплексу адаптивных свойств сортов и выделить оптимальные группы для дальнейшего использования сортов, как в селекционной работе, так и в производстве. По результатам кластерного анализа все изучаемые сорта были разбиты на группы, внутри которых объекты несут идентичную информацию, что отображено на дендрограмме (древовидная диаграмма), которая наглядно демонстрирует адаптивный потенциал сортов тритикале (рис. 1). Сходство или различия между сортами устанавливаются в зависимости от метрического расстояния между ними (евклидово расстояние). Разнородный состав кластеров объясняется различной реакцией сортообразцов на погодные условия в годы исследований. Минимальное количество образцов объединено в I кластер (сорта Скорый, Виктория) – наибольшее сходство в данной группе обусловлено стабильным формированием урожайности и высокой приспособленностью данных образцов к различным условиям среды. Образцы II кластера (Sandio, Узор, Ровня, Лана) отличаются высокой отзывчивостью на улучшение условий выращивания, максимальная урожайность данного кластера составляет – 44,63 ц/га, однако в условиях стресса эти сорта существенно снижают урожайность – 18,93 ц/га.

Вторая группа сортов ярового тритикале (III, IV, V кластеры) в целом уступает первой по урожайности.

Сортообразцы Садко, Харків ABIAC, Хлібодар харківський, Лосиновске, Обериг харьковский, Tleridal, Кобзар, Brjo, ЯТХ 26-07, Жайворонок харківський относятся к группе полунтенсивных сортов (III кластер), их превосходство наблюдается только в оптимальных условиях, но в лимитированных условиях уровень их экологической устойчивости значительно снижается. Сорта IV кластера – Крупільске, Соловей харківський, Арсенал, Молос 4, Легінь харківський, АС Сорпа, Память Мережка, ЗГ 186, Дагво, Гребешок, АС Certa относятся к нейтральному типу со средней экологической устойчивостью. В условиях интенсивного земледелия данные образцы не могут достигать высоких результатов, но в неблагоприятные годы у них менее снижается урожайность в сравнении с сортами интенсивного типа. Сорта V кластера – Норманн, АС Alta, Коровай харківський, ЯТХ 42, Кармен, F7NVTcl 154, Примэвара 5, Згурировский, Лотос, Ульяна, Ярило, Мыкола, стандартный сорт тритикале Укро и стандартный сорт пшеницы Хабаровчанка слабо реагируют на изменения условий среды, чем в среднем весь набор изученных образцов. Данные сорта адаптированы к средним и худшим средам и характеризуются как экстенсивные в условиях данной экологической зоны. Исходя из этого, кластерный анализ по различным показателям реакции сортов ярового тритикале на условия окружающей среды позволил оптимизировать количество изучаемых параметров и исключить дополняющие друг друга адаптивные свойства образцов.



**Рисунок 1.** Кластеризация сортов ярового тритикале по экологической устойчивости  
**Figure 1.** Clustering of spring triticale varieties by environmental sustainability

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статистические и математические показатели характеризуют исследуемые генотипы ярового тритикале разнообразно и большинство из них оценивают преимущественно фенотипическую стабильность и экологическую пластичность сортов. Кластерный анализ позволил визуально проанализировать экологическую устойчивость сортов ярового тритикале к условиям Среднего Приамурья и сгруппировать сходные образцы по комплексу адаптивных свойств. В результате исследований выделено 5 групп сортов ярового тритикале. Сорта Скорый и Виктория отличаются оптимальным сочетанием урожайности и стабильности в условиях региона. Образцы высокоинтенсивного типа Sandio, Узор, Ровня, Лана отзывчивы на улучшение условий возделывания, но при влиянии стрессовых факторов они значительно снижают урожайность зерна. Остальные образцы классифицированы в агроценозах Среднего Приамурья как полунтенсивные, нейтральные и экстенсивные сорта.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Macholdt J., Honermeier B. Impact of climate change on cultivar choice: adaptation strategies of farmers and advisors in German cereal production // *Agronomy*. 2016. V. 6. Iss. 3. P. 40. DOI: 10.3390/agronomy 6030040
2. Гудзенко В.Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // *Вавиловский*

журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. N 1. С. 110-118. DOI: 10.18699/VJ19.469

3. Манукян И.Р., Басиева М.А. Использование селекционных индексов для оценки адаптивного потенциала коллекционных образцов озимой тритикале к условиям предгорной зоны центрального Кавказа // *Горное сельское хозяйство*. 2018. N 2. С. 33-36. DOI: 10.25691/GSH.2018.2.007
4. Рябчун В.К., Мельник В.С., Капустина Т.Б., Щеченко О.Е. Урожайність тритикале ярого та її стабільність залежно від генотипу та умов середовища // *Plant varieties studying and protection*. 2016. N 1. С. 37-44.
5. Курылева А.Г. Пластичность, стабильность и адаптивность сортов яровой пшеницы в условиях Удмуртской республики // *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2015. N 3. С. 28-32.
6. Давыдова Н.В., Казаченко А.О. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013. N 5. С. 5-9.
7. Shchipak G.V., Tsupko Yu.V., Petrova A.P., Shchipak V.G. Productivity, adaptability and grain quality of modern Ukrainian winter triticale cultivars // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012. V. 16. N 2. P. 464-470.
8. Banjac B., Mladenov V., Dimitrijević M., Petrović S., Voćanski J. Genotype x environment interaction and phenotypic stability for wheat grown in stressful conditions //

- Genetica. 2014. V. 46. Iss. 3. P. 799-806. DOI: 10.2298/GENSR1403799B
9. Kaya Y., Özer E. Parametric stability analyses of multi-environment yield trials in triticale (*x Triticosecale wittmack*) // *Genetica*. 2014. V. 46. Iss. 3. P. 705-718. DOI: 10.2298/GENSR1403705K
10. Arseniuk E. Triticale abiotic stresses – an overview. In: Eudes F. (eds) *Triticale*. Springer, Cham. 2015. P. 69-81. DOI: 10.1007/978-3-319-22551-7\_4
11. Taner A., Öztekin Y.B., Tekgüler A., Sauk H., Duran H. Classification of varieties of grain species by artificial neural networks // *Agronomy*. 2018. V. 8. Iss. 7. P. 123. DOI: 10.3390/agronomy8070123
12. Горбунов В.Н., Шевченко В.Е. Селекционные достижения по тритикале в научных центрах России и ближайшего зарубежья // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. N 4. С. 24-27.
13. Скатова С.Е., Васильев В.В., Тысленко А.М., Зуев Д.В. Новые кормовые сорта ярового тритикале для адаптивного земледелия России // *Владимирский земледельец*. 2016. N 2. С. 18-20.
14. Швидченко В.К., Тысленко А.М., Савин Т.В., Зуев Д.В. Создание селекционного материала ярового тритикале в кооперации ученых России и Казахстана // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. N 7-2. С. 67-69. DOI: 10.23670/IRJ.2017.61.032
15. Ковтуненко В.Я. Панченко В.В., Калмыш А.П. Совместные сорта как результат экологического сортоиспытания // *Материалы международной конференции «Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и продуктов их переработки»*, Ростов-на-Дону, 7 июня, 2018. С. 72-79.
16. Рыбась И.А. Марченко Д.М., Некрасов Е.И., Иванисов М.М., Гричаникова Т.А., Романюкина И.В. Оценка параметров адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2018. N 4. С. 51-54. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54
17. Асеева Т.А., Зенкина К.В. Влияние агроэкологических факторов на реализацию продуктивных качеств тритикале в условиях Среднего Приамурья // *Вестник ДВО РАН*. 2018. N 3. С. 16-22.
18. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований)*. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
19. Животков Л.А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «Урожайность» // *Селекция и семеноводство*. 1994. N 2. С. 3-7.
20. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005. N 6. С. 49-53.
21. Зыкин В.А., Мешков В.В., Сапега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Москва, 1984. 24 с.
22. Крючков А.Г. Основные принципы и методология агроэкологического районирования зерновых культур в степи Южного Урала. М., 2006. 704 с.
23. Грязнов А.А. Селекция ячменя в Северном Казахстане // *Селекция и семеноводство*. 2000. N 4. С. 2-8.
24. Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна // *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985. N 1. С. 66-73.
25. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. Минск, 1997. 372 с.
26. Хангильдин В.В. Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой // *Научно-технический бюллетень ВСГИ*. 1981. N 1. С. 8-14.
27. Eberhart S.A. Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Science*. 1966. V. 6. N 1. P. 36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

## REFERENCES

- Macholdt J., Honermeier B. Impact of climate change on cultivar choice: adaptation strategies of farmers and advisors in German cereal production. *Agronomy*, 2016, vol. 6, iss. 3, 40 p. DOI: 10.3390/agronomy6030040
- Gudzenko V.N. Statistical and graphical (GGE biplot) evaluation of the adaptive ability and stability of winter barley breeding lines. *Vavilov journal of genetics and breeding*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 110-118. (In Russian) DOI: 10.18699/VJ19.469
- Manukyan I.R., Basieva M.A. The use of selection indices for evaluating the adaptive capacity of collection samples of winter triticale to the conditions of a foothill zone of the Central Caucasus. *Mining Agriculture*, 2018, no. 2, pp. 33-36. (In Russian) DOI: 10.25691/GSH.2018.2.007
- Ryabchun V.K., Melnyk V.S., Kapustina T.B., Shchechenko O.Ye. Spring triticale yield and its stability depending on the genotype and environmental conditions. *Plant Varieties Reserach and Protection*. 2016, no. 1, pp. 37-44. (In Ukrainian)
- Kuryleva A.G. Plasticity, stability and adaptability of cultivars of spring wheat cultivated in the conditions of the Udmurt Republic. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya «Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki» [Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"]*. 2015, no. 3, pp. 28-32. (In Russian)
- Davydova N.V., Kazachenko A.O. Features of starting material selection for spring soft wheat selective breeding in the Central Nechernozemie (Nonblack soil zone). *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agricultural University]*. 2013, no. 5, pp. 5-9. (In Russian)
- Shchipak G.V., Tsupko Yu.V., Petrova A.P., Shchipak V.G. Productivity, adaptability and grain quality of modern Ukrainian winter triticale cultivars. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012, vol. 16, no. 2, pp. 464-470.
- Banjac B., Mladenov V., Dimitrijević M., Petrović S., Bočanski J. Genotype x environment interaction and phenotypic stability for wheat grown in stressful conditions. *Genetica*, 2014, vol. 46, iss. 3, pp. 799-806. DOI: 10.2298/GENSR1403799B
- Kaya Y., Özer E. Parametric stability analyses of multi-environment yield trials in triticale (*x Triticosecale wittmack*). *Genetica*, 2014, vol. 46, iss. 3, pp. 705-718. DOI: 10.2298/GENSR1403705K
- Arseniuk E. Triticale abiotic stresses – an overview. In: Eudes F. (eds) *Triticale*. Springer, Cham, 2015, pp. 69-81. DOI: 10.1007/978-3-319-22551-7\_4
- Taner A., Öztekin Y.B., Tekgüler A., Sauk H., Duran H. Classification of varieties of grain species by artificial neural networks. *Agronomy*, 2018, vol. 8, iss. 7, 123 p. DOI: 10.3390/agronomy8070123
- Gorbunov V.N., Shevchenko V.E. Breeding achievement in triticale in scientific centers of Russia and near abroad countries. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of AICis]*. 2015, vol. 29, no.4, pp. 24-27. (In Russian)

13. Skatova S.E., Vasiliev V.V., Tyslenko A.M., Zuev D.V. New feeding varieties of spring triticale for adaptive agriculture in Russia. *Vladimirskii zemledelets [Vladimir agronomist]*. 2016, no. 2, pp. 18-20. (In Russian)
14. Shvidchenko V.K., Tyslenko A.M., Savin T.V., Zuev D.V. Creation of the selection material of spring triticale in the cooperation of the scientists of Russia and Kazakhstan. *International Research Journal*, 2017, no. 7-2, pp. 67-69. (In Russian) DOI: 10.23670/IRJ.2017.61.032
15. Kovtunenkov V.Ya., Panchenko V.V., Kalmysh A.P. Sovmestnye sorta kak rezul'tat ekologicheskogo sortoispytaniya [Joint varieties as a result of ecological variety testing]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Tritikale i stabilizatsiya proizvodstva zerna, kormov i produktov ikh pererabotki»*, Rostov-na-Donu, 7 iyunya 2018 [Materials of international conference "Triticale and stabilization of the production of grain, feed and products of their processing", Rostov-on-Don, 7 June 2018]. Rostov-on-Don, 2018, pp.72-79. (In Russian)
16. Rybas I.A., Marchenko D.M., Nekrasov E.I., Ivanisov M.M., Grichanikova T.A., Romanyukina I.V. Assessment of parameters of winter soft wheat adaptability. *Grain Economy of Russia*, 2018, no. 4, pp. 51-54. (In Russian) DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54
17. Aseeva T.A., Zenkina K.V. Influence of climatic conditions on triticale productivity of the Middle Priamurye Region. *Vestnik DVO RAN [Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences]*. 2018, no. 3, pp. 16-22. (In Russian)
18. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki issledovaniy)* [Methodology of field experiment (with the fundamentals of statistical processing of research)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)
19. Zhivotkov L.A. Methodology for identifying potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat in terms of "Productivity". *Selektsiya i semenovodstvo [Breeding and Seed Production]*. 1994, no. 2, pp. 3-7. (In Russian)
20. Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences]*. 2005, no. 6, pp. 49-53. (In Russian)
21. Zykin V.A., Meshkov V.V., Sapega V.A. *Parametry ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii, ikh raschet i analiz: metodicheskie rekomendatsii* [Parameters of Ecological Plasticity of Agricultural Plants, their Calculation and Analysis: Guidelines]. Moscow, 1984, 24 p. (In Russian)
22. Kryuchkov A.G. *Osnovnye printsipy i metodologiya agroekologicheskogo raionirovaniya zernovykh kul'tur v stepi Yuzhnogo Urala* [Basic principles and methodology of agroecological zoning of grain crops in the steppes of the Southern Urals]. Moscow, 2006, 704 p. (In Russian)
23. Gryaznov A.A. Barley selection in Northern Kazakhstan. *Selektsiya i semenovodstvo [Selection and Seed Production]*. 2000, no. 4, pp. 2-8. (In Russian)
24. Nettevich E.D., Morgunov A.I., Maksimenko M.I. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, yield and grain quality. *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki [Bulletin of Agricultural Science]*. 1985, no. 1, pp. 66-73. (In Russian)
25. Kilchevsky A.V. Khotyleva L.V. *Ekologicheskaya selektsiya rastenii* [Ecological Plant Breeding]. Minsk, 1997, 372 p. (In Russian)
26. Hangildin V.V., Litvinenko N.A. Homeostaticity and adaptability of winter varieties. *Nauchno-tehnicheskii byulleten' VSGI [Scientific and Technical Bulletin of the All-Russian State Institute of Law]*. 1981, no. 1, pp. 8-14. (In Russian)
27. Eberhart S.A. Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 1966, vol. 6, no. 1, pp. 36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татьяна А. Асеева участвовала в корректировке рукописи до подачи в редакцию. Кристина В. Зенкина провела полевые опыты, статистически обработала результаты и проанализировала данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatiana A. Aseeva participated in the corrected it prior to submission to the editor. Kristina V. Zenkina conducted field experiments, statistically processed the results, analyzed the data. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

#### ORCID

Татьяна А. Асеева / Tatiana A. Aseeva <https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

Кристина В. Зенкина / Kristina V. Zenkina <https://orcid.org/0000-0002-5774-3580>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.437.1/5  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-60-68

## Профильное распределение и миграция тяжелых металлов в почвах Курской агломерации (модельные опыты)

Николай П. Неведров 

Курский государственный университет, Курск, Россия

### Контактное лицо

Николай П. Неведров, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник НИЛ экомониторинга ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»; 305000 Россия, г. Курск, ул. Радищева, 33.

Тел. +79513145941

Email [9202635354@mail.ru](mailto:9202635354@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>

### Формат цитирования

Неведров Н.П. Профильное распределение и миграция тяжелых металлов в почвах Курской агломерации (модельные опыты) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 60-68. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-60-68

Получена 13 мая 2019 г.

Прошла рецензирование 30 июля 2019 г.

Принята 26 сентября 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Лабораторная оценка особенностей пространственного распределения и миграции тяжелых металлов (ТМ) в модельных профилях почв различного генезиса по изменению электрокинетических свойств в почвенных растворах.

**Материал и методы.** Исследовались фоновые ненарушенные почвы лесопарковых ландшафтов и материковых пойменных лугов Курской агломерации. Опыт проводился в лабораторных условиях. Исследовалась краткосрочная временная динамика вертикального распределения и миграции внесенных ТМ в модельных почвенных колонках, являющихся имитациями почвенных профилей.

**Результаты.** Анализ кинетики почвенных растворов и лизиметрических вод контрольных и загрязненных почв показал, что модельный профиль темносерой типичной почвы отличался наименьшей способностью к извлечению ионов свинца из загрязненного почвенного раствора. Минимальная сорбционная способность по отношению к цинку характерна для профиля дерново-подзола песчаного иллювиально-железистого. Максимальная способность закреплять изучаемые ТМ (Zn и Pb) выявлена у чернозема выщелоченного среднесуглинистого.

**Заключение.** Динамика и кинетика свинца и цинка в рассмотренных почвах Курской агломерации имеют существенные отличия и зависят от ряда почвенных факторов. В изучаемых почвах характер пространственного распределения и интенсивность миграции свинца и цинка была обусловлена показателями емкости и контрастности внутрипочвенных геохимических барьеров. Торможение процессов вертикальной миграции Pb и Zn в почвах изучаемых модельных профилей отмечается как в гумусированных гумусово-аккумулятивных генетических горизонтах, так и в минеральных горизонтах с высокой контрастностью кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий. Зоны выноса свинца и цинка формируются при значимом укрупнении гранулометрического состава и снижении показателя  $pH_{KCl}$ .

### Ключевые слова

Почвенный профиль, тяжелые металлы, удельная электропроводность, вертикальная миграция, пространственное распределение тяжелых металлов.

# Profile Distribution and Migration of Heavy Metals in the Soils of the Kursk Agglomeration (Model Experiments)

Nikolay P. Nevedrov 

Kursk State University, Kursk, Russia

## Principal Contact

Nikolay P. Nevedrov, Cand. Biol. Sci.,  
Research Scientist, Environmental Monitoring  
Scientific Research Laboratory,  
Kursk State University; 33 Radishchev St,  
Kursk, 305000 Russia.

Tel. +79513145941

Email [9202635354@mail.ru](mailto:9202635354@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>

## How to cite this article

Nevedrov N.P. Profile distribution and migration of heavy metals in the soils of the Kursk agglomeration (model experiments). *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 60-68. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-60-68

Received 13 May 2019

Revised 30 July 2019

Accepted 26 September 2019

## Abstract

**Aim.** Laboratory evaluation of the characteristics of spatial distribution and migration of heavy metals (HM) in model soil profiles of varied genesis through measurement of the electrokinetic potential of soil solutions.

**Material and Methods.** Undisturbed soils of forest parks landscapes and continental floodplain meadows of the Kursk agglomeration were studied. Experiments were carried out in laboratory conditions. The short-term temporal dynamics were studied of vertical distribution and migration of the introduced HMs in model soil columns which imitated soil profiles.

**Results.** Analysis of the kinetics of soil solutions and of lysimeter waters of control and polluted samples showed that the model profile of typical dark-gray soil has the least capacity to capture lead ions from polluted soil solutions. Minimum sorption capacity with respect to zinc was found to be characteristic of sod-podzol illuvial-ferruginous soil profiles. Maximum ability to deposit the HMs under analysis (Zn and Pb) was shown in leached chernozem medium loamy soils.

**Conclusion.** The dynamics and kinetics of lead and zinc in soils of the Kursk agglomeration differ significantly and depend on a number of soil factors. In the soils studied, the spatial distribution and the intensity of migration of lead and zinc were determined by the capacity and contrast indices of the internal soil geochemical barriers. Inhibition of the processes of vertical migration of Pb and Zn in the model soil profiles was observed in those rich in humusified humus-accumulative genetic horizons as well as in mineral horizons with highly contrasting acid-base and redox conditions. Adsorption zones of lead and zinc are formed with a significant increase in granulometric texture and a decrease in  $pH_{KCl}$ .

## Key Words

Soil profile, heavy metals, electrical conductivity, vertical migration, spatial distribution heavy metals.

**ВВЕДЕНИЕ**

Формирование комфортной и экологически безопасной городской среды неразрывно связано с мероприятиями по созданию новых и обслуживанию имеющихся зеленых ландшафтов на территориях городов. Как правило, озелененные кластеры городских территорий обеспечивают экологическую безопасность окружающей среды. Однако далеко не все природно-антропогенные и антропогенные урбоэкосистемы способны длительное время поддерживать экосистемный баланс и обеспечивать безопасность и комфортность среды для проживания горожан. Уязвимость к растущему антропогенному воздействию определяет долгосрочность функционирования урбандиафтов. Базовым компонентом экосистем являются почвы. В результате городского землепользования почвы претерпевают значительные трансформационные преобразования (механические, физические, химические). Городские почвы и почвенные конструкции должны в полной мере выполнять свои утилитарные функции [1; 2].

Остро стоит проблема загрязнения почв городов тяжелыми металлами. Сценарии трансформации, миграции и транслокации ТМ обусловлены качеством почвенного покрова, т.е. набором базовых параметров, определяющих особенности и модели поведения ТМ в системах «почва-раствор», «почва-растение». Закрепление постепенно и залпово поступающих масс ТМ на геохимических барьерах почв позволяет поддерживать стабильность функционирования экосистем и нивелировать негативное воздействие на окружающую среду в целом [3; 4].

Почвенный покров Курска пестр и разнообразен. Он сочетает в себе как городские почвы, базирующиеся на трансформированных предшественниках различного генезиса, так и фоновые почвы без кардинального антропогенного вмешательства в почвообразовательные процессы. Научкой накоплено определенное количество данных о территориях города с различным характером и степенью загрязнения почв ТМ. Неоднократно отмечалось, что тяжелые металлы – Pb, Cd и Zn считаются приоритетными загрязняющими для почв Курска [5; 6]. Однако данных, касающихся оценки интенсивности техногенной миграции загрязняющих почв тяжелых металлов, на сегодняшний день не столь много.

Миграция ТМ представляет собой конвективный массоперенос растворов в пористой среде, а также соотношение внутренних и внешних факторов миграции, которые определяются, с одной стороны, распре-

делением самого элемента между твердой (инертная форма) и жидкой (растворимая форма) фазами почвы, и, с другой стороны, физико-химическими свойствами и режимами почвенных растворов [7]. Профильное распределение ТМ обусловлено рядом факторов: динамическим химическим равновесием между компонентами почвы [8], физико-химическими свойствами жидкой фазы [9; 10], особенностями водной и биогенной миграции ТМ [11].

Учитывая высокую пространственную неоднородность и временную динамику почвенного компонента техногенных экосистем, оценка интенсивности миграционных процессов ТМ в почвах позволит моделировать устойчивые почвенные конструкции с оптимальным набором факторов ограничивающих миграцию ТМ.

Качественная и количественная оценка протекторных функций различных типов почв Курска позволит приблизиться к решению важнейших практических задач по созданию экологически безопасной городской среды в региональном центре. При разработке и создании почвенных конструкций городских ландшафтов необходимо учитывать не только свойства почв, благоприятствующие вегетации тех или иных видов растений, но и рассматривать моделируемую почвенную конструкцию как динамичную систему, депонирующую и обезвреживающую поступающие поллютанты, в том числе ТМ. Получение большого количества фактических данных о почвенных механизмах детоксикации загрязнений ТМ придаст импульс для разработки и принятия управленческих решений по формированию экологически устойчивых конструкторских экосистем.

Целью работы являлась лабораторная оценка особенностей пространственного распределения и миграции тяжелых металлов в модельных профилях почв различного генезиса по изменению электрокинетических свойств в почвенных растворах.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследовались фоновые ненарушенные почвы лесопарковых ландшафтов и материковых пойменных лугов Курской агломерации. Опыт проводился в лабораторных условиях. Исследовалась краткосрочная временная динамика вертикального распределения и миграции внесенных ТМ в модельных почвенных колонках, являющихся имитациями почвенных профилей. Структура моделей лабораторных почвенных колонок представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Схема моделей почвенных колонок (профилей)**Table 1.** Diagram of soil column models (profiles)

№ п/п	Тип почвы, локализация Soil type, location	Модель почвенного профиля / Model Soil profile			Вносимые вещества Introduced substances
		Слой 1 / Layer 1	Слой 2 / Layer 2	Слой 3 / Layer 3	
1	Дерново-подзол песчаный иллювиально- железистый, урочище «Горелый лес» Sod-podzols illuvial- ferruginous, forest park: Gorelii forest	Горизонт АУ гран. состав – песчаный, гумус – 1,7%, pH – 3,2, насыпная плотность – 1,2 г/см <sup>3</sup> / Horizon АУ granulometric texture – sand, humus – 1,7%, pH – 3,2, bulk	Горизонт Е гран. состав – песчаный, гумус – 0,6%, pH – 3,9, насыпная плотность – 1,5 г/см <sup>3</sup> / Horizon Е granulometric texture – sand, humus – 0,6%, pH – 3,9, bulk density	Горизонт Вf гран. состав – песчаный, гумус – 0,1%, pH – 4,6, насыпная плотность – 1,5 г/см <sup>3</sup> / Horizon Вf granulometric texture – sand, humus – 0,1%, pH – 4,6, bulk	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> контроль (дист. вода) background (distilled water)

2	Аллювиально- пойменная глееватая, пойма реки Сейм Alluvial gleyic soil, Floodplain of Seim river	density – 1,2 g/cm <sup>3</sup> Горизонт АУ гран. состав – среднесуглинистый, гумус – 2,0%, рН – 6,1, насыпная плотность – 1,1 г/см <sup>3</sup> / Horizon AU granulometric texture – medium loam, humus – 2,0%, рН – 6,1, bulk density – 1,1 g/cm <sup>3</sup>	– 1,5 g/cm <sup>3</sup> Горизонт АЕЛ гран. состав – легкосуглинистый, гумус – 0,8%, рН – 6,3, насыпная плотность – 1,3 г/см <sup>3</sup> / Horizon AEL granulometric texture – light loam, humus – 0,8%, рН – 6,3, bulk density – 1,3 g/cm <sup>3</sup>	density – 1,5 g/cm <sup>3</sup> Горизонт Вg гран. состав – тяжелосуглинистый, гумус – 0,3%, рН – 6,5, насыпная плотность – 1,3 г/см <sup>3</sup> / Horizon Bg granulometric texture – clay loam, humus – 0,3%, рН – 6,5, bulk density – 1,3 g/cm <sup>3</sup>	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> контроль (дист. вода) background (distilled water)
3	Чернозем выщелоченный, лесомелиоративная полоса в южной части пригорода Курска Leached Chernozem, a forest melioration strip in the southern part of the Kursk suburbs	Горизонт АУ гран. состав – среднесуглинистый, гумус – 5,8%, рН – 6,6, насыпная плотность – 1,1 г/см <sup>3</sup> / Horizon AU granulometric texture – medium loam, humus – 5,8%, рН – 6,6, bulk density – 1,1 g/cm <sup>3</sup>	Горизонт АВ гран. состав – среднесуглинистый, гумус – 2,9%, рН – 6,6, насыпная плотность – 1,1 г/см <sup>3</sup> / Horizon AB granulometric texture – medium loam, humus – 2,9%, рН – 6,6, bulk density – 1,1 g/cm <sup>3</sup>	Горизонт Всаh гран. состав – среднесуглинистый, гумус – 0,5%, рН – 6,9, насыпная плотность – 1,2 г/см <sup>3</sup> / Horizon Всаh granulometric texture – medium loam, humus – 0,5%, рН – 6,9, bulk density – 1,2 g/cm <sup>3</sup>	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> контроль (дист. вода) background (distilled water)
4	Темно-серая типичная, урочище «Знаменская роща» Dark-grey typical soil, forest park : Znamen-skaya Grove	Горизонт АУ гран. состав – среднесуглинистый, гумус – 4,5%, рН – 5,2, насыпная плотность – 1,1 г/см <sup>3</sup> / Horizon AU granulometric texture – medium loam, humus – 4,5%, рН – 5,2, bulk density – 1,1 g/cm <sup>3</sup>	Горизонт АВ гран. состав – среднесуглинистый, гумус – 1,3%, рН – 5,9, насыпная плотность – 1,2 г/см <sup>3</sup> / Horizon АВ granulometric texture – medium loam, humus – 1,3%, рН – 5,9, bulk density – 1,2 g/cm <sup>3</sup>	Горизонт Вh гран. состав – среднесуглинистый, гумус – 0,3%, рН – 4,0, насыпная плотность – 1,2 г/см <sup>3</sup> / Horizon Вh granulometric texture – medium loam, humus – 0,3%, рН – 4,0, bulk density – 1,2 g/cm <sup>3</sup>	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> контроль (дист. вода) background (distilled water)

Предварительно просеянные через сито 2 мм воздушно-сухие образцы почв помещались в плотные полиэтиленовые сосуды диаметром 8 см. Мощность каждого моделируемого генетического горизонта составляла 6 см. В почвенные колонки с интервалом в 2 см устанавливались электроды из нержавеющей стали сечением 0,75 мм.

В опыте произведена попытка воссоздания климатического сценария июля 2018 года, при котором на территории Курска за 2 недели выпало около 180 мм осадков. При проведении лабораторного опыта моделируемые осадки распределялись неравномерно – 1-8 сутки – 80%, 9-12 сутки – 20%. Монометаллическое загрязнение почв осуществлялось путем ежедневного внесения растворенных Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в суммарных дозах, соответствующих 4 ПДК по каждому ТМ. Контрольные почвенные колонки поливались равными объемами дистиллированной воды (табл. 1).

Ежесуточно после полива почвенных колонок послойно замерялось электрическое сопротивление с использованием аналогового омметра. Производился расчет электропроводности (ЕС) для каждого слоя. Динамику миграции ТМ и их распределение в системе «почва – раствор ТМ» оценивали по отклику электрокинетических кривых  $EC_{загр}/EC_{контроль} = y(x, t)$ , полученных на загрязненных (ЕС<sub>загр</sub>) и незагрязненных (ЕС<sub>контроль</sub>) моделях почвенного профиля, т.е. по характеристике изменения содержания ионных форм металлов в равновесном почвенном растворе по глубине (x) и по времени (t) [7].

Способность почв к извлечению ионов свинца и цинка из вносимого загрязненного фильтрационного раствора оценивали по отношению величин удельного электрического сопротивления (R) элюентов (лизиметрических вод) незагрязненного (контрольного) модельного почвенного профиля (R<sub>контроль</sub>) к загрязненному (R<sub>загр</sub>) на 12 сутки опыта.

Диагностика и классификация почв проводились согласно современным представлениям [12; 13]. Отбор проб почв проводился согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. При обработке данных по электропроводности применяли методы математической статистики и использовали средства пакета Microsoft Office Excel.

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

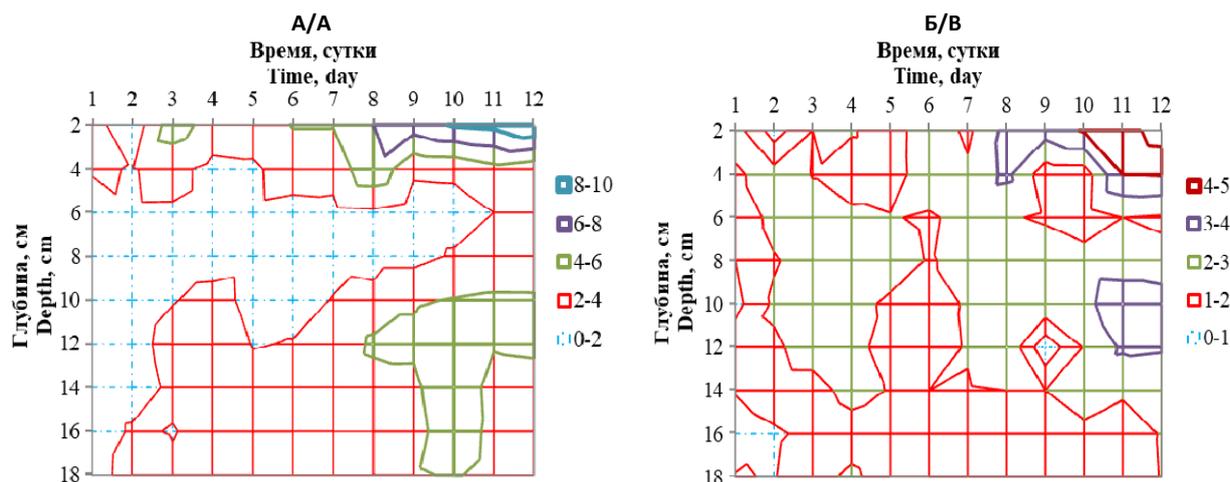
Подзол песчаный иллювиально-железистый имел преимущественно аккумулятивный характер распределения Zn. В течение всего расчетного периода исследования концентрация ионов Zn в почвенном растворе горизонта АУ (0-6 см) возрастала и на 10-12 сутки достигала своего максимума в слое 0-2 см. В подзолистом горизонте Е формировалась зона выноса элемента, где загрязнение равновесного почвенного раствора минимально или вовсе отсутствует. Постепенное увеличение количества Zn в почве, происходящее в результате его ежедневного внесения с поливающим раствором, а также уменьшение интенсивности промывного режима на 8 сутки приводило к образованию в иллювиально-железистом модельном горизонте подзола песчаного зоны загрязнения. Это обусловлено резкой контрастной сменой почвенных параметров модельного профиля,

тормозящих миграцию ТМ (повышение  $pH_{KCl}$  и содержания железистых минералов (рис. 1А).

При загрязнении почв свинцом его концентрации в почвенном растворе модельной почвенной колонки повышались по всему профилю. Отчетливых зон выноса элемента не наблюдалось. В течение первых двух суток ионы свинца достигали нижней границы модельного почвенного профиля (18 см). Более значимому загрязнению подвергались гумусово-аккумулятивный и подзолистый горизонты. При снижении интенсивности промывного режима в 8-12 сутки экспозиции опыта, отмечался стабильный рост загряз-

нения почвенного раствора гумусово-аккумулятивного горизонта ионами  $Pb^{2+}$ , на 10-12 сутки фиксировался рост загрязненности почвенного раствора уже на границе подзолистого и иллювиально-железистого горизонтов (рис. 1А).

В динамике, для изучаемого типа почв при исследуемом уровне загрязнения и объеме промывного режима характерна отчетливая вертикальная миграция свинца и цинка, интенсивность которой пропорциональна количеству поступающих в почву поллютантов (Pb, Zn) (рис. 1).



**Рисунок 1.** Временная динамика и пространственное распределение подвижных форм тяжелых металлов в модельном профиле дерново-подзола песчаного иллювиально-железистого (AY–E–B), загрязненного раствором  $Zn(NO_3)_2$  – (А), раствором  $Pb(NO_3)_2$  – (Б)

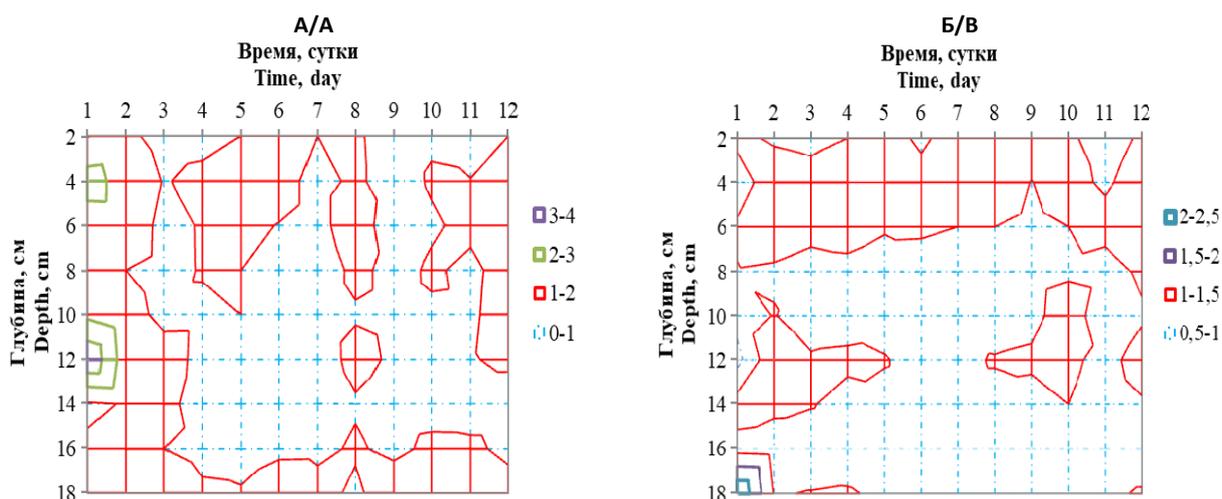
**Figure 1.** The temporal dynamics and spatial distribution of mobile forms of heavy metals in the model profile of sod-podzol illuvial-ferruginous soil (AY – E – B) contaminated with  $Zn(NO_3)_2$  – (A) solution,  $Pb(NO_3)_2$  – (B) solution

В модельном почвенном профиле иллювиально-пойменной глееватой среднесуглинистой почвы в течение первых трех суток загрязнение Zn охватывало все горизонты, формируя небольшие зоны аккумуляции ионов на границах модельных горизонтов AU/ABEL и ABEL/Bg. Это может объясняться перераспределением ионов цинка между жидкой и твердой фазой, происходящей за счет резкой смены факторов сорбции металла на геохимических барьерах. При дальнейшем увеличении количества Zn в почве формируется 2 зоны загрязнения. В большей степени металл накапливается в гумусово-аккумулятивном горизонте (0-6 см) и верхнем слое гумусово-элювиального горизонта (6-8 см), под которыми проявляется зона выноса металла. Вторая зона загрязнения располагалась в нижнем слое оглееного иллювиального горизонта. Аккумуляция цинка в указанных зонах происходила за счет сорбции металла органическим веществом почв в горизонте AU, а также за счет изменения окислительно-восстановительных условий и сорбции на глинистых минералах в горизонте Bg. Вынос элемента в горизонте ABEL объясняется более легким гранулометрическим составом и, соответственно, высокой скоростью фильтрации вносимых растворов (рис. 2А).

Свинец в данном варианте опыта проявлял себя как исключительный органофил – элемент, обладающий высокой степенью сродства к сорбции на гумусовом геохимическом барьере. На протяжении всего расчет-

ного периода исследования основная часть внесенного загрязняющего элемента депонировалась в гумусово-аккумулятивном горизонте. Однако наблюдалась некоторая «разгрузка» сорбционных центров темного гумусового горизонта (AU), в результате которой массы металла выносились в нижележащие горизонты формируя там временные «островки» загрязнения в 1, 2-5 и 9-11 сутки (рис. 2Б).

Чернозем выщелоченный среднесуглинистый в модельных условиях проявлял значительную способность к сорбции загрязняющих элементов Pb и Zn и имел однотипные характеристики распределения изучаемых ионов в модельном почвенном профиле. Отклик электрокинетических кривых изучаемых ТМ свидетельствовал о формировании незагрязненной зоны в гумусово-аккумулятивном горизонте, что, по-видимому, обусловлено относительно высоким содержанием (5,8%) и качественным составом гумуса. Поступающие в почву ТМ, вероятно, прочно закреплялись органическим веществом горизонта AU чернозема выщелоченного в результате образования комплексных соединений ионов ТМ с гуминовыми веществами. Загрязнение почвенного раствора свинцом и цинком охватывало генетические горизонты АВ и Vcah. Также на границе данных горизонтов в 8 и 10 сутки расчетного периода формировалась зона выноса Pb и Zn, что обусловлено резкой сменой кислотно-основных условий (повышение  $pH_{KCl}$ ) в иллювиальном горизонте (рис. 3А, Б).

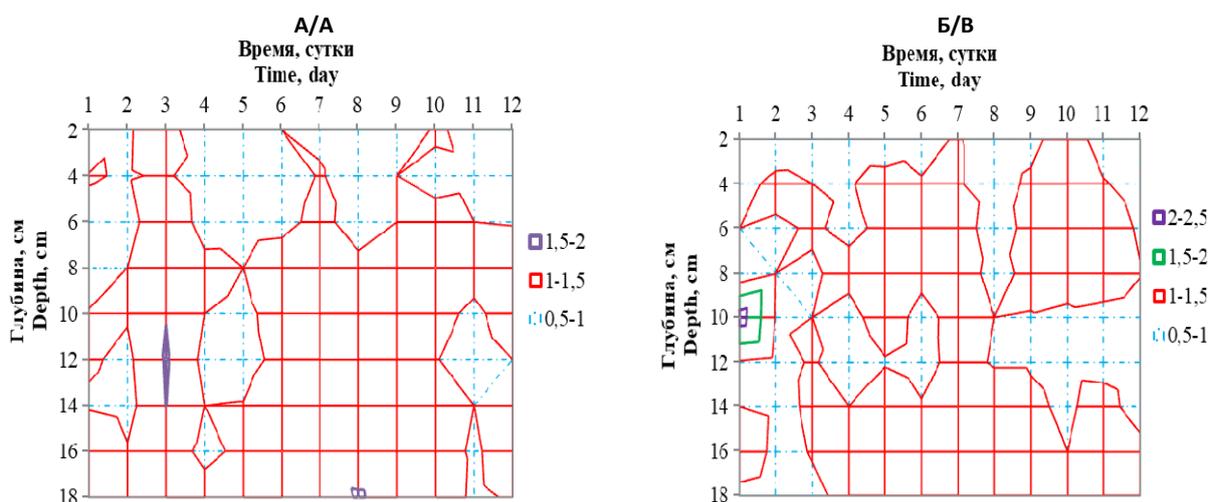


**Рисунок 2.** Временная динамика и пространственное распределение подвижных форм тяжелых металлов в модельном профиле аллювиально-пойменной глееватой среднесуглинистой почвы (AU–AEI–Bg), загрязненного раствором  $Zn(NO_3)_2$  – (A) раствором  $Pb(NO_3)_2$  – (B)

**Figure 2.** Temporal dynamics and spatial distribution of mobile forms of heavy metals in the model profile of alluvial gleyic medium loamy soil (AU – AEI – Bg) contaminated with a solution of  $Zn(NO_3)_2$  – (A) with a solution of  $Pb(NO_3)_2$  – (B)

Чернозем выщелоченный среднесуглинистый в модельных условиях проявлял значительную способность к сорбции загрязняющих элементов Pb и Zn и имел однотипные характеристики распределения изучаемых ионов в модельном почвенном профиле. Отклик электрокинетических кривых изучаемых ТМ свидетельствовал о формировании незагрязненной зоны в гумусоаккумулятивном горизонте, что, по-видимому, обусловлено относительно высоким содержанием (5,8%) и качественным составом гумуса. Поступающие в почву

ТМ, вероятно, прочно закреплялись органическим веществом горизонта AU чернозема выщелоченного в результате образования комплексных соединений ионов ТМ с гуминовыми веществами. Загрязнение почвенного раствора свинцом и цинком охватывало генетические горизонты AB и Bcah. Также на границе данных горизонтов в 8 и 10 сутки расчетного периода формировалась зона выноса Pb и Zn, что обусловлено резкой сменой кислотно-основных условий (повышение  $pH_{KCl}$ ) в иллювиальном горизонте (рис. 3А, Б).



**Рисунок 3.** Временная динамика и пространственное распределение подвижных форм тяжелых металлов в модельном профиле чернозема выщелоченного среднесуглинистого (AU–AB–Bcah), загрязненного раствором  $Zn(NO_3)_2$  – (A) раствором  $Pb(NO_3)_2$  – (B)

**Figure 3.** The temporal dynamics and spatial distribution of mobile forms of heavy metals in the model profile of leached chernozem medium loamy soil (AU – AB – Bcah) contaminated with  $Zn(NO_3)_2$  – (A) solution with  $Pb(NO_3)_2$  – (B) solution

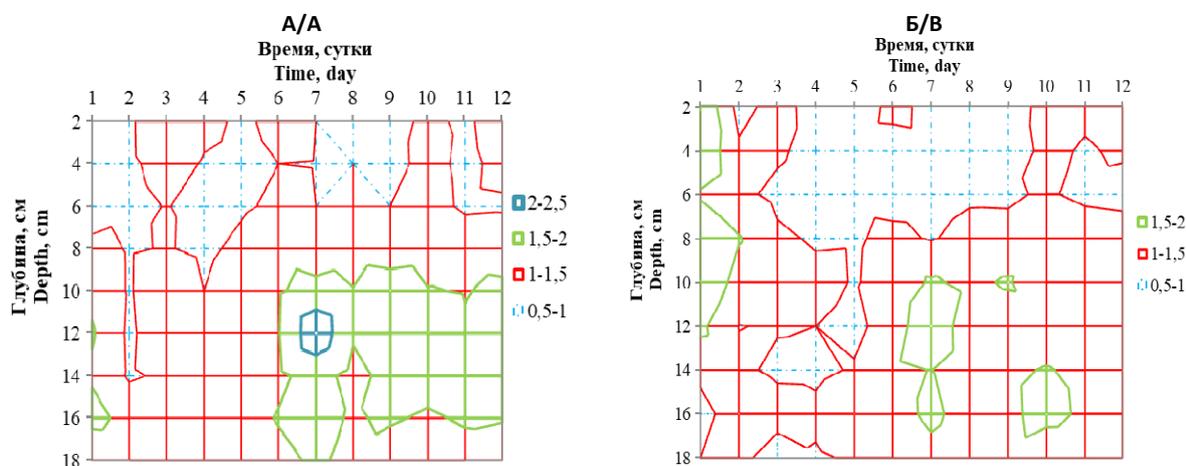
Темно-серая типичная почва имела более высокую кислотность среды ( $pH_{KCl}=5,2$ ) по сравнению с черноземом при содержании гумуса 4,5%. В условиях модельного загрязнения в темно-гумусовом горизонте возникла нестабильность в распределении ионов цинка и свинца между жидкой и твердой фазой почвы, что отражается чередованием периодов загрязнения/не загрязнения гумусово-аккумулятивных горизонтов на пространственно-временных диаграммах (рис. 4А, 4В).

Отчетливо-выраженная зона аккумуляции Zn возникает в горизонте Vt уже на 6 сутки экспозиции опыта. Стоит отметить, что при снижении интенсивности промывного режима «размазанность» зоны загрязнения снижается и составляет мощность 10-16 см. На 6 сутки зона загрязнения охватывала глубину модельного почвенного профиля с 9 до 18 см и имела локально-

повышенный отклик на границе горизонтов АВ–Вh (рис. 4А). Зоны аккумуляции свинца дискретны, их возникновения эфимерны и локализованы в горизонтах АВ и Вh.

При анализе отклика удельного электрического сопротивления лизиметрических вод контрольных и загрязненных почв установили, что модельный профиль темно-серой типичной почвы отличался наименьшей способностью к извлечению ионов свинца из загрязненного почвенного раствора (табл. 2).

Наименьшая сорбционная способность по отношению к цинку характерна для профиля дерново-подзола песчаного иллювиально-железистого. Максимальная способность закреплять изучаемые ТМ (Zn, Pb) выявлялась у чернозема выщелоченного среднесуглинистого (табл. 2).



**Рисунок 4.** Временная динамика и пространственное распределение подвижных форм тяжелых металлов в профиле темно-серой типичной среднесуглинистой почвы (AU–AB–Bh), загрязненного раствором  $Zn(NO_3)_2$  – (А) раствором  $Pb(NO_3)_2$  – (Б)

**Figure 4.** Temporal dynamics and spatial distribution of mobile forms of heavy metals in the profile of dark-gray typical medium loamy soil (AU – AB–Bh) contaminated with a solution of  $Zn(NO_3)_2$  – (A) with a solution of  $Pb(NO_3)_2$  – (B)

**Таблица 2.** Зависимость отношения величин удельного электрического сопротивления (R) элюентов (лизиметрических вод) не загрязненного (контрольного) модельного почвенного профиля ( $R_{\text{контроль}}$ ) к загрязненному ( $R_{\text{загрязнение}}$ ) от типа почв

**Table 2.** The dependence of the ratio of the values of electrical resistivity (R) of eluents (lysime tric waters) not contaminated (background) model soil profile ( $R_{\text{background}}$ ) to polluted ( $R_{\text{contamination}}$ ) on the soil type

Элемент Element	Дерново-подзол-песчаный иллювиально-железистый Sod-podzols illuvial-ferruginous	Аллювиально-пойменная глееватая среднесуглинистая Alluvial gleyic medium loamy soil	Чернозем выщелоченный среднесуглинистый Leached chernozem medium loamy soil	Темно-серая типичная среднесуглинистая Dark-gray typical medium loamy soil
Zn	5,2	3,1	1,8	4,7
Pb	1,8	1,7	1,4	2

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика и кинетика свинца и цинка в рассмотренных почвах Курской агломерации имеют существенные отличия и зависят от ряда почвенных факторов. Определяющим условием снижения миграции и закрепления ТМ является оптимальное сочетание почвенных факторов – содержание органического вещества, кислотно-основные условия, гранулометрический состав. В

изучаемых почвах характер пространственного распределения и интенсивность миграции свинца и цинка была обусловлена показателями емкости и контрастности внутрипочвенных геохимических барьеров. Накопление ТМ, а, следовательно, и торможение процессов вертикальной миграции Pb и Zn в почвах изучаемых модельных профилей отмечается как в гумусированных гумусово-аккумулятивных генетических горизонтах, так

и в минеральных горизонтах с высокой контрастностью кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий. Зоны выноса свинца и цинка формируются при значимом укрупнении гранулометрического состава и снижении показателя  $pH_{КСД}$ .

Загрязненность лизиметрических вод характеризует способность почвенного профиля извлекать ТМ из почвенного раствора и закреплять их на твердой фазе почв. По качеству выполнения протекторной функции и способности препятствовать миграции свинца почвы Курской агломерации, рассмотренные в данной работе, располагаются в убывающем ряду – чернозем выщелоченный > аллювиально-пойменная глееватая почва > дерново-подзол песчаный иллювиально-железистый > темно-серая типичная почва. По способности препятствовать миграции цинка – чернозем выщелоченный > аллювиально-пойменная глееватая почва > темно-серая типичная почва > дерново-подзол песчаный иллювиально-железистый.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4086.2018.5.

#### ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out with support of a Grant of the President of the Russian Federation for Young Russian Scientists – Candidates of Sciences МК-4086.2018.5.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Шоба С.А., Яковлев А.С., Рыбальский Н.Г. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. М.: НИИ-Природа, 2013. 310 с.
- Неведров Н.П., Проценко Е.П., Фомина М.Ю. Экологическая оценка почв ландшафтно-геохимических катен Сеймского округа г. Курска // Экология урбанизированных территорий. 2017. N 3. С. 18-26.
- Langer M. The role of geological barrier in waste disposal projects // Proc. Int. Symp. on Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece, 23-27 June 1997. A.A. Balkema, 2001. V. 4. P. 3617-3635.
- Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) // Environmental Pollution. 2003. V. 124. Iss. 2. P. 247-256. DOI: 10.1016/S0269-7491(02)00478-5
- Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Glebova I.V. The relationship between bulk and mobile forms of heavy metals in soils of Kursk // Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. P. 112-119. DOI: 10.1134/S106422931801012X
- Неведров Н.П. Количественная оценка состояния внутрипочвенных геохимических мезобарьеров города Курска // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 4. С. 97-107. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-97-107
- Груздков Д.Ю., Ширкин Л.А., Трифонова Т.А. Оценка миграции тяжелых металлов в почвах // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2009. N 4. С. 40-45
- Alloway B.J., Ayres D.C. Chemical principles of environmental pollution. Oxford, 1993. 293 p.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрейя-2000, 1999. 763 с.
- Vernet J.P. Heavy metals in the environment. N.Y., 1991. 379 p.
- Трегубов О.Д. Геохимические барьеры в почвах и ландшафтах анадырской тундры // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. N 3. С. 70-79.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Ойкумена, 2004. 342 с.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. М.: Почвенный ин-т им В.В. Докучаева, 2014. 768 с.

#### REFERENCES

- Shoba S.A., Yakovlev A.S., Rybalsky N.G. *Ekologicheskoe normirovanie i upravlenie kachestvom pochv i zemel'* [Ecological standardization and quality management of soils and lands]. Moscow, NIA-Nature Publ., 2013, 310 p. (In Russian)
- Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Fomina M.Yu. Ecological assessment of soils in the landscape-geochemical catena of the Seimsky district of Kursk. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii* [Ecology of Urban Areas]. 2017, no. 3, pp. 18-26. (In Russian)
- Langer M. The role of geological barrier in waste disposal projects. Proc. Int. Symp. on Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece, 23-27 June 1997. A.A. Balkema, 2001, vol. 4, pp. 3617-3635.
- Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution*, 2003, vol. 124, iss. 2, pp. 247-256. DOI: 10.1016/S0269-7491(02)00478-5
- Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Glebova I.V. The relationship between bulk and mobile forms of heavy metals in soils of Kursk. *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, pp. 112-119. DOI: 10.1134/S106422931801012X
- Nevedrov N.P. Quantitative assessment of the condition of subsoil geochemical mesobarriers in Kursk. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 97-107. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-97-107
- Gruzdkov D.Yu., Shirkin L.A., Trifonova T.A. Estimation of heavy metals migration. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie* [Moscow University Bulletin. Series 17, Soil science]. 2009, no. 4, pp. 40-45. (In Russian)
- Alloway B.J., Ayres D.C. Chemical principles of environmental pollution. Oxford, 1993, 293 p.
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999, 763 p. (In Russian)
- Vernet J.P. Heavy metals in the environment. N.Y., 1991, 379 p.
- Tregubov O.D. Geochemical barriers in soils and landscapes of the Anadyr tundra. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5, Geografia* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]. 2017, no. 3, pp. 70-79. (In Russian)

12. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Soil classification and diagnostics in Russia]. Oikumena, 2004, 342 p. (In Russian)

13. *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0* [Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0]. Moscow, Soil Institute named after V.V. Dokuchaev Publ., 2014, 768 p. (In Russian)

#### **КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Николай П. Неvedров выполнил все полевые и лабораторные исследования, написал статью. Автор несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### **КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Nikolay P. Nevedrov has undertaken all field and laboratory researches and has written the article. The author are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

#### **NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The author states that there is no conflict of interest.

#### **ORCID**

Николай П. Неvedров / Nikolay P. Nevedrov <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 331.95(470.630)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-69-78

# Прогнозно-картографическое моделирование продуктивности пастбищ Волгоградской области на основе данных дистанционного зондирования

Станислав С. Шинкаренко<sup>1,2</sup> , Ольга Ю. Кошелева<sup>2</sup>, Денис А. Солодовников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, Россия

## Контактное лицо

Станислав С. Шинкаренко, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры географии и картографии Волгоградского государственного университета, научный сотрудник Федерального научного центра агроэкологии РАН; 400062 Россия, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100. Тел. +7(8442)461639  
Email [shinkarenko@volsu.ru](mailto:shinkarenko@volsu.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

## Формат цитирования

Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А. Прогнозно-картографическое моделирование продуктивности пастбищ Волгоградской области на основе данных дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 69-78. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-69-78

Получена 22 июля 2019 г.

Прошла рецензирование 10 октября 2019 г.

Принята 15 ноября 2019 г.

## Резюме

**Цель.** Работа направлена на определение тенденций в динамике продуктивности пастбищных ландшафтов Волгоградской области. Определение направления трендов и величин коэффициентов пропорциональности позволяет выявить территории, на которых увеличивается или снижается продуктивность естественной зональной растительности с 2000 года по настоящее время.

**Материал и методы.** Определение продуктивности пастбищ основывается на анализе вегетационного индекса NDVI, широко применяемого в подобных исследованиях. Для анализа естественных зональных пастбищ территории были вычленены по данным Global Land Cover, разбиты регулярной сеткой и пересечены слоями-масками с границами муниципальных образований и ландшафтов.

**Результаты.** Наибольшие площади естественных зональных пастбищ находятся в Заволжье и на песчаных массивах долины Дона. Около 60% пастбищных земель имеют средневзвешенные среднемноголетние значения NDVI от 0,3 до 0,4, примерно четверть – от 0,4 до 0,5. На большей части области характерны отрицательные тренды NDVI. Наибольшая скорость деградации отмечена в Заволжье. Это связано с большими пастбищными нагрузками, чем на территории остальной области, а также с регулярными степными пожарами.

**Заключение.** В результате исследований определены тенденции изменения продуктивности зональных пастбищ Волгоградской области, выявлены территории с разным направлением и скоростью динамики NDVI. Применение результатов на практике позволит прогнозировать продуктивность пастбищ в различных муниципальных районах и ландшафтах области, что даст возможность правильно регулировать нагрузки на пастбища для предотвращения деградации.

## Ключевые слова

Пастбища, животноводство, ГИС, дистанционное зондирование, моделирование, NDVI, прогноз, картографирование.

# Forecast-Cartographic Modeling of Pasture Production of the Volgograd Region Based on Remote Sensing

Stanislav S. Shinkarenko<sup>1,2</sup> , Olga Yu. Kosheleva<sup>2</sup> and Denis A. Solodovnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geography and Cartography, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Russia

<sup>2</sup>Federal Research Centre for Agroecology, Integrated Land Improvement and Protective Agroforestry, Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

## Principal Contact

Stanislav S. Shinkarenko, Cand. Agri. Sciences, Associate Professor, Department of Geography and Cartography, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University. Researcher, Federal Research Centre for Agroecology, Integrated Land Improvement and Protective Agroforestry, Russian Academy of Sciences; 100 Prospekt Universitetskiiy, Volgograd, 400062 Russia. Tel. +7(8442)461639  
Email [shinkarenko@volsu.ru](mailto:shinkarenko@volsu.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

## How to cite this article

Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A. Forecast-cartographic modeling of pasture production of the Volgograd region based on remote sensing. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 69-78. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-69-78

Received 22 July 2019

Revised 10 October 2019

Accepted 15 November 2019

## Abstract

**Aim.** The work is devoted to identifying the productivity of pasture landscapes in the Volgograd region. The aim was to determine the direction of trends and the values of the coefficients of proportionality which would permit the definition of areas where the productivity of natural zonal vegetation has increased or decreased from 2000 until today.

**Material and Methods.** Pasture productivity assessment is based on the analysis of the NDVI vegetation index, which is widely used in such studies. For analysis, specific pasture areas were identified in accordance with Global Land Cover, divided into regular grids and given overlays corresponding with the boundaries of municipalities and landscapes.

**Results.** The largest areas of natural zonal pastures are located in the Trans-Volga region and on the sandy massifs of the Don River valley. About 60% of pasture land has an average weighted average long-term NDVI value from 0.3 to 0.4, and approximately a quarter – from 0.4 to 0.5. In most parts of the region there are negative NDVI trends. The highest rate of degradation is noted in the Trans-Volga region. This is associated with larger pasturing loads than in the rest of the region, as well as with the regular occurrence of steppe fires.

**Conclusion.** In summation: the productivity trends of zonal pastures in the Volgograd region have been determined, as have areas with different NDVI directions and dynamics. The application of these results in practice should make it possible to predict pasture productivity in various municipal districts and landscapes of the region, and thus assist in the regulation of pasture loads and the mitigation of risks of vegetation degradation.

## Key Words

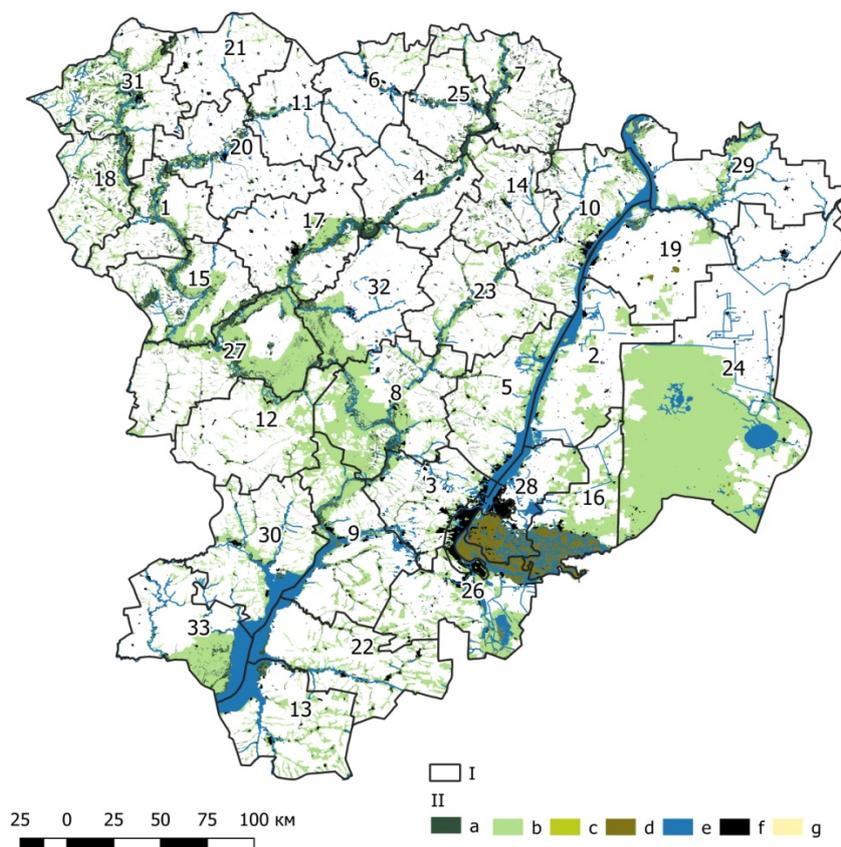
Pastures, livestock, GIS, remote sensing, modeling, NDVI, forecast, mapping.

**ВВЕДЕНИЕ**

Традиционно пастбищное природопользование занимает важное место в регионах с недостаточным увлажнением [1]. Волгоградская область расположена в субгумидном и субаридном поясах [2]. Территория региона очень разнообразна в ландшафтном отношении из-за существенных различий гидротермических условий, при этом аридность климата нарастает по направлению северо-запад – юго-восток [3]. Геосистемы правобережной части области представлены типично-степными ландшафтами на северо-западе области до полупустыни на юго-востоке с интразональными ландшафтами речных пойм и бессточных озерных котловин. Заволжье располагается на территории Прикаспийской низменности и представляет морскую аккумулятивную равнину, усложненную отрицательными формами мезо- и микрорельефа, соляно-купольными поднятиями и сопряженными с ними компенсационными мульдами, что повлекло за собой комплексность почвенного покрова и мозаичность растительности [4]. Растительность различных ландшафтов по-разному реагирует на климатические изменения и антропогенные нагрузки, характерные для последних десятилетий [5; 6]. Выявление тенденций в динамике состояния естественных пастбищ является очень важной задачей, решение которой позволит прогнозировать продуктивность пастбищных ландшафтов, регулировать нагрузки в соответствии с емкостью пастбищ [7].

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для прогноза продуктивности растительности естественных зональных пастбищ, определения коэффициентов трендов, а также расчета величин различной обеспеченности, необходимо опираться на многолетний ряд количественных характеристик, например, проективного покрытия и фитомассы [8; 9]. Определение этих показателей предполагает проведение геоботанических описаний и укосов на пробных площадях. Однако это достаточно трудоемко и затратно, а проведение ретроспективного анализа затруднено [10]. По этим причинам продуктивность растительности оценивалась по значениям NDVI. Индекс NDVI коррелирует с площадью листовой поверхности, проективным покрытием и продуктивностью растительности и получил широкое распространение в исследованиях состояния агроландшафтов по материалам дистанционного зондирования [11; 12]. Пастбищные земли Волгоградской области выделялись по данным проекта Global land cover с разрешением 30 метров, основанным на спутниковых данных Landsat аналогичного разрешения [13]. Исходный растр был преобразован в векторный формат и классифицирован по атрибутам типа категории земель: застроенные территории, опустыненные земли, пашни, леса, пастбища, водные объекты, водно-болотные угодья (рис. 1).



**Рисунок 1.** Распределение земель различных категорий в естественных ландшафтах по данным GLC30. I – границы районов, II – Категории земель (a – лес; b – пастбища; c – пастбища закустаренные; d – водно-болотные угодья; e – водные объекты; f – застроенные территории; g – опустыненные земли), 1-33 – номера районов (табл. 1)  
**Figure 1.** Distribution of land of various categories in natural landscapes according to GLC30. I – district boundaries, II – Land categories (a – Forest; b – Grassland; c – Shrubland; d – Wetland; e – Bodies of water; f – Built-up areas; g – Bare land), 1-33 – numbers of individual districts (table 1)

В изучаемых ландшафтах отмечена близкая к линейной связь проективного покрытия растительности и соответствующих значений NDVI. Таким образом, обеспеченность пастбищных комплексов фитомассой может быть определена на основе многолетнего ряда вегетационного индекса, рассчитываемого по материалам дистанционного зондирования. Кроме пастбищных нагрузок, на состояние растительности в значительной степени влияют условия увлажнения. Как показали проведенные ранее исследования, гидротермические условия, особенно осадки за холодное полугодие и весну, являются определяющими для продуктивности зональных пастбищных ландшафтов [14]. Поэтому снижение NDVI на фоне роста увлажнения может служить свидетельством роста антропогенных нагрузок. И наоборот, при росте NDVI в условиях уменьшения сумм осадков можно говорить о восстановлении растительности в результате пастбищных сукцессий.

Источником данных в работе послужил информационный продукт MOD13Q1 NDVI за 2000-2018 годы (средние за вегетационный сезон данные: 7 апреля – 16 октября). Данные были предварительно перепроцированы из синусоидальной проекции в UTM и сконвертированы в формат GeoTIF. Слой с границами пастбищ был разбит регулярной сеткой 5x5 км. Методами зональной статистики для каждого объекта слоя, полученного на предыдущем этапе, были рассчитаны среднегодовые значения NDVI за 2000-2018 год. Далее методом наименьших квадратов определены коэффициенты линейного тренда для каждого объекта. Также сетка со значениями NDVI была пересечена слоями-масками с границами административных районов и родов ландшафтов [15], что позволило провести статистический анализ распределения NDVI в разрезе муниципальных районов и ландшафтных единиц. Анализ динамики осадков выполнен на основе архива метеоданных CRU TS [16]. Геоинформационная обработка осуществлялась в программе QGIS версий 2.18 и 3.2. В качестве базовой карты для ГИС использованы слои Open Street Map. Статистическая обработка выполнена в программе MS Excel.

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате группировки пастбищных земель по муниципальным районам получены данные по площадям пастбищ с различными среднесезонными значениями вегетационного индекса (табл. 1). Наименее продуктивные пастбища расположены в Палласовском

районе области – 46,5% пастбищ области с NDVI 0,4-0,5 и 45% с NDVI 0,3-0,4 приходится на эту территорию. На территории других районов эта категория пастбищных земель представлена в Иловлинском (28,3% и 7% соответственно) и Калачевском (10,4% и 4%) районах. Относительно низкая продуктивность компенсируется здесь большими площадями. Пастбища с NDVI 0,4-0,6 распределены более равномерно: от 3% до 7% на район. Наиболее продуктивные пастбища расположены на северо-западе и западе области, но имеют маленькую площадь из-за высокой доли пашни в структуре агроландшафтов. В Урюпинском районе расположено более 20% пастбищ с NDVI более 0,5, еще от 7 до 15% в Нехаевском, Кумылженском, Алексеевском и Серафимовичском районах.

Интерес представляет распределение пастбищ по продуктивности внутри каждого района. В районах Заволжья преобладают земли с NDVI 0,3-0,4: Ленинский – 94%, Палласовский – 97%, Среднеахтубинский – 92%, Быковский – 75%. Также значительные площади с такой продуктивностью расположены в Дубовском (58%), Городищенском (48%), Иловлинском (54%), Калачевском (60%), Котельниковском (67%), Фроловском (55%), Серафимовичском (51%) и Чернышковском (47%) районах. Значения NDVI 0,4-0,5 наиболее характерны для Городищенского (50%), Даниловского (52%), Дубовского (41%) Камышинского (70%), Клетского (57%), Котовского (61%), Кумылженского (39%), Михайловского (40%), Николаевского (57%), Ольховского (63%), Старополтавского (66%) и Суровикинского (71%) районов. Наиболее продуктивные территории с NDVI более 0,5 характерны для северных районов области: Еланского, Жирновского, Киквидзенского, Нехаевского, Новоаннинского, Новониколаевского и Урюпинского.

Большая часть земель с NDVI 0,2-0,3 относится к типично-степным аллювиально-аккумулятивным ландшафтам, отсюда относительно более низкая продуктивность растительности (например, на Придонских песчаных массивах). Половина всех пастбищ с NDVI 0,3-0,4 относятся к полупустынным морским аккумулятивным равнинам Заволжья. На долю сухостепных лессовых аккумулятивно-денудационных ландшафтов приходится 22% земель с NDVI 0,4-0,5, столько же пастбищ этой категории продуктивности относится к сухостепным ландшафтам смешанного происхождения и типично-степным аллювиально-аккумулятивным вместе взятых.

**Таблица 1.** Площади пастбищ с разными среднесезонными значениями NDVI в муниципальных районах Волгоградской области

**Table 1.** Pasture areas with different mean long-term values of NDVI in municipal districts of the Volgograd region

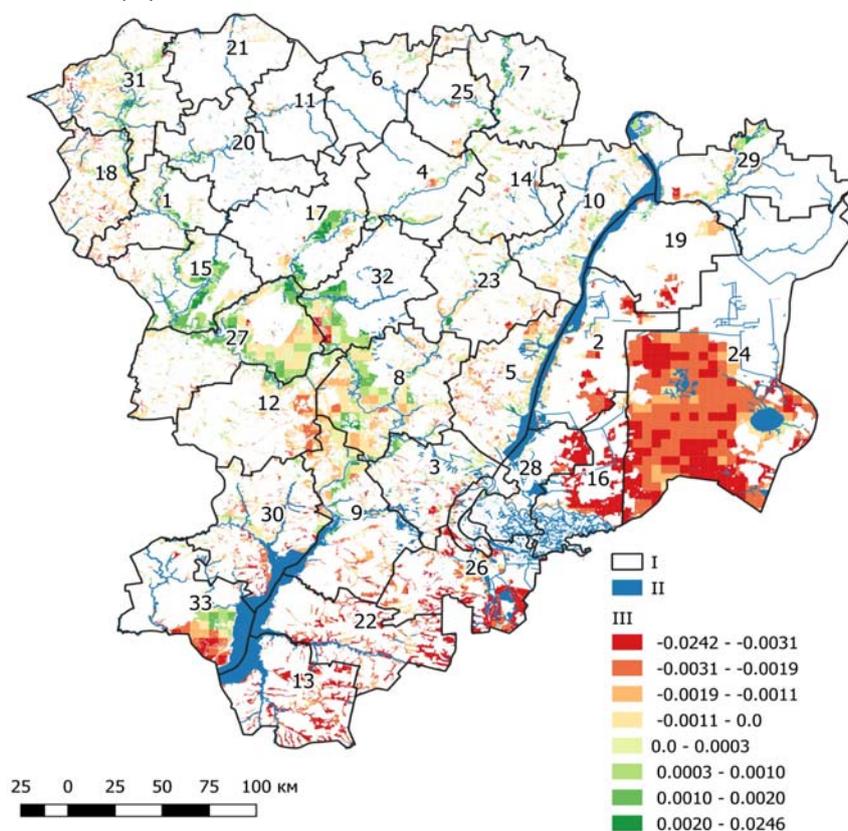
№	Район / District	Площадь, тыс. га / Area, thousand ha					
		NDVI					
		0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8
1	Алексеевский / Alekseevskiy	0,0	0,0	12,7	18,2	4,1	0,1
2	Быковский / Bykovskiy	0,0	40,9	13,6	0,1	0,0	0,0
3	Городищенский / Gorodishchenskiy	0,3	18,5	19,5	0,6	0,0	0,0
4	Даниловский / Danilovskiy	0,0	1,8	10,2	6,6	1,0	0,0
5	Дубовский / Dubovskiy	0,0	35,6	25,3	0,5	0,0	0,0
6	Еланский / Elanskiy	0,0	0,0	1,7	7,3	0,6	0,0
7	Жирновский / Zhirnovskiy	0,0	0,1	12,7	18,6	1,1	0,0
8	Иловлинский / Ilovlinskiy	9,3	89,7	57,0	9,8	0,7	0,0
9	Калачевский / Kalachevskiy	3,4	52,1	29,6	1,1	0,1	0,0
10	Камышинский / Kamyshinskiy	0,0	6,0	35,2	7,9	0,8	0,0
11	Киквидзенский / Kikvidzenskiy	0,0	0,0	0,2	4,3	0,3	0,0
12	Клетский / Kletskiy	0,0	23,7	38,7	5,6	0,3	0,0
13	Котельниковский / Kotel'nikovskiy	0,0	38,6	18,7	0,3	0,0	0,0

14	Котовский / Kotovskiy	0,0	0,0	14,0	8,5	0,4	0,0
15	Кумылженский / Kumylzhenskiy	2,1	15,3	27,8	21,6	4,1	0,1
16	Ленинский / Leninskiy	0,0	51,5	3,2	0,0	0,0	0,0
17	Михайловский / Mikhailovskiy	0,0	9,1	16,5	13,3	1,4	0,0
18	Нехаевский / Nekhaevskiy	0,0	0,0	2,0	46,1	2,6	0,1
19	Николаевский / Nikolaevskiy	0,0	8,8	14,1	1,7	0,0	0,0
20	Новоаннинский / Novoanninskiy	0,0	0,0	2,0	9,1	2,0	0,0
21	Новониколаевский / Novonikolaevskiy	0,0	0,0	0,1	7,5	0,7	0,0
22	Октябрьский / Oktyabr'skiy	0,0	48,1	14,7	0,6	0,0	0,0
23	Ольховский / Ol'khovskiy	0,0	7,1	22,1	4,4	1,4	0,0
24	Палласовский / Pallasovskiy	15,3	585,4	0,1	0,0	0,0	0,0
25	Руднянский / Rudnyanskiy	0,0	0,0	5,3	8,1	1,6	0,0
26	Светлоярский / Svetloyarskiy	0,1	72,9	14,4	0,0	0,0	0,0
27	Серафимовичский / Serafimovichskiy	2,3	73,8	43,5	20,5	5,0	0,1
28	Среднеахтубинский / Sredneakhtubinskiy	0,0	24,0	1,9	0,2	0,0	0,0
29	Старополтавский / Staropoltavskiy	0,0	13,7	29,1	1,0	0,2	0,0
30	Суровикинский / Surovikinskiy	0,0	15,8	44,5	2,0	0,0	0,0
31	Урюпинский / Uryupinskiy	0,0	0,0	5,5	60,8	7,9	0,2
32	Фроловский / Frolovskiy	0,0	32,8	20,5	5,6	0,8	0,0
33	Чернышковский / Chernyshkovskiy	0,0	32,7	35,6	1,3	0,1	0,0

Более продуктивные пастбища с NDVI 0,5-0,6 характерны для лесостепных аллювиально-аккумулятивных ландшафтов, типично-степных лессовых аккумулятивных и смешанного происхождения. Почти половина всех пастбищ с NDVI более 0,6 расположена в лесостепных аллювиально-аккумулятивных ландшафтах. Самыми продуктивными пастбищами являются земли лесостепных ледниково-аккумулятивных ландшафтов – около 80% этих территорий имеют NDVI более 0,6. Большая часть пастбищных земель типично-степных и лесостепных ландшафтов имеют значения NDVI от 0,4 до 0,6. Наименее продуктивны пастбища полупустынных морских, дельтовых аккумулятивных и солончако-

вых аккумулятивных ландшафтов – более 80% их площади характеризуются NDVI 0,3-0,4.

На рисунке 2 показано распределение пастбищных земель по величине коэффициентов линейного тренда многолетней динамики NDVI за исследуемый период. Наибольшие площади с тенденцией к снижению продуктивности пастбищ расположены в Заволжье и на юге области. Рост продуктивности отмечен на пастбищах бассейна и долины Дона [17]. В некоторой степени это связано с увеличением доли кустарников на пастбищных землях, в первую очередь *Eleagnus angustifolia* [18; 19].



**Рисунок 2.** Направления динамики продуктивности (NDVI) пастбищ Волгоградской области. I – Границы районов, II – гидрографическая сеть, III – коэффициенты линейных трендов NDVI, 1-33 – номера районов (табл. 1)

**Figure 2.** Productivity trends (NDVI) of pastures in the Volgograd region. I – District borders, II – hydrographic network, III – coefficients of linear trends NDVI, 1-33 – numbers of individual districts (table 1)

Больше половины всех пастбищ со снижающейся продуктивностью расположены в Палласовском районе, также такие пастбища имеются в Котельниковском, Ленинском и Светлоярском районах. Больше четверти пастбищ с примерно постоянной продуктивностью расположены в Иловлинском и Серафимовичском районах. Земли с самыми высокими темпами роста значений NDVI относятся к Кумылженскому, Михайловскому и Серафимовичскому районам. Это связано с более низкими пастбищными нагрузками в этих районах.

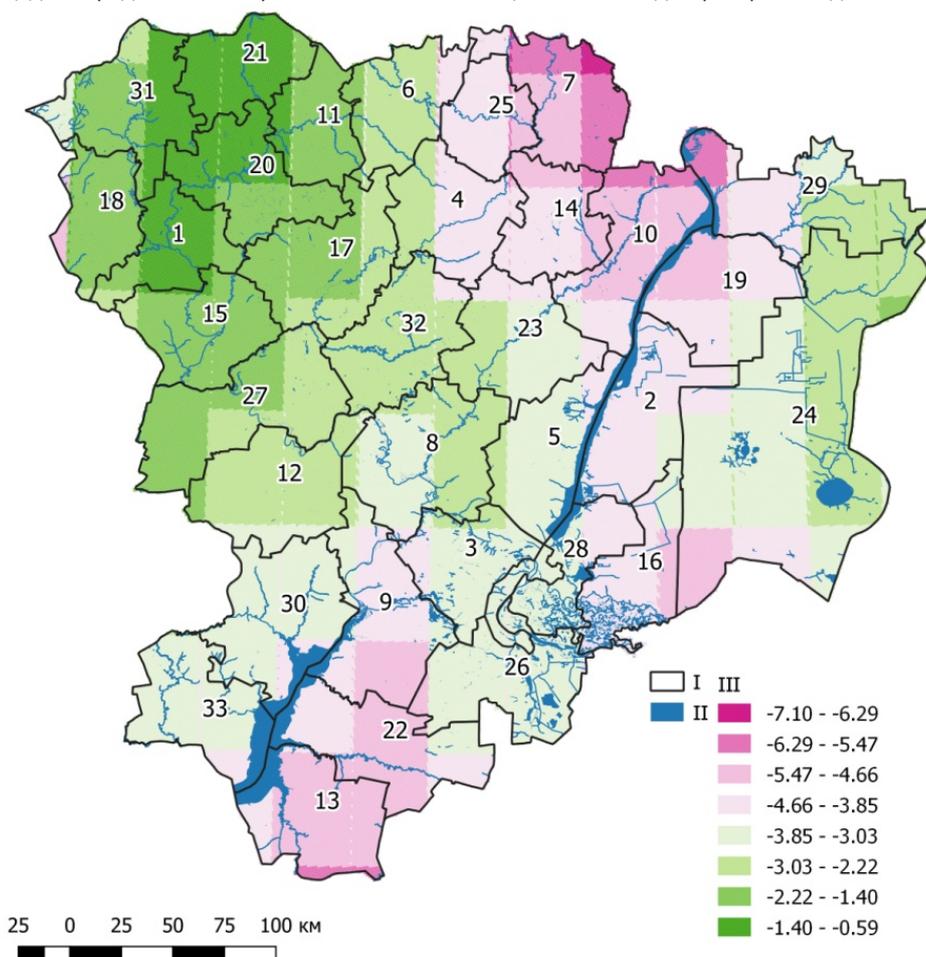
Всего площади с подверженными деградации пастбищами в области составляют приблизительно 1,2-1,5 млн га (около 40% всех земель, которые могут использоваться как пастбища). Наиболее подвержены деградации пастбищные земли Быковского, Котельниковского, Ленинского, Октябрьского, Палласовского, Светлоярского и Среднеахтубинского районов. Безусловно, это связано с ландшафтными особенностями территории.

На всей территории области в 2000-2018 годах отмечается снижение сумм осадков за календарный и гидрологический годы со скоростью от 0,5 до 7 мм в год (рис. 3).

Более 60% всех деградированных пастбищ расположено в полупустынных морских аккумулятивных ландшафтах волгоградского Заволжья, также значительные площади сосредоточены в сухостепных лессо-

во-аккумулятивных ландшафтах (табл. 2). Более половины всех полупустынных пастбищ подвержены деградации: 55% аллювиально-аккумулятивных ландшафтов и от 84% до 97% территорий во всех остальных родах ландшафтов этого типа. Наибольшая скорость деградационных процессов характерна для полупустынных аккумулятивных ландшафтов – NDVI уменьшается на величину до 0,024 в год, что соответствует среднегодовому снижению проективного покрытия на 1,5-2%. Это связано в первую очередь с климатическими изменениями и с многочисленными степными пожарами, которые уничтожают многолетние полукустарнички [20]. В результате доминирует эфемерная растительность, которая имеет меньшие среднегодовые значения продуктивности и (соответственно и NDVI) за счет короткого вегетационного периода.

Аналогичная ситуация с пастбищами в сухостепных ландшафтах: наиболее подвержены деградации сухостепные лессовые аккумулятивные ландшафты, а также пастбища в речных долинах и в аллювиально-аккумулятивных ландшафтах. Скорость роста NDVI стабильно превышает скорость снижения только в лесостепных ландшафтах. Это вызвано недостаточным использованием пастбищ. В типично-степных ландшафтах пастбища деградируют в ледниковых аккумулятивно-денудационных, лессовых аккумулятивно-денудационных и ландшафтах речных долин.



**Рисунок 3.** Направления и скорость динамики сумм осадков за гидрологический год в 2000-2016 гг. I – границы районов, II – гидрографическая сеть, III – коэффициенты линейных трендов, 1-33 – номера районов (табл. 1)

**Figure 3.** Precipitation trends in 2000-2016. I – Borders of districts, II – hydrographic network, III – coefficients of linear trends NDVI, 1-33 – numbers of districts (table 1)

**Таблица 2.** Распределение площадей ландшафтов по направлению динамики NDVI  
**Table 2.** The distribution of landscape areas in the direction of the dynamics of NDVI

Подтип ландшафта Landscape subtype	Род ландшафта Landscape genera	Доля площади ландшафта, % Landscape area, %			
		Снижение NDVI Reduction NDVI	Без изменений NDVI Constant NDVI	Рост NDVI Growth NDVI	
<b>Лесостепные</b> Forest-steppe	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	18,3	34,5	47,2	
	Ледниковые аккумулятивные Glacial accumulative	1,3	0,4	98,3	
<b>Полупустынные</b> Semideserts	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	54,6	18,5	26,9	
	Дельтовые аккумулятивные Delta accumulative	93,2	4,2	2,6	
	Морские аккумулятивные Sea accumulative deposits	97,4	2,0	0,6	
	Солончаковые аккумулятивные Solontchak accumulative	84,1	7,0	9,0	
<b>Сухостепные</b> Dry steppes	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	57,7	21,3	21,0	
	Денудационные структурные Denudational-structural	29,7	30,3	40,0	
	Лессовые аккумулятивно-денудационные Loess accumulative-denudational	48,8	30,1	21,1	
	Лессовые аккумулятивные Loess accumulative	96,4	3,5	0,1	
	Речные долины River valleys	66,2	16,9	16,9	
	Смешанного происхождения Mixed origin	55,0	26,4	18,6	
	<b>Типично-степные (настоящие степи)</b> Typical (true) steppes	Аллювиально-аккумулятивные Alluvial accumulative	16,5	23,8	59,7
		Денудационные структурные Denudational-structural	21,0	35,7	43,3
Эоловые аккумулятивные Eol accumulative deposits		10,5	22,8	66,7	
Ледниковые аккумулятивно-денудационные Glacial accumulative-denudational		45,3	35,6	19,2	
Лессовые аккумулятивно-денудационные Loess accumulative-denudational		43,8	26,0	30,2	
Речные долины River valleys		58,4	19,8	21,8	
Смешанного происхождения Mixed origin		36,5	27,0	36,5	

При этом наибольшая скорость изменения увлажнения отмечена на севере (Жирновский, Камышинский, Котовский районы) и юге области (Котельниковский, Октябрьский районы). В Заволжье скорость снижения сумм осадков колеблется от 2 до 6 мм в год. Ухудшение условий увлажнения на фоне роста пастбищных нагрузок на юге и востоке области приводит к снижению продуктивности растительности, показанному выше. На севере области, наоборот, тренды NDVI характеризуют рост продуктивности, что в условиях снижения сумм осадков может свидетельствовать о снижении пастбищных нагрузок.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований определены закономерности изменения продуктивности пастбищных ландшафтов Волгоградской области на основе анализа NDVI за 2000-2018 годы. Наименее продуктивные пастбища

расположены в Палласовском районе области – 46,5% пастбищ области с NDVI 0,4-0,5 и 45% с NDVI 0,3-0,4 приходятся на эту территорию. Более 60% всех деградированных пастбищ расположено в полупустынных морских аккумулятивных ландшафтах волгоградского Заволжья, также значительные площади сосредоточены в сухостепных лессово-аккумулятивных ландшафтах. Наибольшая скорость деградационных процессов характерна для полупустынных аккумулятивных ландшафтов – NDVI уменьшается на величину до 0,024 в год, что соответствует уменьшению проективного покрытия на 1,5-2%. Скорость роста NDVI стабильно превышает скорость снижения только в лесостепных ландшафтах. На всей исследуемой территории отмечено снижение сумм осадков за календарный и гидрологический годы в период с 2000 года по настоящее время со скоростью 0,5-7 мм в год. Безусловно, это в наибольшей степени

определяет направление динамики продуктивности ландшафтов.

Для области характерен отрицательный тренд NDVI за период 2000-2018 гг. с коэффициентом пропорциональности -0,0015. Такое маленькое значения связано со значительными колебаниями средневзвешенных значений вегетационного индекса за исследуемый отрезок времени. Среднегодовые значения NDVI слабо колеблются в окрестностях значения 0,4: от 0,37 до 0,43. Такая маленькая амплитуда связана со спецификой динамики состояния растительности в различных ландшафтах. Как было показано выше, в одних и тех же родах ландшафтов идут разнонаправленные процессы деградации/восстановления пастбищ с различной скоростью. Снижение продуктивности растительности в одних типах ландшафтов успешно компенсируется ростом в других, более продуктивных. Именно по этой причине важен пространственный аспект моделирования динамики состояния пастбищных земель: необходимо выделение неблагоприятных ареалов и разработка комплекса мер по восстановлению их продуктивности.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-416-340005.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research was funded by RFBR and the Volgograd Region Administration, project number 18-416-340005.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А., Пугачева А.М. Анализ пастбищных ресурсов Волгоградской области в геоинформационной системе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. N 1. С. 123-130. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-15
2. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Биоклиматическая субгумидная зона на равнинах России: засухи, опустынивание/деградация // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. N 1 (74). С. 13-20.
3. Рябина Н.О., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С. Современное состояние и динамика степных геосистем юго-востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // Юг России: экология и развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 116-127. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-116-127
4. Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. Геоморфологические критерии проведения лесомелиорации ландшафтов (на примере Приэльтона) // Геоморфология. 2017. N 2. С. 63-71. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-63-71
5. Ткаченко Н.А. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. N 4. С. 171-178. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-24
6. Kouzmina J.V., Treshkin S.E. Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem // Arid Ecosystems. 2014. Iss. 4. P. 142-157. DOI: 10.1134/S2079096114030044
7. Кулик К.Н., Есмагулова Б.Ж., Кошелева О.Ю., Мушаева К.Б., Шинкаренко С.С. Изменение фитоценозов Волго-Уральского междуречья под влиянием пастбищных нагрузок // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2016. N 4. С. 25-32.
8. Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Лапенко Н.Г., Самофал Е.Б., Сторчак И.Г. Возможности дистанционной оценки состояния и степени деградации природных кормовых угодий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. N 7. С. 53-66. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66
9. Deering D.W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors. Ph. D. Diss. Texas A&M University, College Station, 1978. 338 p.
10. Gao Q.Z., Wan Y.F., Xu H.M., Li Y., Jiangcun W.Z., Borjigidai A. Alpine grassland degradation index and its response to recent climate variability in Northern Tibet, China // Quaternary International. 2010. V. 226. Iss. 1-2. P. 143-150. DOI: 10.1016/j.quaint.2009.10.035
11. Lehnert L.W., Meyer H., Meyer N., Reudenbach Ch., Bendix J. A hyperspectral indicator system for rangeland degradation on the Tibetan Plateau: A case study towards spaceborne monitoring // Ecological Indicators. 2014. V. 39. P. 54-64. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.12.005
12. Тельнова Н.О. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. N 6. С. 97-107. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-97-107
13. Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map // Nature. 2014. V. 514. 434 p. DOI: 10.1038/514434c
14. Рулев А.С., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С. Анализ сезонной динамики NDVI естественной растительности Заволжья Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. N 4. С. 113-123. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-20-113-123
15. Швиденко А., Щепаченко Д., МакКаллум Я. СД-РОМ «Леса и лесное хозяйство России». Лаксенбург, Австрия: Международный институт прикладного системного анализа и Российская Академия наук, 2007. URL: [http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom/index.html](http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/index.html) (дата обращения: 03.04.2019)
16. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // Int. J. Climatol. 2014. V. 34. Iss. 3. P. 623-642. DOI: 10.1002/joc.3711
17. Власенко М.В., Кулик А.К. Современное состояние степной растительности Придонских песчаных массивов // Аграрная Россия. 2017. N 9. С. 22-29.
18. Вдовенко А.В. Специфика формирования лесопастбищных угодий, закустаренных лохом в районе Среднего Дона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. N 2 (38). С. 85-90.
19. Манаенков А.С., Жданов Ю.М., Вдовенко А.В. Реконструкция закустаренных пастбищ балочно-речных долин // Известия Нижневолжского

агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. N 4 (44). С. 70-76.

20. Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н. Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. N 2. С. 98-110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110

#### REFERENCES

1. Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A., Pugacheva A.M. Analysis of pasture resources of Volgograd region in Geoinformation system. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*, 2019, no. 1, pp. 123-130. (In Russian) DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-15
2. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. Bioclimatic Subhumid Zone of Russian Plains: Droughts, Desertification, and Land Degradation. *Aridnye ekosistemy [Arid ecosystems]*. 2018, vol. 24, no. 1 (74), pp. 13-20. (In Russian)
3. Ryabinina N.O., Kanishchev S.N., Shinkarenko S.S. The current state and dynamics of geosystems in the south-east of the Russian plain (by the example of the natural parks in Volgograd region). *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 116-127. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-116-127
4. Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S. Geomorphological criteria in agroforestry: Lake Elton area (SE Russian plain) case study. *Geomorfologiya*, 2017, no. 2, pp. 63-71. (In Russian) DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-63-71
5. Tkachenko N.A. Droughts and yield of cereal crops in Volgograd region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*, 2018, no. 4, pp. 171-178. (In Russian) DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-24
6. Kouzmina J.V., Treshkin S.E. Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem. *Arid Ecosystems*, 2014, iss. 4, pp. 142-157. DOI: 10.1134/S2079096114030044
7. Kulik K.N., Esmagulova B.Zh., Kosheleva O.Yu., Mushaeva K.B., Shinkarenko S.S. Phytocenoses change of the area between Volga and Ural under the influence of grazing loads. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]*. 2016, no. 4, pp. 25-32. (In Russian)
8. Eroshenko F.V., Bartalev S.A., Lapenko N.G., Samofal E.V., Storchak I.G. Capabilities for rangelands state and degradation assessment using remote sensing data. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2018, vol. 5, no. 7, pp. 53-66. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66
9. Deering D.W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors, Ph.D. Diss., Texas A&M University, College Station, 1978, 338 p.
10. Gao Q.Z., Wan Y.F., Xu H.M., Li Y., Jiangcun W.Z., Borjigidai A. Alpine grassland degradation index and its response to recent climate variability in Northern Tibet, China. *Quaternary International*, 2010, vol. 226, iss. 1-2, pp. 143-150. DOI: 10.1016/j.quaint.2009.10.035
11. Lehnert L.W., Meyer H., Meyer N., Reudenbach Ch., Bendix J. A hyperspectral indicator system for rangeland degradation on the Tibetan Plateau: A case study towards spaceborne monitoring. *Ecological Indicators*, 2014, vol. 39, pp. 54-64. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.12.005
12. Telnova N.O. Revealing and mapping long-term NDVI trends for the analysis of climate change contribution to agroecosystems' productivity dynamics in the Northern Eurasian forest-steppe and steppe. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2017, vol. 14, no. 6, pp. 97-107. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-97-107
13. Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map. *Nature*, 2014, vol. 514, 434 p. DOI: 10.1038/514434c
14. Rulev A.S., Kanishev S.N., Shinkarenko S.S. Analysis of NDVI seasonal dynamics of natural vegetation of Low Trans-Volga in Volgograd Region. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2016, vol. 13, no. 4, pp. 113-123. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-20-113-123
15. Shvidenko A., Shchepashchenko D., MakKallum Ya. *SD-ROM «Les i lesnoe khozyaistvo Rossii» [SD-ROM «Forests and Forestry in Russia»]*. Laxenburg, 2007. (In Russian) Available at: [http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom/index.html](http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/index.html) (accessed 03.04.2019)
16. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 2014, vol. 34, iss. 3, pp. 623-642. DOI: 10.1002/joc.3711
17. Vlasenko M.V., Kulik A.K. Modern State of the Steppe Vegetation of the Don Sand Massifs. *Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia]*. 2017, no. 9, pp. 22-29. (In Russian)
18. Vdovenko A.V. The specifics of the formation of oleaster shrubs pastures in the area of the Middle Don. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education]*. 2015, no. 2 (38), pp. 85-90. (In Russian)
19. Manaenkov A.S., Zhdanov Yu.M., Vdovenko A.V. Reconstruction of shrub pastures of river-valleys. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education]*. 2016, no. 4 (44), pp. 70-76. (In Russian)
20. Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N. Analysis of steppe fires long-term dynamics in Volgograd Region. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2019, vol. 16, no. 2, pp. 98-110. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Станислав С. Шинкаренко проводил работы по геоинформационному моделированию. Ольга Ю. Кошелева участвовала в разработке карты ГИС, а также определи-

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Stanislav S. Shinkarenko conducted work on geoinformation modeling. Olga Yu. Kosheleva participated in the development of GIS and also determined the scientific design of the

ла научный дизайн статьи и её оформление. Денис А. Солодовников принимал участие в анализе ландшафтных условий региона и их влияния на продуктивность, также проводил корректировку рукописи до поступления в редакцию. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

article and its layout. Denis A. Solodovnikov participated in the analysis of the landscape conditions of the region and their impact on productivity and also reviewed the manuscript before submission to the editor. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors state that there is no conflict of interest.

**ORCID**

Станислав С. Шинкаренко / Stanislav S. Shinkarenko <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

Ольга Ю. Кошелева / Olga Yu. Kosheleva <https://orcid.org/0000-0002-9616-2383>

Денис А. Солодовников / Denis A. Solodovnikov <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.11: 631.5: 631.81: 574.2  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88

# Резервы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и их зависимость от гетерогенности посевов в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья

Юрий А. Гулянов, Александр А. Чибилёв , Александр А. Чибилёв (мл.)

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

## Контактное лицо

Александр А. Чибилёв, академик Российской академии наук, научный руководитель Института степи Уральского отделения РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.  
Тел. +7(3532)774432  
Email [orensteppe@mail.ru](mailto:orensteppe@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

## Формат цитирования

Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А., Чибилёв А.А. (мл.) Резервы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и их зависимость от гетерогенности посевов в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 79-88. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88

Получена 4 октября 2019 г.

Прошла рецензирование 13 ноября 2019 г.

Принята 6 декабря 2019 г.

## Резюме

**Цель.** Верификация научных представлений о пространственной гетерогенности полевых агроценозов. Выявление вариабельности фитометрических и структурных показателей посевов и определение степени их влияния на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья.

**Материал и методы.** Закладка полевых опытов, сопутствующие наблюдения и учёт в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и методическими указаниями Б.А. Доспехова. Мониторинг посевов озимой пшеницы путём измерения вегетационного индекса (NDVI) ручным сенсором *Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 100 (Trimble, USA)*. Определение показателей качества зерна по ГОСТ 9353-2016 Пшеница – Технические условия. Корреляционный и регрессионный анализ опытных данных в *Microsoft Office Excel*.

**Результаты.** Проведён анализ внутривидовой гетерогенности агроценозов озимой пшеницы по урожайности и качеству зерна. Определены и выражены в виде уравнений регрессии зависимости урожайности и качества зерна от основных фитометрических и структурных параметров посевов.

**Заключение.** Результаты проведённых исследований свидетельствуют о резервах роста урожайности зерна до 3,0 т/га и качества зерна до I-II класса при нивелировании почвенной гетерогенности полей путём восстановления антропогенно-деградированного почвенного плодородия, внедрения ландшафтно-адаптивных ресурсосберегающих систем земледелия, почвозащитных и почвовосстановительных севооборотов, дифференцированного внесения удобрений, подбора наиболее адаптивных сортов. Целесообразно и внедрение интеллектуальных «цифровых технологий», направленных на более полную реализацию генетического потенциала возделываемых сортов при бережном отношении к природным ресурсам и сохранении биологического разнообразия.

## Ключевые слова

Гетерогенность посевов, озимая пшеница, урожайность, качество зерна, степная зона, Оренбургское Предуралье.

# Reserves for the Increase of Yield and Quality of Winter Wheat Grain and Their Dependence on the Heterogeneity of Crops in the Conditions of the Steppe Zone of the Orenburg Urals, Russia

Yuriy A. Gulyanov, Alexander A. Chibilyov  and Alexander A. Chibilyov Jr.

Steppe Institute, Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

## Principal Contact

Alexander A. Chibilyov, Academician, Russian Academy of Sciences & Scientific Director, Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionerskaya St, Orenburg, 460000 Russia.

Tel.+7(3532)774432

Email [orensteppe@mail.ru](mailto:orensteppe@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

## How to cite this article

Gulyanov Yu.A., Chibilyov A.A. Chibilyov A.A. Jr. Reserves for increasing yield and quality of winter wheat grain and their dependence on the heterogeneity of crops in the conditions of the steppe zone of the Orenburg Urals. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 79-88. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88

Received 4 October 2019

Revised 13 November 2019

Accepted 6 December 2019

## Abstract

**Aim.** Verification of scientific concepts regarding the spatial heterogeneity of field agrocenoses. Identification of the variability of phytometric and structural crop indicators and determination of the degree of their influence on the yield and quality of winter wheat grain in the steppe zone of the Orenburg Urals.

**Material and Methods.** Establishment of field experiments, related observations and counts in accordance with the methodology of state variety crops testing and B.A.Dospekhov's guideline. Monitoring of winter wheat crops was carried by measuring the vegetation index (NDVI) with a Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS-100 (Trimble, USA). Determination of grain quality indicators was conducted according to GOST 9353-2016 Wheat – *Technical Conditions*. Microsoft Office Excel was employed for the correlation and regression analysis of experimental data.

**Results.** Analysis of the intra-field heterogeneity of winter wheat agrocenoses in terms of yield and grain quality was conducted. The dependences of yield and grain quality on the principal crop phytometric and structural parameters were defined and expressed in the form of regression equations.

**Conclusion.** The results of the studies attest to the growth of reserves of grain yield to 3.0 t/ha and grain quality to class I-II class in zonal climatic conditions of optimization of environmental factors to the level of the best basic plots by levelling out field soil heterogeneity. This is possible by restoring the fertility of anthropogenically-degraded soil through the introduction of landscape-adaptive and resource saving farming systems, soil protective and soil restorative crop rotation, differentiated application of organic and mineral fertilizers and selection of the most adaptive varieties. We also advise the introduction of intelligent 'digital technologies' aimed at fuller implementation of the genetic potential of cultivated varieties with careful consideration of natural resources and the preservation of biological diversity.

## Key Words

Heterogeneity of crops, winter wheat, productivity, grain quality, steppe zone, Orenburg Urals.

## ВВЕДЕНИЕ

На неоднородность и внутривидовую вариабельность почвенного и растительного покрова учёные и практики обратили внимание достаточно давно. Из российских учёных, экспериментально обосновавших влияние внутривидовой гетерогенности на урожайность сельскохозяйственных культур, следует выделить основоположника отечественного агрономического почвоведения П.А. Костычева [1]. На неоднородность почвенного плодородия, затрудняющую получение ровного урожая на различных участках поля даже при внесении органических удобрений, обращал внимание теоретик и практик сельского хозяйства И.А. Стебут [2]. К необходимости учёта внутривидовой вариабельности призывал основоположник отечественной агрохимии академик Д.Н. Прянишников, рекомендовавший определение содержания в почвах подвижных форм азота, фосфора и калия и дифференцирование доз и соотношения азотных, фосфорных и калийных удобрений на участках поля, различающихся по почвенным условиям [3].

Как известно, в качестве интегрального показателя сбалансированности и оптимального сочетания факторов внешней среды в агроценозах чаще всего рассматривается урожайность полевых культур. Она же может использоваться и в качестве индикатора внутривидовой вариабельности растительного покрова, связанной с климатическими, почвенными, географическими, биологическими и антропогенными факторами.

Результаты современных полевых экспериментов, проведённых в различных природных и климатических зонах РФ, указывают на повсеместное внутривидовое варьирование урожайности сельскохозяйственных культур. Такие данные получены на каштановых почвах сухих степей Кулунды [4], серых лесных почвах Владимирской и дерново-подзолистых почвах Ярославской областей [5], чернозёмных и серых лесных почвах Среднего Урала и Северного Зауралья [6; 7], в постцелинных регионах степной зоны Европейской России [8].

В последние годы актуальность обозначенных проблем стала возрастать в связи с прогрессирующей пестротой почвенного плодородия ввиду негативной сельскохозяйственной практики: повсеместной «коммерциализации» севооборотов, отказа от внесения минеральных и органических удобрений и др., ставших причиной усиления антропогенного прессинга в сельскохозяйственных экосистемах и снижения качества растениеводческой продукции, в частности, зерна.

Между тем продовольственная безопасность населения в преобладающем большинстве стран чаще всего ассоциируется именно с обеспеченностью зерном. В настоящее время, несмотря на активное внедрение в мировое аграрное производство современной с.-х. техники и инновационных технологий, существенного роста валовых сборов зерна достичь не удаётся. Его производства всё ещё недостаточно для полного удовлетворения возрастающих потребностей стремительно растущего населения мира.

По экспертной оценке отечественных учёных, в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды, Россия может не только полностью удовлетворять потребности собственного населения в хлебных продуктах и перерабатывающих отраслей промышленности в сырьё, но и сыграть важ-

ную роль в стабилизации мирового рынка зерна. Занять лидирующие позиции в мировом зерновом производстве уже сегодня мешает отсутствие стабильности валовых сборов и относительно невысокая урожайность в условиях полужесткого земледелия, сильно зависящего от погодных условий.

Немаловажное значение для укрепления и стабилизации экономики РФ имеет увеличение производства высококачественного зерна, пригодного для экспорта. И здесь остаётся констатировать, что проблемы производства продовольственного зерна высоких кондиций пока также не находят эффективного решения. Об этом свидетельствует информация, приведённая в отчёте по оценке качества пшеницы, подготовленном Департаментом растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза России по данным ФГБУ «Россельхозцентра». Так, из урожая 2016г. из 28,0% (21220,0 тыс.т) обследованного зерна только 2,3 тыс.т (0,01%) соответствовало 1 классу, 60,7 тыс. т (0,3%) – 2 классу, 5579,1 тыс. т (26,0%) – 3 классу. Основная же масса зерна – 15508,6 тыс.т (более 72%) относилась только к 4 и 5 классу. Аналогичная ситуация сложилась и в наиболее благоприятном по погодным условиям высокоурожайном 2017 г, когда из 39,5% (34788,6 тыс.т) обследованного зерна 22,7 тыс.т (0,1%) соответствовало 1 классу, 76,7 тыс.т (0,2%) – 2 классу и 8602,3 тыс.т (25,0%) – 3 классу. Доля зерна 4 и 5 классов составила более 75% или 25708,3 тыс.т. [9].

Особую значимость преодоление указанных проблем приобретает в постцелинных регионах степной зоны РФ, где оптимизация структуры землепользования предполагает интенсификацию земледелия на высокоплодородных почвах. Это связано с необходимостью выведения из земледельческого оборота деградированных земель и выделения наиболее ценных в ландшафтном отношении местностей и урочищ, что будет неизбежно сопровождаться сокращением земледельческих площадей и необходимостью существенного повышения их продуктивности [10; 11].

В соответствии со стратегией степного природопользования движение в указанном направлении предлагается по пути эффективного использования земледельческих ресурсов и снижения нагрузки на природные экосистемы. Предполагается, что в большей степени этому будет способствовать экологоориентированное повышение урожайности и качества растениеводческой продукции за счёт совершенствования приёмов, направленных на эффективную реализацию биоресурсного потенциала культурных агроценозов. Сегодня их содержание дополняется ещё и заботой о главном природном и генетическом ресурсе планеты – биологическом разнообразии.

Основная цель настоящих исследований заключалась в верификации научных представлений о пространственной гетерогенности агроценозов, в определении вариабельности фитометрических и структурных показателей посевов, определении степени их влияния на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести определение фитометрических и структурных показателей посевов озимой пшеницы по основным фазам развития на закреплённых элемен-

тарных участках поля по основным фазам развития с использованием общепринятых методов;

- провести определение вегетационного индекса посевов (NDVI) озимой пшеницы с использованием портативного устройства (ручной сенсор) Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS - 100 (Trimble, USA);

- определить основные показатели качества и класс зерна в разрезе элементарных участков;

- определить вариабельность урожайности и качества зерна и степень её влияния на валовые показатели;

- провести корреляционный и регрессионный анализ полученных результатов, выразить выявленные зависимости в графическом виде и в виде уравнений регрессии;

- сформулировать заключение и обосновать практическую значимость полученных результатов.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводили в 2017-2019 гг. в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья на чернозёмах южных центральной зоны Оренбургской области. Указанная территория характеризуется годовой суммой эффективных температур в диапазоне 2620-2630°C, средней температурой самого тёплого месяца (июль) – 21,9°C и самого холодного (январь) – 14,8°C. Почва промерзает до глубины 100-120 см, средняя мощность снежного покрова составляет около 28 см, а индекс континентальности климата – 215 единиц. За год выпадает 360-370 мм осадков, из которых около 130 мм (35,4%) приходится на тёплый период года (май-август). В целом зона исследований выделяется недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением, с характерными для летнего периода непродолжительными дождями ливневого характера. Повышенная ветровая активность увеличивает испарение влаги и делает водный режим территории ещё более напряжённым, дополнительно усиливая и дефляционную опасность. Для зоны исследований характерна продолжительная, морозная и не всегда снежная зима, короткая весна с быстрым переходом в жаркое засушливое лето и продолжительная тёплая и сухая осень. В отличие от влагообеспеченности, температурный режим указанной территории и приход солнечной радиации практически не лимитируют формирование урожая традиционных полевых культур.

Почва опытного участка – чернозём южный среднемощный карбонатный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое почвы около 4,0%. Метеорологические условия периода исследований характеризовались по сравнению со среднемноголетними значениями, повышенной температурой воздуха в весенне-летне-осенние месяцы и острым дефицитом влаги, особенно в осенний период.

Исследования проводили с возделываемой по общепринятой в зоне исследований технологии озимой мягкой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) Поволжская 86. Для измерения вегетационного индекса посевов (NDVI) использовали портативное устройство *Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 100 (Trimble, USA)*. Многократное сканирование биомассы озимой пшени-

цы проводили в границах 11 реперных точек каждого элементарного участка площадью 1 га, закреплённых на местности в системе координат с помощью портативного mini – навигатора. Учеты и наблюдения проводили общепринятыми методами в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова [12]. Площадь ассимиляционной поверхности растений определяли общепринятым весовым методом с использованием электронных весов (*Electronic balance, Type CBL 2200H*) с точностью измерения 0,01 г. Растительные образцы для оценки фитометрических параметров посевов отбирали в четырёхкратной повторности с площадок 0,25 м<sup>2</sup>. Фенологические наблюдения, подсчет густоты стояния растений, определение структурных показателей посевов и другие сопутствующие наблюдения проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [13]. Показатели качества зерна определяли в соответствии с ГОСТ 9353-2016 Пшеница – Технические условия [14]. Корреляционный и регрессионный анализ опытных данных проводили в Microsoft Office Excel.

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

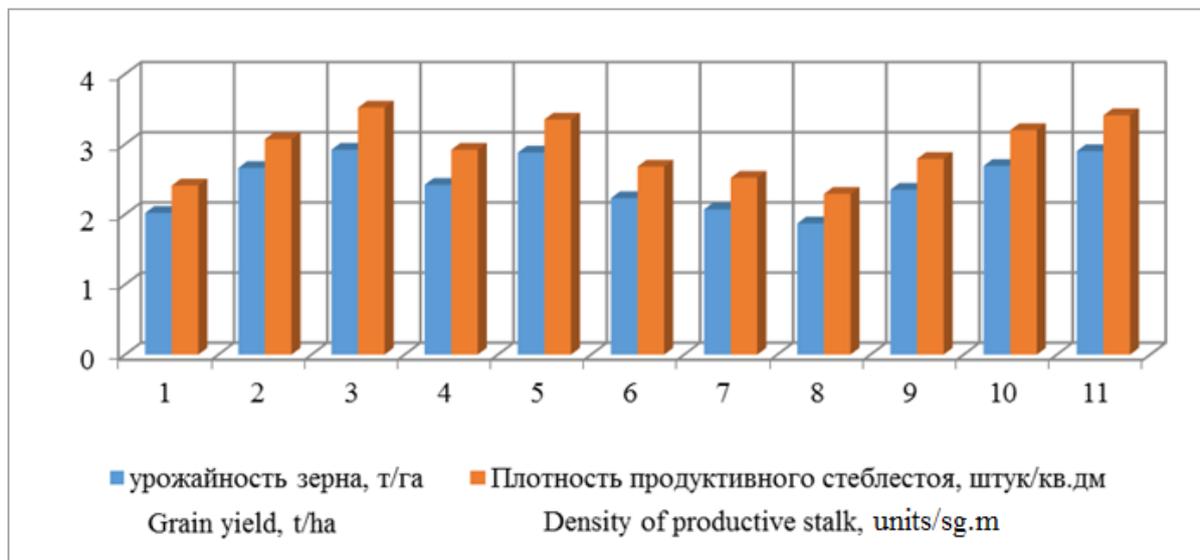
В результате проведённого полевого эксперимента установлено, что на разных элементарных участках поля сформировался урожай различной величины и качества при едином для всего поля наборе технологических приёмов. Анализ опытных данных выявил изменение урожайности зерна от 1,87 до 2,92 т/га (рис. 1). Коэффициент её вариации при среднем значении 2,45 т/га составил 15,4%, что указывает на среднюю степень рассеивания полученных данных.

Как известно, итоговая урожайность полевых агроценозов определяется вкладом каждого растения в общий урожай и их числом на единице площади, в данном случае числом продуктивных стеблей. В наших исследованиях число продуктивных стеблей перед уборкой по элементарным участкам поля также изменялось – от 228,5 до 351,8 штук/м<sup>2</sup>. Коэффициент вариации составил 14,4% при средней плотности продуктивного стеблестоя 292,4 штук/м<sup>2</sup>. Корреляционно-регрессионный анализ опытных данных выявил наличие сильной связи ( $r=0,99$ ) между урожайностью зерна и плотностью продуктивного стеблестоя (рис. 2).

Указанная прямая линейная связь описывается уравнением регрессии  $y=0,008x-0,158$  и свидетельствует о детерминации плотностью продуктивного стеблестоя 98,9% дисперсии урожайности зерна.

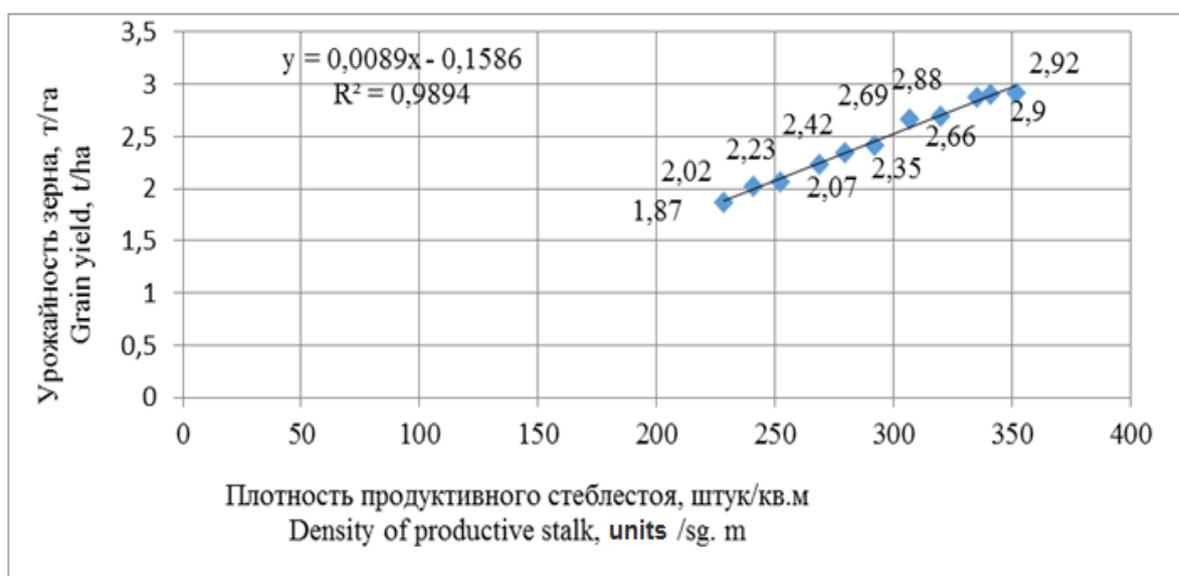
Связь урожайности зерна с массой зерна с колоса оказалась средней ( $r=0,61$ ). Зависимость выражается уравнением регрессии  $y=14,63x-9,824$ . Коэффициент детерминации свидетельствует о зависимости между указанными параметрами только в 37,1% случаев.

Установлено, что существенная вариация привнесённых слагаемых урожая, определяющих продуктивность большинства зерновых колосовых культур в степной зоне Оренбургского Предуралья, стала следствием динамики других структурных элементов по элементарным участкам поля.



**Рисунок 1.** Урожайность зерна озимой пшеницы и плотность продуктивного стеблестоя по элементарным участкам поля

**Figure 1.** Yield of grain of winter wheat and density of productive stalk in basic field plots



**Рисунок 2.** Зависимость урожайности зерна озимой пшеницы от плотности продуктивного стеблестоя

**Figure 2.** Dependence of winter wheat grain yield on density of productive stalk

Наибольшей изменчивостью характеризовалась общая выживаемость семян и растений. При климатически обусловленной в зоне исследований достаточно высокой гибели растений в течение вегетации и в наших исследованиях к уборке их сохранилось только 47,9-70,6% от числа высеванных всхожих семян. Кроме этого, вариация указанного параметра между отдельными участками поля составила 22,7%.

Следует отметить, что в начале вегетации гетерогенность растительного покрова опытного участка была менее выраженной. Так, полнота всходов колебалась от 80,1 до 93,1%, а коэффициент вариации нор-

мально взошедших растений составил только 4,3% при их среднем числе 387,1 штук/м<sup>2</sup>. К завершению вегетации неоднородность растительного покрова усилилась. Коэффициент вариации числа сохранившихся к уборке растений при средней величине 270,9 штук/м<sup>2</sup> составил уже 13,0% (табл. 1).

На наш взгляд, усиление неоднородности растительного покрова в течение вегетации связано с пространственной неоднородностью факторов внешней среды и изменением степени их участия в жизни растений.

**Таблица 1.** Внутрипольная вариабельность фитометрических и структурных показателей посевов озимой пшеницы, средние за 2017-2019 гг.**Table 1.** In-field variability of phytometric and structural indicators of winter wheat crops, average for 2017-2019

Элементарный участок Basic plots	Полнота всходов Seedling germination		Число растений в уборку, штук/м <sup>2</sup> Number of plants to harvest, units/sg.m	Общая выживаемость Overall survival, %	Максимальная площадь листьев, м <sup>2</sup> /га Maximum leaf area, sg.m/ha	Вегетационный индекс (NDVI) Vegetation index
	штук/м <sup>2</sup> units/ sg.m	%				
1	360,6	80,1	227,3	50,5	14281	0,53
2	383,7	85,2	284,0	63,1	20960	0,72
3	419,3	93,1	317,7	70,6	24276	0,80
4	391,0	86,9	270,6	60,1	20165	0,69
5	396,0	88,0	307,2	68,3	22159	0,77
6	377,5	83,9	250,9	55,7	17452	0,61
7	376,0	83,6	238,2	52,9	15799	0,56
8	367,4	81,6	215,6	47,9	14248	0,51
9	384,9	85,5	261,3	58,0	19641	0,66
10	397,1	88,2	296,3	65,8	22521	0,74
11	404,6	90,0	310,1	68,9	23782	0,79
<b>Средние значения</b> Averages	387,1	86,0	270,9	60,2	19571	0,67
<b>Кoeffиц. вариации</b> Coefficient of variation	4,37		13,01		18,61	15,64

Так, при своевременном посеве инкрустированными семенами в качественно подготовленную почву для прорастания семян и получения дружных всходов необходим только определённый запас доступной почвенной влаги, используемой для набухания, а питательные элементы проросток получает в основном из растворённого эндосперма. В последующие фазы развития при нарастании вегетативной массы и переходе растений на корневое питание почвенная неоднородность, связанная с мощностью гумусового горизонта, плотностью сложения, доступностью элементов минерального питания, засорённостью, заражённостью болезнями и заселённостью вредителями и др., всё очевиднее отражается на неоднородности растительного покрова.

Как известно, фотосинтетическая деятельность растений является биологической основой урожая. Наилучшие условия для эффективного использования солнечной энергии достигаются при быстром развитии листовой поверхности до оптимальных размеров и длительном нахождении посева в активном состоянии. Считается, что при индексе листовой поверхности 4-5 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> посев, как оптическая фотосинтезирующая система, работает в оптимальном режиме, поглощая наибольшее количество фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) [15].

По результатам наших наблюдений, озимая пшеница в почвенно-климатических условиях Оренбургского Предуралья формировала меньшую площадь листовой поверхности. Кроме этого, варьирование густоты стояния растений по элементарным участкам поля привело к значительной пестроте ассимиляционной поверхности. Максимальная площадь листьев в фазу колошения изменялась от 14248 до 24276 тыс. м<sup>2</sup>/га. Коэффициент вариации при её среднем значении 19571 тыс. м<sup>2</sup>/га составил 18,6%.

Как мы уже отмечали [16; 17], с площадью ассимиляционной поверхности сильно связан вегетационный индекс посева (NDVI). Он может использоваться для оперативного мониторинга фитометрических параметров и последующего их приближения к значениям эталонных посевов дифференциацией норм технологического воздействия. В настоящих исследованиях данная зависимость была подтверждена, связь между указанными параметрами также оказалась сильной ( $r=0,99$ ).

Пищевая промышленность и зерновой рынок в настоящее время предъявляют довольно высокие требования к качеству продовольственного зерна. В связи с этим, стремление к увеличению валовых сборов зерна может быть экономически целесообразным только при получении зерна высокого качества, поскольку разница в цене реализации зерна разных классов может нивелировать всю денежную прибавку от реализации большего количества зерна худшего качества.

По информации, размещённой в официальных открытых источниках, в настоящее время Россия полностью обеспечивает собственные потребности в зерне и экспортирует его в более ста стран мира. Традиционными рынками сбыта российского зерна считаются страны Северной Африки и Ближнего Востока, из которых крупнейшими потребителями зерна пшеницы являются Египет, Турция, Бангладеш, Иран и Азербайджан, закупающие вместе до 45% от объёма российских продаж.

В условиях общего дефицита финансовых средств и недостатка материально-технических ресурсов в основных хлебопекающих регионах РФ часто применяются упрощённые технологические схемы с исключением приёмов, гарантирующих требуемый ГОС-Тами уровень качества продукции. При высокой степени антропогенной деградации почвенного покрова,

зерновые культуры не отличаются стабильностью формирования технологических показателей требуемого уровня, определяющих их сырьевое достоинство. Вполне очевидно, что указанные обстоятельства существенно снижают экономическую эффективность производства зерна и значительно затрудняют его реализацию на мировом рынке.

При анализе требований основных стран импортеров зерна выявлено, что чаще всего они предъявляют более высокие требования на некоторые показатели качества. Например, при поставке соответствующего по влажности (14%) российскому ГОСТу зерна в Бангладеш его необходимо будет досушивать до влажности 13,5%, в Судан – до 13,0%, в Китай – до 12,5%, в Объединённые Арабские Эмираты – до 12,0%.

В некоторых странах требования к натуре зерна выше российских, предъявляемых даже к зерну I-го класса (750 г/литр): в Иране – не ниже 780 г/литр, в Египте, Турции, Саудовской Аравии и странах ЕС – не менее 770 г/литр, в Объединённых Арабских Эмиратах –

не ниже 760 г/литр. По содержанию белка при поставке в Египет, Иран и Турцию пшеница должна быть не ниже III-го класса (не менее 12,0%). Высшему классу стран ЕС по содержанию белка (не ниже 14%) соответствует только российская пшеница I-го класса. Кроме этого страны импортеры предъявляют более жесткие требования к показателям безопасности [18].

Следовательно, высокую ценность на внутреннем и мировом рынках может иметь только хорошо выполненная, богатая белком пшеница с хорошей хлебопекарной способностью. Проведённые нами исследования показали, насколько же высоки перспективы производства такого зерна в степной зоне Оренбургского Предуралья в условиях современных климатических и антропогенных изменений и какова их внутрипольная изменчивость. Так, гетерогенность опытного поля, выразившаяся в существенном варьировании урожайности, привела и к значительной динамике основных показателей качества зерна (табл. 2).

**Таблица 2.** Показатели качества зерна озимой пшеницы по элементарным участкам поля, средние за 2017-2019 гг.  
**Table 2.** Winter wheat grain quality indicators for basic field plots, average for 2017-2019

Элементарный участок Basic plots	Натура зерна, г/литр Grain nature, g/litre	Стекло- видность Glassiness, %	Кол-во белка Amount of protein, %	Кол-во клейко- вины Gluten, %	Качество клейковины Gluten quality		Класс Class
					ед. ИДК units IDK	группа group	
1	709	53	23,0	12,8	93	II	V
2	739	57	26,3	12,3	82	II	III
3	766	73	36,5	14,7	74	I	I
4	731	58	25,8	12,2	84	II	III
5	752	66	30,2	14,2	75	I	II
6	720	51	23,2	12,5	92	II	IV
7	716	52	22,9	12,6	92	II	IV
8	703	48	22,3	12,5	96	II	V
9	728	50	23,7	12,4	88	II	IV
10	747	62	28,3	12,5	80	II	III
11	758	70	34,2	14,3	75	I	II
<b>Средние значения</b> Averages	733	58	26,9	13,0	84	II	III
<b>Кoeffиц. вариации</b> The coefficient of variation	2,82	14,62	18,03	7,18	9,5		

Как известно, на хлебоприёмных предприятиях технологические свойства зерна оценивают по комплексу показателей, а деление зерновых партий на классы, определяющие в последующем цену реализации, проводится с учётом показателей, имеющих ограничительные нормы.

Среди технологически значимых показателей качества наиболее важное значение с точки зрения мукомольной промышленности имеют натура зерна и стекловидность. Зерно с высокой натурой обладает лучшими мукомольными свойствами, а от стекловидности зависит выход муки высоких сортов. В высоко-стекловидной пшенице обычно больше белков, образующих клейковину хорошего качества, в связи с этим улучшаются хлебопекарные свойства муки и такое зерно выше ценится. Наибольшей изменчивостью из двух

приведённых показателей качества в наших исследованиях характеризовалась стекловидность. При среднем значении 58% (соответствие по ГОСТ III и ниже классу) она изменялась по элементарным участкам поля от 48% (III класс) до 73% (I класс), а коэффициент вариации составил 14,6%.

Масса одного литра зерна (натура) была более стабильной, хотя её изменение в интервале от 703 до 766 г/литр, с коэффициентом вариации 2,82%, приводило к широкой вариации оценки зерна – от V до I класса.

С точки зрения пищевой ценности и хлебопекарных достоинств наиболее важными показателями пшеничного зерна является количество и качество клейковины. Чем больше содержание клейковинного белка и чем лучше его качество, тем выше пищевая

ценность и лучше хлебопекарные достоинства зерна, выражающиеся в объёмном выходе, пористости и усвояемости хлеба. На качество клейковины влияют условия выращивания, такие как обеспеченность растений элементами минерального питания, засорённость посевов, заселённость вредителями (особенно клопом вредная черепашка) и поражённость болезнями, она зависит от степени зрелости зерна и поврежденности самосогреванием в ворохах и прорастанием на корню или в валках. Из муки, имеющей клейковину III группы (неудовлетворительно крепкую или неудовлетворительно слабую) обычно получается низкопористый, плохо разрыхленный хлеб, с малым объёмным выходом.

Нашими исследованиями установлено, что содержание клейковины оказалось самым изменчивым из показателей качества зерна. С коэффициентом вариации 18,0% оно изменялось от 22,3% (IV класс) до 36,5% (I класс), а в среднем равнялось 26,9%. Качество клейковины в среднем по опыту составило 84 единицы ИДК (II группа, III-IV класс), а по отдельным элементарным участкам варьировало от 74 (I группа, I класс) до 96 единиц ИДК (II группа, III-IV класс).

По содержанию белка зерно озимой пшеницы в среднем по опытному полю (13,0%) соответствовало III классу, а в разрезе элементарных участков варьировало от III класса (12,2%) до I класса (14,7%).

В целом следует отметить, что внутривидовая гетерогенность фитоценозов озимой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья приводит к значительному варьированию (а в целом к снижению) урожайности зерна. Она выражается в значительной пестроте плотности продуктивного стеблестоя и массы зерна с колоса ввиду пространственных различий в общей выживаемости семян и растений и площади ассимиляционной поверхности. Аналогичная закономерность прослеживается и в отношении показателей качества зерна. Такое значительное варьирование урожайности и качества зерна по элементарным участкам является убедительным свидетельством проявления почвенной неоднородности полей, обусловленной как природными, так и антропогенными факторами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оренбургское Предуралье располагает целым рядом сортов озимой мягкой пшеницы, обладающих способностью стабильно формировать зерно высокого качества и являться резервом в производстве сильной пшеницы [19].

Результаты проведённых нами исследований свидетельствуют о резервах роста урожайности зерна до 3,0 т/га и качества зерна до I-II класса в зональных климатических условиях при оптимизации факторов внешней среды до уровня лучших элементарных участков путём нивелирования почвенной гетерогенности полей. Это возможно путём восстановления антропогенно-деградированного почвенного плодородия при внедрении ландшафтно-адаптивных ресурсосберегающих систем земледелия, почвозащитных и почвосстановительных севооборотов, дифференцированного внесения органических и минеральных удобрений, подбора наиболее адаптивных сортов. Целесообразно и внедрение интеллектуальных «цифровых технологий», направленных на более полную реализацию ге-

нетического потенциала возделываемых сортов при бережном отношении к природным ресурсам и сохранении биологического разнообразия.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», №ГР АААА-А17-117012610022-5.

## ACKNOWLEDGEMENT

Research was conducted within the framework of the Scientific and Research Work of the Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences), "Steppes of Russia: landscape-ecological foundations of sustainable development: substantiating the employment of nature-like technologies in conditions of natural and anthropogenic environmental change". № GR АААА-А17-117012610022-5.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афанасьев Р.А. Агрехимическое обеспечение точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. N 3. С. 46-53.
2. Лошаков В.Г., Захарова Н.И. Жизнь и деятельность Ивана Александровича Стебута на Тульской земле // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2005. N 3. С. 149-158.
3. Наумов В.Д. Научное наследие академика Д.Н. Прянишникова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2016. N 1. С. 116-127.
4. Ещенко Е.Г., Ещенко С.И., Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М. Варьирование урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием различных факторов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. N 9 (167). С. 46-52.
5. Морев Д.В., Васнев И.И. Агрэкологическая оценка земель в условиях повышенной пестроты почвенного покрова Владимирского ополья // АгроЭкоИнфо. 2016. N 1 (23). С. 2.
6. Синявский И.В. Состояние плодородия почв и экологическая устойчивость агроландшафтов Челябинской области // Агропродовольственная политика России. 2015. N 1(37). С. 2-7.
7. Ерёмин Д.И., Кибук Ю.П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. N 8(13). С. 17-26.
8. Гулянов Ю.А. Научные подходы к оценке уровня внутривидовой гетерогенности посевов в ресурсосберегающих технологиях «зелёной экономики» // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2019. N 2 (17). С. 2. URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00717.pdf> (дата обращения: 27.09.2019)
9. Итоги работы отрасли растениеводства в 2017 году и задачи на 2018 год. Москва, 2018. URL: <http://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2018/02/agronomycheskoesoveschanye-ytogy-2017.pdf> (дата обращения 27.08.2019)
10. Чибилёв А.А. Ключевые проблемы региональной

экологической политики в степной зоне России и сопредельных государств // *Степной бюллетень*. 1998. N 2. URL: <http://savesteppe.org/ru/-archives/5435> (дата обращения 16.08.2019)

11. Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Экологизация степных агротехнологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. N 3. С.5-11. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-005-011

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. URL: [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica\\_2.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_2.pdf) (дата обращения 16.12.2016)

14. ГОСТ 9353-2016 Пшеница - Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62924> (дата обращения 16.08.2019).

15. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности // *Теоретические основы фотосинтетической продуктивности*. М.: Наука, 1972. С. 511-526.

16. Гулянов Ю.А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. N 3(19). С. 64-76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76

17. Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Перспективы интеграции «цифрового землепользования» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны // *Проблемы региональной экологии*. 2019. N 2. С. 32-37. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12032

18. Грайворонская С.В. Какое зерно возьмут на экспорт? // *Сельская Сибирь*. 2018. N 3 (06). С. 38-39. URL: <http://www.ids55.ru/images/stories/MyJournal/CeC/cec2018-06.pdf> (дата обращения: 18.08.2019)

19. Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л., Каравайцев Я.А. Экологическая пластичность сортов озимой пшеницы по показателям качества зерна в Оренбургском Предуралье // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017. N 5 (67). С. 36-39.

## REFERENCES

1. Afanasyev R.A. Agrochemical ensure of precision agriculture. *Problemy agrokhimii i ekologii* [Problemy agrohimii i ekologii]. 2008, no. 3, pp. 46-53. (In Russian)

2. Loshakov V.G., Zaharova N.I. The life and work of I.A. Stebut on Tula land. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]. 2005, no. 3, pp. 149-158. (In Russian)

3. Naumov V.D. Scientific heritage of academician D.N. Pryanishnikov. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]. 2016, no. 1, pp. 116-127. (In Russian)

4. Yeshchenko Ye.G., Yeshchenko S.I., Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M. Variation of agricultural crop yields under the effect of various factors. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University]. 2018, no. 9 (167), pp. 46-52. (In Russian)

5. Morev D.V., Vasenev I.I. Agroecological assessment of land under conditions of increased variegation of soil cover of Vladimir Opole. *AgroEkoInfo* [AgroEcolInfo]. 2016, no. 1(23), 2 p. (In Russian)

6. Sinyavskiy I.V. Soil fertility and environmental sustainability of agrolandscapes of the Chelyabinsk region. *Agroprodoval'stvennaya politika Rossii* [Agri-food Policy of Russia]. 2015, no. 1(37), pp. 2-7. (In Russian)

7. Eryomin D.I., Kibuk Yu.P. Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of precision farming. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2017, no. 8(13), pp. 17-26. (In Russian)

8. Gulyanov Yu.A. [Scientific approaches to assessing the level of the field heterogeneity of crops in resource-saving technologies of the "green economy"]. *Elektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal Omskogo GAU*, 2019, no. 2(17), 2 p. (In Russian) Available at: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00717.pdf> (accessed 27.09.2019)

9. *Itogi raboty otrasli rastenievodstva v 2017 godu i zadachi na 2018 god* [The results of the crop industry in 2017 and the tasks for 2018]. Moscow, 2018. (In Russian) Available at: <http://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2018/02/agronomycheskoesoveschanye-ytogy-2017.pdf> (accessed 27.08. 2019)

10. Chibilev A.A. [Key problems of regional environmental policy in the steppe zone of Russia and neighboring states]. *Stepnoi byulleten'*, 1998, no. 2. (In Russian) Available at: <http://savesteppe.org/ru/-archives/5435> (accessed 16.08.2019)

11. Gulyanov Yu.A., Chibilev A.A. Ecologization of steppe agrotechnologies in the conditions of natural and anthropogenic environmental changes. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 3, pp.5-11. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-005-011

12. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)

13. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Methodology of state variety testing of crops]. Iss. 2. (In Russian) Available at: [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica\\_2.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_2.pdf) (accessed 16.12.2016)

14. *GOST 9353-2016 Pshenica - Tekhnicheskie usloviya* [GOST 9353-2016 Wheat - Specifications]. (In Russian) Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62924> (accessed 16.08.2019)

15. Nichiporovich A.A. [Photosynthetic activity of plants and ways to increase their productivity]. In: *Teoreticheskie osnovy fotosinteticheskoi produktivnosti* [The Theoretical Basis of Photosynthetic Productivity]. Moscow, Nauka Publ., 1972, pp. 511-526. (In Russian)

16. Gulyanov Yu.A. Monitoring of the phytometric indications using innovative crop scanning methods. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2019, no. 3(19), pp. 64-76. (In Russian). DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76

17. Gulyanov Yu.A., Chibilev A.A. Prospects for the integration of "digital land use" in the landscape-adaptive farming

of the steppe zone. *Regional environmental issues*, 2019, no. 2, pp. 32-37. (In Russian). DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12032

18. Grayvoronskaya S.V. [What grain will be exported?] *Sel'skaya Sibir'*, 2018, no. 3(06), pp. 38-39. (In Russian) Available at: <http://www.ids55.ru/images/stories/MyJournal/CeC/cec2018-06.pdf> (accessed 18.08.2019)

19. Besaliyev I.N., Panfilov A.L., Karavaytsev Ya.A. Ecological plasticity of winter wheat varieties by grain quality indices in Orenburg Preduralye. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of Orenburg State Agrarian University]. 2017, no. 5(67), pp. 36-39. (In Russian)

#### **КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Юрий А. Гулянов и Александр А. Чибилёв мл. собрали материал, анализировали и интерпретировали результаты исследований, подготовили рукопись. Александр А. Чибилёв провёл корректировку рукописи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### **КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Yuriy A. Gulyanov and Alexander A. Chibilyov jr. collected the data, conducted analysis and interpretation and drafted the manuscript. Alexander A. Chibilyov revised the manuscript. All authors equally participated in writing the manuscript and are responsible for avoiding the plagiarism and self-plagiarism.

#### **NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors state that there is no conflict of interest.

#### **ORCID**

Юрий А. Гулянов / Yuriy A. Gulyanov <https://orcid.org/0000-0002-5883-349X>

Александр А. Чибилёв / Alexander A. Chibilyov <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

Александр А. Чибилёв (мл.) / Alexander A. Chibilyov jr. <https://orcid.org/0000-0003-1109-6231>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 534.2:[591.429.4:597.553.2](282.256.341)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-89-98

## Оценка коэффициентов уравнения акустической силы цели на основе морфологии плавательного пузыря байкальского омуля

Павел Н. Аношко<sup>1</sup>, Михаил М. Макаров<sup>1</sup> , Сергей Б. Попов<sup>2</sup>, Андрей И. Дегтев<sup>3</sup>,  
Наталья Н. Деникина<sup>1</sup>, Елена В. Дзюба<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

<sup>3</sup>ООО «ПромГидроакустика», Петрозаводск, Россия

### Контактное лицо

Михаил М. Макаров, кандидат географических наук, старший научный сотрудник; лаборатория междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий, Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук; 664009 Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278.

Тел. +7(3952)423299

Email [mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru](mailto:mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru)

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

### Формат цитирования

Аношко П.Н., Макаров М.М., Попов С.Б., Дегтев А.И., Деникина Н.Н., Дзюба Е.В. Оценка коэффициентов уравнения акустической силы цели на основе морфологии плавательного пузыря байкальского омуля // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 89-98. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-89-98

Получена 26 июля 2019 г.

Прошла рецензирование 18 октября 2019 г.

Принята 17 ноября 2019 г.

### Резюме

**Цель работы** – на основе морфологических характеристик плавательного пузыря байкальского омуля оценить коэффициенты уравнения  $TS_{max}=f(SL)$  с учетом особенностей модели акустического рассеяния.

**Материал и методы.** Материалом для работы послужили 99 живых особей байкальского омуля. Для каждого экземпляра проводили измерения силы цели в садке с помощью эхолота EY500 фирмы Kongsberg Simrad и исследования морфологии плавательного пузыря. Измерения, анализ изображений и данных проводили с использованием программных ресурсов Image Pro 6.0, Excel и SciLab.

**Результаты.** Определены основные морфологические характеристики плавательного пузыря байкальского омуля и установлены зависимости размеров и его пропорций от длины тела рыб. Рассчитанные на основе результатов модели акустического рассеяния вытянутого сфероида коэффициенты уравнения  $TS=20\log(SL)-60$  хорошо согласуются с коэффициентами по максимальным значениям, полученными в условиях садкового эксперимента. При пересчете коэффициентов с учетом аллометрических изменений длины плавательного пузыря относительно длины рыбы получено уравнение  $TS=23,2\log(SL)-64,4$ . Выполнен сравнительный анализ имеющихся уравнений силы цели для байкальского омуля с полученным в данной работе.

**Заключение.** Уравнение, полученное на модели плавательного пузыря как вытянутого сфероида, адекватно описывает зависимость максимальных значений силы цели от длины тела байкальского омуля, подтверждает полученную ранее зависимость по максимальным значениям  $TS$  в условиях садкового эксперимента и может служить основой для дальнейших теоретических изысканий.

### Ключевые слова

Байкальский омуль, оценка запасов, акустическое рассеяние, сила цели, эффективная площадь поперечного сечения обратного рассеяния, озеро Байкал.

# Estimation of the Coefficients of the Equation of Acoustic Target Strength Based on the Morphology of *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) Swim Bladder

Pavel N. Anoshko<sup>1</sup>, Mikhail M. Makarov<sup>1</sup> , Sergei B. Popov<sup>2</sup>, Andrey I. Degtev<sup>3</sup>,  
Natalia N. Denikina<sup>1</sup> and Elena V. Dzyuba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>All-Russia Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

<sup>3</sup>PromGidroakustika OOO, Petrozavodsk, Russia

## Principal Contact

Mikhail M. Makarov, Cand. Geogr. Sci., Senior Researcher, Laboratory of Interdisciplinary Environmental-Economic Research and Technology, Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 3 Ulan-Batorskaya St/Post Office Box 278, Irkutsk, 664009 Russia.

Tel. +7(3952)423299

Email [mmsoft@hlserver.lin.irk.ru](mailto:mmsoft@hlserver.lin.irk.ru)

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

## How to cite this article

Anoshko P.N., Makarov V.V., Popov S.B., Degtev A.I., Denikina N.N., Dzyuba E.V. Estimation of the coefficients of the equation of acoustic target strength based on the morphology of *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) swim bladder. South of Russia: ecology, development, 2020, vol.15, no.1, pp.89-98. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-89-98

Received 26 July 2019

Revised 18 October 2019

Accepted 17 November 2019

## Abstract

**Aim.** The aim of the study was to estimate the coefficients of the equation  $TS_{max}=f(SL)$  considering the characteristics of an acoustic scattering model based on the morphological characteristics of the swim bladder of the *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775).

**Material and Methods.** Ninety-nine living specimens of *C. migratorius* served as the study material. For each specimen, the target strength in the cage was measured using an Kongsberg Simrad EY500 echo sounder and the morphology of the swim bladder was studied. Measurements, analysis of images and data were conducted using Image Pro 6.0. Excel and SciLab software resources.

**Results.** We determined the main morphological characteristics of the swim bladder in *C. migratorius* as well as the correspondence of its dimensions and proportions in relation to the length of the fish's body. The coefficients of the equation  $TS=20\log(SL)-60$ , calculated on the results of the acoustic scattering model of a prolate spheroid, agree well with the coefficients calculated from maximum values obtained in the cage experiment. During the conversion of the coefficients relating to the allometric changes in the length of the swim bladder relative to fish length, the equation  $TS=23.2\log(SL)-64.4$  was obtained. A comparative analysis of the available equations of the target strength for *C. migratorius* with those obtained in the study was undertaken.

**Conclusion.** The equation obtained on the model of the swim bladder as a prolate spheroid adequately describes the dependence of the maximum values of the target strength on the body length of the *C. migratorius* and confirms the previously obtained dependence by maximum values of TS in the cage experimental conditions and can serve as a basis for further theoretical studies.

## Key Words

Baikal omul, stock assessment, acoustic scattering, target strength, effective area of cross-section of backscatter, Lake Baikal.

## ВВЕДЕНИЕ

Байкальский омуль *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) занимает одно из основных звеньев трофической сети Байкала и является основным промысловым видом. Благодаря тому, что омуль в условиях Байкала пространственно и биотопически обитает отдельно от других пузырных рыб, он представляется удобным объектом для проведения быстрых и эффективных количественных оценок запаса с помощью гидроакустического метода [1; 2]. Однако остается ряд не до конца исследованных аспектов, решение которых должно способствовать повышению качества и достоверности результатов гидроакустических съемок, в т.ч. зависимость отражательной способности байкальского омуля от его длины.

Актуальность более тщательного исследования состояния запасов байкальского омуля в современный период определяется наметившимися экологическими изменениями в озере. Так, начиная с 2011 г. на многих участках мелководий открытого Байкала наблюдаются массовое развитие зелёных нитчатых водорослей рода *Spirogyra*, гибель эндемичных байкальских губок [3], сокращение площадей нерестилищ желтокрылки *Cottocomephorus grewingkii* (Dybowski, 1874) – одного из важных кормовых объектов байкальского омуля [4] и другие изменения в прибрежной зоне озера [5; 6]. Данные события в перспективе могут в значительной мере повлиять на процессы популяционной динамики омуля, численность которого в настоящее время снижается, в связи с чем с 2017 г. введен запрет на его промышленную добычу и любительский вылов в летний период. Результаты учетных работ с применением гидроакустических методов должны лежать в основе принятия административных решений по эксплуатации запасов байкальского омуля. Современный уровень исследований с применением гидроакустической техники позволяет с высокой точностью оценивать численность, а также и биомассу рыб при условии наличия и использования для расчетов уравнения зависимости силы цели ( $TS$ ), которая является энергетической характеристикой отраженного акустического сигнала от отдельной рыбы, от её стандартной длины ( $SL$ ), наиболее точно описывающего эту зависимость. Наряду с экспериментальным определением зависимостей  $TS=f(SL)$ , которое для многих видов рыб трудно реализовать, решением проблемы может стать построение теоретической модели акустического рассеивания и расчета  $TS$  на основе данных по морфологии плавательного пузыря, так как известно, что у пузырных рыб он определяет силу цели более чем на 90% [7]. Плавательный пузырь байкальского омуля является однокамерным и, как и у других открытопузырных рыб, имеет анатомическую связь с глоткой. Уточнение его морфологических характеристик необходимо для выявления особенностей отражения акустического сигнала и выбора модели, учитывающей все эти особенности при расчете зависимости величины силы цели от длины рыбы. Следует отметить, что необходимость альтернативных оценок уравнения  $TS=f(SL)$  для байкальского омуля связана с наличием ряда уравнений силы цели, полученных ранее в ходе проведения тралово-акустических съемок по акватории озера и садковых экспериментов, с большой девиацией результатов при их использовании для оценки численности и биомассы [2; 8; 9].

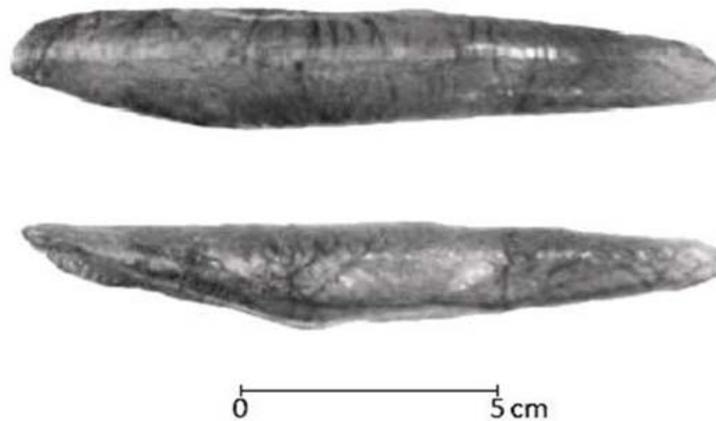
*Цель работы* – на основе морфологических характеристик плавательного пузыря байкальского омуля оценить коэффициенты уравнения  $TS_{max}=f(SL)$  с учетом особенностей модели акустического рассеивания.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили 99 живых особей байкальского омуля, отловленных для проведения измерений  $TS$  в садковом эксперименте с помощью эхолота EY500 фирмы Kongsberg Simrad (Норвегия) в ходе проведения экспедиционных работ в период с 30 сентября по 9 октября 2006 г. [8]. Садок представлял собой прямоугольный параллелепипед с основанием 87х87 см и высотой стенки 42 см. Гидроакустические измерения проводили на частоте 70 кГц с помощью эхолота EY500 фирмы Kongsberg Simrad (Норвегия), оснащенной антенной с расщепленным лучом ES 70-11. Перед началом измерений эхолот калибровали по эталонному медному шару, диаметром 32 мм и силой цели 39,2 дБ. Глубина погружения гидроакустической антенны составляла 0,5-1,0 м, между антенной и верхней гранью садка – 5,45 м. Температура воды в период проведения работ составляла 9,5°C. После гидроакустической съемки, рыб извлекали из садка для проведения последующих измерений. Измеряли промысловую ( $SL$ ) длину рыб, по Смитту ( $FL$ ) и общую ( $TL$ ) с точностью до 1 мм, массу рыб с точностью до 1 г. Для исключения дополнительной погрешности, связанной изменчивостью относительных размеров хвостового плавника и его возможных повреждений дальнейшее построение зависимостей  $TS$  от длины рыб проводили с использованием  $SL$ . Исследования морфологии плавательного пузыря проводили на предварительно замороженных при -18°C рыбах. Затем у рыб медицинским скальпелем делали серию надрезов с вентральной стороны полойно через 0,5-1,0 мм по направлению от анального отверстия к голове, до появления внешней стенки плавательного пузыря. С помощью шприца, размеченного с точностью 0,5 мл, полость плавательного пузыря заполняли водой, что позволяло установить его объем и форму. Затем рыб повторно помещали в морозильную камеру. После замерзания воды в плавательном пузыре, последний извлекали и фотографировали с дорсальной и латеральной сторон относительно положения тела. Анализ изображений и необходимые измерения проводили с использованием программных ресурсов Image Pro 6.0, анализ данных – с использованием Excel и SciLab.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плавательный пузырь байкальского омуля в дорсальной проекции имеет эллипсоидную форму с незначительным расширением в передней части (рис. 1). В латеральной проекции верхняя граница плавательного пузыря представляет собой относительно ровную дугу, соответствующую дорсальной стороне полости тела с прилегающими почками. Изменчивость пузыря с вентральной стороны обусловлена расположением и размерами внутренних органов (печени, желудочно-кишечного тракта, гонад), также как и у других видов рыб, например сардин *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) и представителей сем. Lutjanidae [10; 11].



**Рисунок 1.** Внешний вид плавательного пузыря самки байкальского омуля SL 321 мм и массой 314 г с дорсальной (сверху) и латеральной (снизу) стороны, каудальная сторона плавательного пузыря справа  
**Figure 1.** Swim bladder of a female *C. migratorius* with SL of 32 mm and weight of 314 g from dorsal (top) and lateral (bottom) sides, caudal side of swim bladder is to the right

В результате статистической обработки данных, были получены регрессионные зависимости морфологических характеристик плавательного пузыря от длины рыб (рис. 2). Значения степени ( $b$ ) в уравнениях регрессии (типа:  $Y=a \cdot X^b$ ) интерпретируются как коэффициенты аллометрии ( $b > 1$  – положительная аллометрия,  $b < 1$  – отрицательная). Согласно которым, длина плавательного пузыря связана с ростом рыб и увеличивается с положительным коэффициентом аллометрии 1,17. При этом ширина и высота плавательного пузыря отстают от увеличения его длины с коэффициентами аллометрии 0,89 и 0,85 соответственно. Полученные регрессионные модели характеризуются высокими значениями коэффициентов детерминации  $R^2$ . Отношение объема пузыря к массе у исследованных особей варьировало от 4 до 8, в среднем 6,1 [2]. Следовательно, пузырь компенсирует 4-8% массы омуля, соответственно плотность тела без пузыря у исследованных особей изменяется в пределах 1,04-1,08 г/см<sup>3</sup>. Однако эти данные могут быть несколько завышены, учитывая, что рыбы извлекались с глубины 6 м. Также, как и другие виды сиговых рыб [12], благодаря секреции газа в плавательный пузырь, байкальский омуль сохраняет плавучесть близкую к нейтральной, независимо от глубины.

Сила цели определяется величиной эффективной площади поперечного сечения обратного рассеяния объекта. Расчет этой величины достаточно просто произвести для простых геометрических поверхностей (сфера, цилиндр и пр.), тем не менее, выполнить точный расчет эффективной площади поперечного сечения обратного рассеяния на основе геометрии и анатомических особенностей рыб практически невозможно.

Однако в настоящее время имеется возможность использовать теоретические модели, которые достаточно точно описывают зависимость эффективной площади поперечного сечения обратного рассеяния рыбы от размеров плавательного пузыря. К ним относится и упрощенная модель плавательного пузыря как вытянутого сфероида [13]. В результате исследования этой модели Фурусавой [13] было установлено, что величина эффективной площади поперечного сечения обратного рассеяния вытянутого сфероида при отно-

шении его ширины к длине близкой к 0,1-0,2 определяется его длиной. По результатам наших измерений у омуля данное соотношение составляет в среднем 0,17(0,14-0,22), что позволяет применить данную модель для наших исследований. Отношение высоты пузыря к его длине составляет в среднем 0,10(0,06-0,15), значения ниже средних выходят за пределы исследованных в модели.

Модель вытянутого сфероида с параметрами близкими к форме плавательного пузыря байкальского омуля предполагает возможность расчета  $TS$  на основе формулы предложенной Фурусавой [13]:

$$TS=20\log(SL)+20\log(L_b/S�)+20\log(F/2a)-40 \quad (1)$$

где  $SL$  – стандартная длина рыб,  $L_b$  – длина плавательного пузыря,  $F$  – абсолютное значение амплитуды обратного рассеивания эхосигнала,  $a$  – большой радиус в модели вытянутого сфероида.

Результаты исследования модели и представленные автором графики позволяют рассчитать величину  $20\log(F/2a)$  без прямых измерений силы цели объекта. Согласно приведенным данным, при  $k_0a=12$  и более, эта величина приближается к -12дБ, что хорошо согласуется с асимптотическим значением.

Согласно модели,  $F/2a$  приближается к величине 1/4. Отношение  $L_b/S�$  у байкальского омуля в среднем составляет 0,4(0,35-0,45) в результате получим следующее уравнение:

$$TS=20\log(SL)-60 \quad (2)$$

Если в уравнении (1) оставить зависимость от  $L_b$ , то с учетом функции аллометрии  $L_b=0,23SL^{1.17}$ , получим следующее выражение:

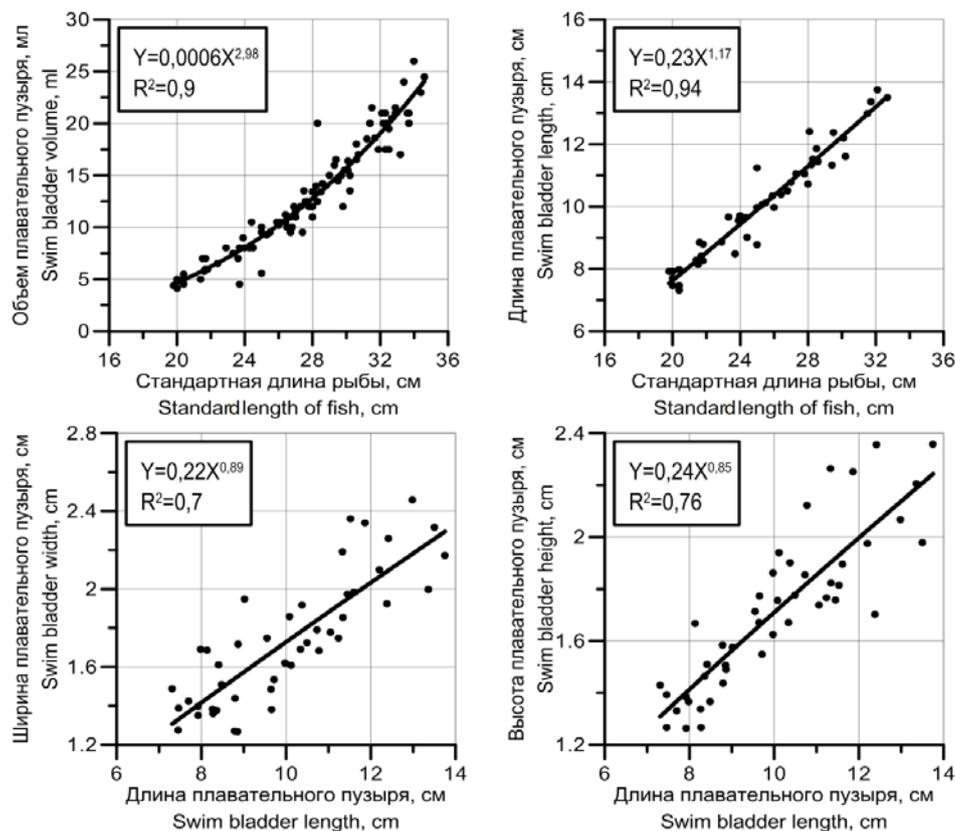
$$TS=20\log(L_b)-52=20\log(0,23SL^{1.17})-52=23,4\log(SL)-64,8 \quad (3)$$

Уравнения силы цели, полученные ранее с использованием этой модели для целого ряда видов рыб, показали соответствие с экспериментальными данными по оценке максимальных и средних значений  $TS$  [11; 13; 14]. Следует отметить, что достоинством данной упрощенной модели является использование длины плавательного пузыря, как основополагающей характеристики в расчетах. В отличие от его объема, высоты и ширины, длина ограничена полостью тела и практически не меняется под воздействием внешнего давления,

температуры и внутренних органов, обусловленным их объемом и наполнением.

Уравнения зависимости  $TS$  могут быть рассчитаны относительно различных длин рыб:  $SL$ ,  $FL$  (длина по Смитту) и  $TL$  (общая длина). У байкальского омуля

соотношения этих длин следующие:  $SL=0,96FL$  и  $SL=0,89TL$ . Уравнения, полученные ранее для байкальского омуля и других видов сиговых рыб, обобщены в таблице 1.



**Рисунок 2.** Изменение морфологических характеристик плавательного пузыря байкальского омуля  
**Figure 2.** Change in morphological characteristics of swim bladder of *C. migratorius*

**Таблица 1.** Зависимость  $TS$  от длины рыб рода *Coregonus*

**Table 1.**  $TS$  dependence on the length of fish of the genus *Coregonus*

Вид Species	Способ определения для рабочих частот Method of determination of operating frequencies	Уравнение Equation
Байкальский омуль <i>Coregonus migratorius</i> (Georgi, 1775)	38 кГц, <i>in situ</i> по максимальным значениям	$TS_{max}=20\log(TL)-61,1$ [2]
	38 кГц, <i>in situ</i> по крайним значениям выборочных распределений	$TS_{in situ}=20\log(TL)-69,1$ [2]
	38 кГц, <i>in situ</i> по модам выборочных распределений	$TS_{in situ}=20\log(TL)-70,6$ [2]
	200 кГц, <i>in situ</i> по крайним значениям выборочных распределений	$TS_{in situ}=28,7\log(SL)-76,4$ [16]
	70 кГц, <i>ex situ</i> по максимальным значениям	$TS=20\log(FL)-59,5$ [8]
	70 кГц, <i>ex situ</i> по средним значениям	$TS=20\log(FL)-64,2$ [8]
Ряпушка <i>Coregonus albula</i> (Linnaeus, 1758)	200 кГц, <i>ex situ</i>	$TS=20\log(SL)-63,4$ [9]
	на основе морфологических характеристик плавательного пузыря	$TS=23,4\log(SL)-64,8$
	120 кГц, <i>in situ</i>	[наши данные] $TS=25,5\log(L)-70,9$ [17]
Сиг <i>Coregonus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758)	70 кГц, <i>ex situ</i> по максимальным значениям	$TS=20,63\log(L)-65,1$ [18]
	70 кГц, <i>ex situ</i> по средним значениям	$TS=20,97\log(L)-66,0$ [18]

Теоретические уравнения  $TS$  для байкальского омуля практически совпадают с уравнением, полученным по максимальным значениям измерений силы цели исследованных рыб в условиях садкового эксперимента [8]:

$$TS=20\log(FL)-59,5 \quad (4)$$

Однако для расчета биомассы было рекомендовано использование уравнения, полученного по средним значениям измерений силы цели исследованных рыб [8]:

$$TS=20\log(FL)-64,2 \quad (5)$$

В 2010 году проведены работы по уточнению силы цели байкальского омуля для рабочей частоты эхолота 200 кГц [9], в результате получено выражение:

$$TS=20\log(SL)-63,45 \quad (6)$$

Результаты сравнения уравнений (3)-(6) представлены на рисунке 3.

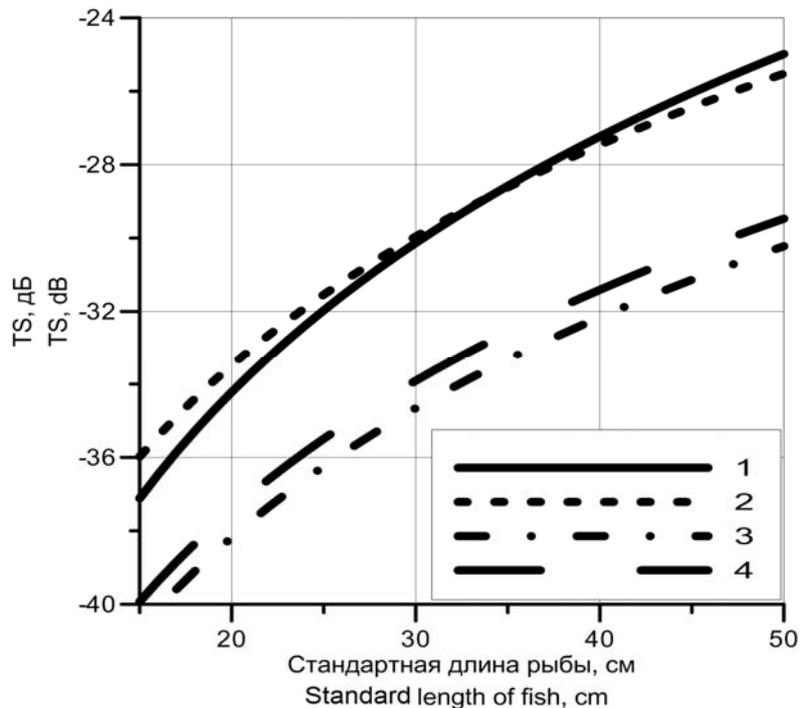
Проблема использования уравнений была обозначена начиная с первых тралово-акустических исследований запасов байкальского омуля [2]. В результате проведения тралово-акустической съемки 1998 г. были получены три уравнения:

– по максимальным значениям  $TS_{max}=20\log(TL)-61,1$ ;

– на основании траловых ловов по крайним значениям выборочных распределений  $TS_{in situ(1)}=20\log(TL)-69,1$ ;

– на основании траловых ловов по модам распределений  $TS_{in situ(2)}=20\log(TL)-70,6$ .

В период с 1995 по 2003 гг. при проведении тралово-акустических съемок [2] было использовано уравнение  $TS_{in situ(1)}=20\log(TL)-69,1$  с поправкой на рабочую частоту эхолота:  $TS_{in situ(1)}=20\log(TL)-68,9$ . Кроме того, по крайним значениям выборочных распределений было получено уравнение  $TS_{in situ}=28,7\log(SL)-76,4$  [2]. Данное уравнение не приводит к переоценке или недооценке размеров особей в результате процедуры восстановления размерного состава рыб из полученных в ходе гидроакустической съемки значений  $TS$ . По данной причине и по причине того, что оно менее всего расходится с уравнением, рекомендованным в результате проведения садкового эксперимента по определению  $TS$  [8], это уравнение было использовано в гидроакустической съемке 2007 г.



**Рисунок 3.** Зависимости значений  $TS$  от длины байкальского омуля  $SL$  полученные:

1 – по максимальным значениям в условиях садкового эксперимента для частоты 70 кГц  $TS=20\log(FL)-59,5$  [8]; 2 – на основе морфологических характеристик плавательного пузыря  $TS=23,4\log(SL)-64,8$  [наши данные]; 3 – по средним значениям в условиях садкового эксперимента для частоты 70 кГц  $TS=20\log(FL)-64,2$ ; [8]; 4 – в условиях садкового эксперимента для частоты 200 кГц  $TS=20\log(SL)-63,4$  [9]. Уравнения 1 и 3 пересчетом на стандартную длину

**Figure 3.** Dependences of  $TS$  values on the length of *C. migratorius* ( $SL$ ) obtained:

1 – from the maximum values in the cage experiment for a frequency of 70 kHz  $TS=20\log(FL)-59.5$  [8]; 2 – from the morphological characteristics of the swim bladder  $TS=23.4\log(SL)-64.8$  [our data]; 3 – from average values in the cage experiment for a frequency of 70 kHz  $TS=20\log(FL)-64.2$ ; [8]; 4 – in the cage experiment for a frequency of 200 kHz  $TS=20\log(SL)-63.4$  [9]. Equations 1 and 3 are given in terms of standard length

Оценка запасов байкальского омуля в 2011 г. проводилась с использованием уравнения (6). В данной съемке была использована частота 28,8 кГц, для которой вводилась соответствующая поправка [2].

Снижение энергии отраженного сигнала у омуля определяется преимущественно углом между осями пузыря и тела рыбы, а также различным положением рыб относительно луча эхолота [8], также как и у других видов рыб [15]. Согласно численным исследованиям [13], эффект ориентации при отклонениях от горизонтального положения до  $15^\circ$  приводит снижению  $TS$  на

3-5 Дб. Эта величина преимущественно соответствует различиям между уравнениями  $TS$ , полученными *ex situ* (табл. 1). Возможным фактором, наряду с положением рыб и, соответственно, осью наклона плавательного пузыря, влияющим на  $TS$ , является изменение его размеров под влиянием внешнего давления. Нейтральная плавучесть пузырных рыб соответствует состоянию неустойчивого равновесия. У открытопузырных рыб давление газа плавательного пузыря регулируется путем заглатывания, срамливания воздуха и газовой секреции. При подъеме рыб из нижних гори-

зонтон в верхние происходит уменьшение внешнего давления и, соответственно, увеличение объема плавательного пузыря по закону Бойля. Согласно модели [13] такие изменения не могут значительно увеличить  $TS$ , в связи с тем, что длина пузыря практически не изменяется при изменении давления в окружающей среде. Уменьшение положительной плавучести байкальского омуля осуществляется, благодаря анатомической связи плавательного пузыря с пищеводом, при необходимости рыбы могут стравливать излишний газ через ротовую полость, также как и другие виды сиговых рыб: сиг *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) и ряпушка *Coregonus albula* (Linnaeus, 1758) [12].

В случае погружения рыб в более глубокие слои, напротив, плавательный пузырь сжимается, при этом возможно уменьшение его объема и соответственное уменьшение величины обратного рассеяния. Следует отметить, что омуль осваивает глубины 0-350 м, отдельные особи отмечены до глубин 400 м как в зоне подводного склона, так и в пелагиали озера [2]. В условиях продолжительного обитания рыб в глубоких слоях в следствие секреции газа объем плавательного пузыря увеличивается до достижения рыбами нейтральной плавучести. При этом давление и плотность газа в пузыре будет соответствовать внешнему давлению. Как было показано на примере сига и ряпушки,  $TS$  при погружении рыб не изменяется [12]. Исходя из условия необходимости сохранения нейтральной плавучести в диапазоне глубин обитания омуля (50-300 м), по нашим расчетам, плавательный пузырь изменяет свой объем на 3%, с учетом плотности наполняющего его газа,  $TS$  изменится на 0,1-0,5 дБ, что несопоставимо меньше по сравнению с влиянием на величину  $TS$  угла наклона рыб относительно луча эхолота.

Особенности обратного рассеяния звука от подвижных водных организмов до настоящего времени не вполне изучены. В то время как зависимости  $TS$  от их длины поддаются теоретическим расчетам, поведенческие особенности могут приводить к значительным отклонениям от полученных моделей. Для многих видов рыб описано поведение одиночных особей, их вертикальные перемещения и ориентация, различные типы поведения в скоплениях и стаях, совершающих миграции, в зависимости от времени суток, сезона и т.д. [19-23]. Кроме того, поведение рыб меняется в соответствии с возрастом [24; 25]. Таким образом, использование полученных зависимостей  $TS$  может быть предпочтительным в тех или иных условиях проведения гидроакустических съемок. В перспективе для увеличения достоверности восстановления размерного состава рыб из значений  $TS$  и повышения точности оценки запасов необходимо изучение поведения рыб *in situ* в различных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ полученных в работе результатов и существующих уравнений силы цели для байкальского омуля показал, что уравнения, полученные *in situ*, а также рекомендуемые для использования на 4-10 дБ отличаются от таковых по максимальным значениям, что, вероятно, обусловлено особенностями плавательного поведения отдельных особей в скоплениях различного типа, его суточными и сезонными изменениями, а также погрешностями при проведении контроль-

ных ловов. В настоящее время большинство исследователей рекомендуют использовать уравнения  $TS$ , которые на 4-5 дБ меньше максимальных значений. Ряд уравнений приводится с коэффициентом при логарифме длины  $a=20$ , который значительно больше стандартного. Проведенное исследование позволило установить, что одной из причин данного отклонения являются аллометрические изменения длины плавательного пузыря относительно длины рыб. Данную аллометрию необходимо учитывать при восстановлении размерного состава рыб из значений  $TS$  для исключения аномальных значений длин особей. Коэффициенты уравнения  $TS=23,4\log(SL)-64,8$ , полученные с использованием приближений численного эксперимента, подтверждают установленную ранее зависимость по максимальным значениям  $TS$  в условиях садкового эксперимента. Данное уравнение может служить основой для дальнейших теоретических построений с учетом плавательного поведения байкальского омуля в естественных условиях, которые позволят выбрать оптимальное уравнение зависимости  $TS$  от длины рыб.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания темы № 0345–2019–0002.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by State Project No. 0345–2019–0002.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрявцев В.И., Дегтев А.И., Борисенко Э.С., Мочек А.Д. Опыт использования гидроакустического метода и аппаратуры количественной оценки водных биомасс во внутренних водоемах // Рыбное хозяйство. 2006. N 5. С. 69-72.
2. Мельник Н.Г., Смирнова-Залуми Н.С., Смирнов В.В., Мамонтов А.М., Аношко П.Н., Агафонников В.А., Астафьев С.Э., Бондаренко В.М., Варнавский А.В., Гончаров С.М., Гранин Н.Г., Дзюба Е.В., Дегтев А.И., Дегтярев В.А., Кучер К.М., Коцарь О.В., Макаров М.М., Мизюркин М.А., Небесных И.Н., Попов С.Б., Раскин А.С., Смирнова О.Г., Смолин И.А., Соколов А.В., Сорокиников А.В., Теслер В.Д., Тягун М.Л., Толстикова Л.И., Ханаев И.В., Ченский А.Г., Шерстянкин П.П., Яхненко В.М., Якуп М.А., Рудстам Л., Гийар Ж., Кудрявцев В.И. Гидроакустический учет ресурсов байкальского омуля. Новосибирск: Наука, 2009. 244 с.
3. Деникина Н.Н., Дзюба Е.В., Белькова Н.Л., Ханаев И.В., Феранчук С.И., Макаров М.М., Гранин Н.Г., Беликов С.И. Первый случай заболевания губки *Lubomirskia baicalensis*: исследование микробиома // Известия РАН. Серия биологическая. 2016. N 3. С. 315-322. DOI: 10.7868/S0002332916030024
4. Ханаев И.В., Дзюба Е.В., Кравцова Л.С., Грачев М.А. Влияние массового развития зеленых нитчатых водорослей на воспроизводство желтокрылки *Cottocomephorus grewingkii* (Dybowski, 1874) (Cottidae) в условиях экологического кризиса озера Байкал // Доклады Академии Наук. 2016. N 1. С. 119-121. DOI: 10.7868/S0869565216070306
5. Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I., Malnik V.V., Sakirko M.V., Shirokaya A.A., Bondarenko N.A., Domysheva V.M., Fedorova G.A., Kochetkov A.I., Kuzmin A.V., Likhnev A.G., Medvezhonkova O.V., Nepokrytykh A.V., Pasyunkova E.M., Poberezhnaya

- A.E., Potap'skaya N.V., Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E.M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Yu.M., Kupchinsky A.B., Bukshuk N.A. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? // *Journal of Great Lakes Research*. 2016. N 42. P. 487-497. DOI: 10.1016/j.jglr.2016.02.011
6. Timoshkin O.A., Moore M.V., Kulikova N.N., Tomberg I.V., Malnik V.V., Shimaraev M.N., Troitskaya E.S., Shirokaya A.A., Sinyukovich V.N., Zaitseva E.P., Domysheva V.M., Yamamuro M., Poberezhnaya A.E., Timoshkina E.M. Groundwater contamination by sewage causes benthic algal outbreaks in the littoral zone of Lake Baikal (East Siberia) // *Journal of Great Lakes Research*. 2018. V. 44. Iss. 2. P. 230-244. DOI: 10.1016/j.jglr.2018.01.008
7. Foote K.G. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths // *Journal of the Acoustical Society of America*. 1980. V. 67. Iss. 6. P. 2084-2089. DOI: 10.1121/1.384452
8. Гончаров С.М., Попов С.Б., Бондаренко В.М., Мельник Н.Г., Смирнова Н.С., Ханаев И.В. Измерение силы цели байкальского омуля для повышения точности его запаса в озере Байкал // *Рыбное хозяйство*. 2008. N 3. С. 87-90.
9. Макаров М.М., Дегтев А.И., Ханаев И.В., Кучер К.М., Смолин И.Н., Небесных И.А., Аношко П.Н., Дзюба Е.В. Экспериментальные исследования по измерению силы цели байкальского омуля на частоте 200 кГц // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. N 2. С. 142-146. DOI: 10.17513/mjpf.12124
10. Machias A., Tsimenides N. Anatomical and physiological factors affecting the swim-bladder cross-section of the sardine *Sardina pilchardus* // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1996. V. 53. Iss. 2. P. 280-287. DOI: 10.1139/f95-188
11. Benoit-Bird K.J., Au W.W.L., Kelley C.D. Acoustic backscattering by Hawaiian lutjanid snappers. I. Target strength and swim bladder characteristics // *Journal of the Acoustical Society of America*. 2003. V. 114. Iss. 5. P. 2757-2766. DOI: 10.1121/1.1614256
12. Knudsen F.R., Gjelland K.Ø. Hydroacoustic observations indicating swim bladder volume compensation during the diel vertical migration in coregonids (*Coregonus lavaretus* and *Coregonus albula*) // *Fisheries Research*. 2004. V. 66. Iss. 2-3. P. 337-341. DOI: 10.1016/S0165-7836(03)00191-7
13. Furusawa M. Prolate spheroidal models for predicting general trends of fish target strength // *Journal of the Acoustical Society of Japan*. 1988. V. 9. Iss. 1. P. 13-24. DOI: 10.1250/ast.9.13
14. Ayoubi S.E., Mamza K., Fujino T., Abe K., Amakasu K., Miyashita K. Estimation of target strength of *Sardina pilchardus* and *Sardinella aurita* by theoretical approach // *Fisheries Science*. 2016. V. 82. P. 417-423. DOI:1007/s12562-016-0986-8
15. Tomiyasu M., Kao W., Abe K., Minami K., Hirose T., Ogawa M., Miyashita K. The relationship between body angle and target strength of ribbonfish (*Trichiurus japonicus*) displaying a vertical swimming motion // *ICES Journal of Marine Science*. 2016. V. 73. Iss. 8. P. 2049-2057. Doi: 10.1093/icesjms/fsw095
16. Кудрявцев В.И., Дегтев А.И., Соколов А.В. Об особенностях количественной оценки запасов байкальско-го омуля гидроакустическим методом // *Рыбное хозяйство*. 2005. N 3. С. 66-69.
17. Mehner T. Prediction of hydroacoustic target strength of vendace (*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches // *Fisheries Research*. 2006. V. 79. Iss. 1-2. P. 162-169. DOI: 10.1016/j.fishres.2006.01.014
18. Borisenko E.S., Gusar A.G., Goncharov S.M. The target strength dependence of some freshwater species on their length-weight characteristics // *Proceedings of the Institute of Acoustics*. 1989. V. 11. P. 27-34.
19. Rudstam L.G., Parker S.L., Einhouse D.W., Witzel L.D., Warner D.M., Stritzel J.L., Parrish D.L., Sullivan P.J. Application of *in situ* target-strength estimations in lakes examples from rainbow smelt surveys in Lakes Erie and Champlain // *ICES Journal of Marine Science*. 2003. V. 60. Iss. 3. P. 500-507. DOI: 10.1016/S1054-3139(03)00046-8
20. Jolles J.W., Boogert N.J., Sridhar V.H., Couzin I.D., Manica A. Consistent individual differences drive collective behavior and group functioning of schooling fish // *Current Biology*. 2017. V. 27. Iss. 18. P. 2862-2868. DOI: 10.1016/j.cub.2017.08.004
21. Griffiths C.A., Patterson T.A., Blanchard J.L., Righton D.A., Wright S.R., Pitchford J.W., Blackwell P.G. Scaling marine fish movement behavior from individuals to populations // *Ecology and Evolution*. 2018. V. 8. Iss. 14. P. 7031-7043. DOI: 10.1002/ece3.4223
22. Filella A., François N., Sire C., Kanso E., Eloy C. Model of collective fish behavior with hydrodynamic interactions // *Physical Review Letters*. 2018. V. 120. Iss. 19. P. 1-6. DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.198101
23. Wang X., Zhang J., Zhao X., Chen Z., Ying Y., Li Z., Xu D., Liu Z., Zhou M. Vertical distribution and diel migration of mesopelagic fishes on the northern slope of the South China sea // *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2019. V. 167. P. 128-141. DOI: 10.1016/j.dsr2.2019.05.009
24. Navarro-Guillén C., Cerqueira M., Conceição Luis E.C., Yúfera M., Engrola S. Daily nutrient utilization and swimming activity patterns in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) post-larvae // *Aquaculture*. 2018. V. 492. P. 164-169. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.03.063
25. Касумян А.О., Павлов Д.С. Эволюция стайного поведения рыб // *Вопросы ихтиологии*. 2018. Т. 58. N 5. С. 534-543. DOI: 10.1134/S0042875218050119

## REFERENCES

1. Kudryavtsev V.I., Dyogtev A.I., Borisenko E.S., Mochek A.D. The experience of use of hydroacoustical method and the outfit for assessment of water biomass at inner water bodies. *Rybnoye khozyaystvo* [Fisheries]. 2006, no. 5, pp. 69-72. (In Russian)
2. Mel'nik N.G., Smirnova-Zalumi N.S., Smirnov V.V., Mamonov A.M., Anoshko P.N., Agafonnikov V.A., Astaf'ev S.E., Bondarenko V.M., Varnavskii A.V., Goncharov S.M., Granin N.G., Dzyuba E.V., Degtev A.I., Degtyarev V.A., Kucher K.M., Kotsar' O.V., Makarov M.M., Mizyurkin M.A., Nebesnykh I.N., Popov S.B., Raskin A.S., Smirnova O.G., Smolin I.A., Sokolov A.V., Sorokovikov A.V., Tesler V.D., Tyagun M.L., Tolstikova L.I., Khanaev I.V., Chenskii A.G., Sherstyankin P.P., Yakhnenko V.M., Yakup M.A., Rudstam L., Giiar Zh., Kudryavtsev V.I. *Gidroakusticheskii uchet resursov baikal'skogo omulya* [Hydroacoustic surveys of Baikal omul]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2009, 244 p. (In Russian)
3. Denikina N.N., Dzyuba E.V., Bel'kova N.L., Khanaev I.V., Feranchuk S.I., Makarov M.M., Granin N.G., Belikov S.I. The

- first case of disease of the sponge *Lubomirskia baicalensis*: Investigation of its microbiome. *Biology Bulletin*, 2016, vol. 43, no. 3, pp. 263-270. DOI: 10.7868/S0002332916030024
4. Khanaev I.V., Dzyuba E.V., Kravtsova L.S., Grachev M.A. The effect of bloom of filamentous green algae on the reproduction of yellowfin sculpin *Cottocomephorus grewingkii* (Dybowski, 1874) (Cottoidae) during ecological crisis in Lake Baikal. *Doklady Biological Sciences*, 2016, vol. 467, no. 1, pp. 63-64. DOI: 10.7868/S0869565216070306
5. Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I., Malnik V.V., Sakirko M.V., Shirokaya A.A., Bondarenko N.A., Domysheva V.M., Fedorova G.A., Kochetkov A.I., Kuzmin A.V., Lukhnev A.G., Medvezhonkova O.V., Nepokrytykh A.V., Pasyunkova E.M., Poberezhnaya A.E., Potapskaya N.V., Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E.M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Yu.M., Kupchinsky A.B., Bukshuk N.A. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? *Journal of Great Lakes Research*, 2016, no. 42, pp. 487-497. DOI: 10.1016/j.jglr.2016.02.011
6. Timoshkin O.A., Moore M.V., Kulikova N.N., Tomberg I.V., Malnik V.V., Shimaraev M.N., Troitskaya E.S., Shirokaya A.A., Sinyukovich V.N., Zaitseva E.P., Domysheva V.M., Yamamuro M., Poberezhnaya A.E., Timoshkina E.M. Groundwater contamination by sewage causes benthic algal outbreaks in the littoral zone of Lake Baikal (East Siberia). *Journal of Great Lakes Research*, 2018, vol. 44, iss. 2, pp. 230-244. DOI: 10.1016/j.jglr.2018.01.008
7. Foote K.G. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1980, vol. 67, iss. 6, pp. 2084-2089. DOI: 10.1121/1.384452
8. Goncharov S.M., Popov S.B., Bondarenko V.M., Melnik N.G., Smirnova N.S., Khanaev I.V. Measurement of target strength of Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*) for increasing the accuracy of its stock assessment in Lake Baikal. *Rybnoye khozyaystvo* [Fisheries]. 2008, no. 3, pp. 87-90. (In Russian)
9. Makarov M.M., Degtev A.I., Khanaev I.V., Kucher K.M., Smolin I.N., Nebesnykh I.A., Anoshko P.N., Dzyuba E.V. Experimental studies for measuring the target strength of the baikalian omul at the frequency of 200 Khz. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2018, no. 2, pp. 142-146. Doi: 10.17513/mjpf.12124
10. Machias A., Tsimenides N. Anatomical and physiological factors affecting the swim-bladder cross-section of the sardine *Sardina pilchardus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, vol. 53, iss. 2, pp. 280-287. DOI: 10.1139/f95-188
11. Benoit-Bird K.J., Au W.W.L., Kelley C.D. Acoustic backscattering by Hawaiian lutjanid snappers. I. Target strength and swim bladder characteristics. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2003, vol. 114, iss. 5, pp. 2757-2766. DOI: 10.1121/1.1614256
12. Knudsen F.R., Gjelland K.Ø. Hydroacoustic observations indicating swim bladder volume compensation during the diel vertical migration in coregonids (*Coregonus lavaretus* and *Coregonus albula*). *Fisheries Research*, 2004, vol. 66, iss. 2-3, pp. 337-341. DOI: 10.1016/S0165-7836(03)00191-7
13. Furusawa M. Prolate spheroidal models for predicting general trends of fish target strength. *Journal of the Acoustical Society of Japan*, 1988, vol. 9, iss. 1, pp. 13-24. DOI: 10.1250/ast.9.13
14. Ayoubi S.E., Mamza K., Fujino T., Abe K., Amakasu K., Miyashita K. Estimation of target strength of *Sardina pilchardus* and *Sardinella aurita* by theoretical approach. *Fisheries Science*, 2016, vol. 82, pp. 417-423. DOI:1007/s12562-016-0986-8
15. Tomiyasu M., Kao W., Abe K., Minami K., Hirose T., Ogawa M., Miyashita K. The relationship between body angle and target strength of ribbonfish (*Trichiurus japonicus*) displaying a vertical swimming motion. *ICES Journal of Marine Science*, 2016, vol. 73, iss. 8, pp. 2049-2057. Doi: 10.1093/icesjms/fsw095
16. Kudryavtsev V.I., Dyogtev A.I., Sokolov A.V. About peculiarities of quantitative assessment of Baikal omul stock by hydroacoustic method. *Rybnoye khozyaystvo* [Fisheries]. 2005, no. 3, pp. 66-69. (In Russian)
17. Mehner T. Prediction of hydroacoustic target strength of vendace (*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches. *Fisheries Research*, 2006, vol. 79, iss. 1-2, pp. 162-169. DOI: 10.1016/j.fishres.2006.01.014
18. Borisenko E.S., Gusar A.G., Goncharov S.M. The target strength dependence of some freshwater species on their length-weight characteristics. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 1989, vol. 11, pp. 27-34.
19. Rudstam L.G., Parker S.L., Einhouse D.W., Witzel L.D., Warner D.M., Stritzel J.L., Parrish D.L., Sullivan P.J. Application of *in situ* target-strength estimations in lakes examples from rainbow smelt surveys in Lakes Erie and Champlain. *ICES Journal of Marine Science*, 2003, vol. 60, iss. 3, pp. 500-507. DOI: 10.1016/S1054-3139(03)00046-8
20. Jolles J.W., Boogert N.J., Sridhar V.H., Couzin I.D., Manica A. Consistent individual differences drive collective behavior and group functioning of schooling fish. *Current Biology*, 2017, vol. 27, iss. 18, pp. 2862-2868. DOI: 10.1016/j.cub.2017.08.004
21. Griffiths C.A., Patterson T.A., Blanchard J.L., Righton D.A., Wright S.R., Pitchford J.W., Blackwell P.G. Scaling marine fish movement behavior from individuals to populations. *Ecology and Evolution*, 2018, vol. 8, iss. 14, pp. 7031-7043. DOI: 10.1002/ece3.4223
22. Filella A., François N., Sire C., Kanso E., Eloy C. Model of collective fish behavior with hydrodynamic interactions. *Physical Review Letters*, 2018, vol. 120, iss. 19, pp. 1-6. DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.198101
23. Wang X., Zhang J., Zhao X., Chen Z., Ying Y., Li Z., Xu D., Liu Z., Zhou M. Vertical distribution and diel migration of mesopelagic fishes on the northern slope of the South China sea. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2019, vol. 167, pp. 128-141. DOI: 10.1016/j.dsr2.2019.05.009
24. Navarro-Guillén C., Cerqueira M., Conceição Luis E.C., Yúfera M., Engrola S. Daily nutrient utilization and swimming activity patterns in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) post-larvae. *Aquaculture*, 2018, vol. 492, pp. 164-169. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.03.063
25. Kasumyan A.O., Pavlov D.S. Evolution of schooling behavior in fish. *Journal of Ichthyology*, 2018, vol. 58, no. 5, pp. 670-678. DOI: 10.1134/S0032945218050090

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Павел Н. Аношко руководил постановкой цели исследования, осуществлял отлов рыб, исследовал морфологию плавательного пузыря, анализировал данные, рассчитал на основе результатов модели акустического рассеяния вытянутого сфероида теоретическое уравнение  $TS=20\log(SL)-60$ , подготовил рукопись статьи. Сергей Б. Попов проводил *ex situ* оценку силы цели, участвовал в обсуждении результатов и написании рукописи статьи. Михаил М. Макаров проводил сводный анализ полученных результатов, участвовал в написании и корректировке рукописи статьи. Андрей И. Дегтев и Наталья Н. Деникина участвовали в обсуждении результатов и написании рукописи статьи. Елена В. Дзюба осуществляла подготовку рыб к проведению измерений плавательного пузыря, участвовала в обсуждении, оформлении и корректировке рукописи статьи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Pavel N. Anoshko formulated the aim of the study, captured fish, studied the morphology of the swim bladder, analysed data, calculated the theoretical  $TS=20\log(SL)-60$ , equation from the results of the model of the acoustic scattering by prolate spheroid and prepared the manuscript. Sergei B. Popov conducted *ex situ* assessment of the target strength, participated in the discussion of the results, preparation of the manuscript. Mikhail M. Makarov conducted a summary analysis of the obtained results, participated in the preparation and correction of the manuscript. Andrey I. Degtev and Natalia N. Denikina participated in the discussion of the results and preparation of the manuscript. Elena V. Dzyuba prepared fish for measurements of the swim bladder, participated in the discussion, preparation and correction of the manuscript. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors state that there is no conflict of interest.

**ORCID**

Павел Н. Аношко / Pavel N. Anoshko <https://orcid.org/0000-0001-9506-4135>  
Михаил М. Макаров / Mikhail M. Makarov <https://orcid.org/0000-0002-1758-4458>  
Сергей Б. Попов / Sergei B. Popov <https://orcid.org/0000-0001-9124-418X>  
Андрей И. Дегтев / Andrey I. Degtev <https://orcid.org/0000-0003-4885-397X>  
Наталья Н. Деникина / Natalia N. Denikina <https://orcid.org/0000-0002-3952-3277>  
Елена В. Дзюба / Elena V. Dzyuba <https://orcid.org/0000-0002-0769-694X>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 574.24  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-99-106

## Использование маркера оксидативного стресса (МДА) и цитогенетического маркера в системе эколого-генетического мониторинга Северного Каспия

Татьяна В. Кузина<sup>1</sup> , Алексей В. Кузин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

<sup>2</sup>ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», Астрахань, Россия

### Контактное лицо

Татьяна В. Кузина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Астраханский Государственный Университет; 414056 Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а (корпус АГУ №2).

Тел. +79033475484

Email [tatuls@mail.ru](mailto:tatuls@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4527-0333>

### Формат цитирования

Кузина Т.В., Кузин А.В. Использование маркера оксидативного стресса (МДА) и цитогенетического маркера в системе эколого-генетического мониторинга Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 99-106. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-99-106

Получена 20 августа 2019 г.

Прошла рецензирование 2 ноября 2019 г.

Принята 17 декабря 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Важными задачами эколого-генетического мониторинга являются оценка и последующее длительное динамическое наблюдение за возможными отрицательными генетическими последствиями воздействия поллютантов на определенные звенья метаболизма. Цитогенетические и биохимические биомаркеры используются в биомониторинговых исследованиях с целью анализа генотоксичности загрязняющих факторов водной среды. Целью является анализ использования маркеров оксидативного стресса и цитогенетических нарушений у бычковых рыб, выловленных на мелководных и глубоководных станциях Северного Каспия, в системе эколого-генетического мониторинга.

**Материал и методы.** Исследование проведено на 227 экземплярах рыб бычковой породы, методом цитогенетического и биохимического анализа.

**Результаты.** Выявлена корреляционная зависимость между эритроцитами с микроядрами и эритроцитами с суммированным количеством нарушений ядра  $R=-0,83$  ( $p<0,05$ ). Представлены результаты корреляционного анализа между показателями оксидативного стресса и количеством деструктивных изменений в ядре эритроцитов. Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод, что соматический мутагенез (образование микроядер) после воздействия свободных радикалов может являться адаптивной реакцией на данный стрессовый фактор.

**Заключение.** Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что соматический мутагенез (образование микроядер) после воздействия свободных радикалов может являться адаптивной реакцией на стрессовый фактор в условиях обитания в районе ликвидированных поисково-оценочных скважин «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» в Северном Каспии.

### Ключевые слова

Окислительный стресс, перекисное окисление липидов, малоновый диальдегид, микроядра, эритроциты.

# Use of Oxidative Stress (MDA) Markers and Cytogenetic Markers in the Ecological-Genetic Monitoring of the Northern Caspian Sea

Tatiana V. Kuzina<sup>1</sup>  and Alexey V. Kuzin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

<sup>2</sup>LUKOIL-Nizhnevolzhskneft LLC, Astrakhan, Russia

## Principal Contact

Tatiana V. Kuzina, Cand. Biol. Sci., Senior Researcher, Astrakhan State University; 20a (ASU bldg No. 2) Tatishchev St, Astrakhan, 414056 Russia.

Tel. +79033475484

Email [tatuls@mail.ru](mailto:tatuls@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4527-0333>

## How to cite this article

Kuzina T.V., Kuzin A.V. Use of oxidative stress (MDA) markers and cytogenetic markers in the ecological-genetic monitoring of the Northern Caspian Sea.

*South of Russia: ecology, development.* 2020, vol. 15, no. 1, pp. 99-106. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-99-106

Received 20 August 2019

Revised 2 November 2019

Accepted 17 December 2019

## Abstract

**Aim.** Assessment and subsequent long-term dynamic observation of possible negative genetic consequences of the effect of pollutants on certain units of metabolism are important tasks in ecological-genetic monitoring. Cytogenetic and biochemical biomarkers are used in biomonitoring studies to analyze the genotoxicity of aquatic pollutants. The purpose of the work was to analyse the use of markers of oxidative stress and cytogenetic disorders in goby fish caught at shallow and deep-water stations of the Northern Caspian Sea in the ecological-genetic monitoring system.

**Material and Methods.** The study was undertaken on 227 specimens of goby fish by cytogenetic and biochemical analysis.

**Results.** The correlation dependence between erythrocytes with micronuclei and erythrocytes with the quantity of damaged nuclei summarized as  $R = -0.83$  ( $p < 0.05$ ) was shown. The results of correlation analysis between oxidative stress indices and the number of destructive changes in erythrocyte nucleus are presented. Our analysis thus leads us to the conclusion that somatic mutagenesis (micronuclear formation) after exposure to free radicals can be an adaptive response to this stress factor.

**Conclusion.** Analysis leads us to the conclusion that somatic mutagenesis (formation of micro-nuclei) after exposure to free radicals can be an adaptive response to stress factor in habitat conditions in areas of liquidated prospecting wells of LUKOIL-Nizhnevolzhskneft in the Northern Caspian Sea.

## Key Words

Oxidative stress, lipid peroxidation, malonic dialdehyde, micronucleus, erythrocytes.

**ВВЕДЕНИЕ**

Окислительный стресс в организме возникает тогда, когда имеет место, с одной стороны, чрезмерная продукция активных форм кислорода (АФК), а с другой – истощение ресурсов антиоксидантной системы. Излишнее образование свободных радикалов может быть следствием прямого влияния поллютантов окружающей среды на органы-мишени. Рост значения перекисного окисления липидов вызывают как тяжелые металлы, например, так и токсиканты органического ряда – пестициды, гербициды, нефтепродукты, а еще смесь всевозможных вредоносных препаратов, попадающих в воду в виде нечистых стоков промышленных предприятий. Обладая высокой окислительной способностью, АФК вызывают повреждение всевозможных компонентов клеточной стенки и органелл клеток, в особенности это касается липидных, белковых молекул, а также молекул ДНК. Более значимыми негативными эффектами подобного взаимодействия АФК с клетками считается перекисное окисление липидов и фрагментация молекул ДНК [1]. Продукты перекисления липидов имеют мутагенный и генотоксический потенциал в отношении молекулы ДНК клеток. Увеличение количества молекул малонового диальдегида (МДА) прямо пропорционально фрагментации ДНК клеток, собственно что показывает связь между окислительным стрессом клетки и повреждением ее генетического материала. Окислительный стресс считается основным этиологическим моментом повреждения генетического материала клетки [2; 3]. Продукты окисления липидов приводят к перекисному разрушению структур мембраны клетки, снижению функциональной активности различных белков, активации апоптоза [4].

Накопление в организме числа мутантно измененных клеток может происходить при подавлении систем, которые держат под контролем генетический гомеостаз организма. Мутации могут возникнуть в ответ на факторы, имеющие даже очень слабый мутагенный эффект. Аккумуляция генетически измененных соматических клеток способствует возникновению дисфункциональных изменений, заболеваний и старению организма [5-7].

Актуальными задачами эколого-генетического мониторинга являются оценка и дальнейшее длительное динамическое наблюдение за вероятными отрицательными генетическими последствиями влияния поллютантов на определенные звенья мета-

болизма. Цитогенетические и биохимические биомаркеры используются в биомониторинговых исследованиях с целью оценки генотоксичности загрязняющих факторов водной среды [7].

Метод учета микроядер в эритроцитах периферической крови обладает довольно высокой чувствительностью и прогностической значимостью и применяется в качестве биомаркера ранних эффектов генотоксических веществ [8; 9]. Этот метод на протяжении нескольких десятков лет пользуется международным признанием и позволяет получить информацию о мутагенном воздействии на клетки и на весь организм в целом [10; 11].

*Цель работы:* анализ использования маркеров оксидативного стресса и цитогенетических нарушений у рыб бычковых пород, отловленных в местах ликвидированных поисково-оценочных скважин «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» в Северном Каспии, в рамках программы производственного экологического контроля и мониторинга ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть».

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалом для работы послужили цитогенетические и биохимические исследования рыб. Работа выполнена в рамках программы производственного экологического контроля и мониторинга ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть». Бычков вылавливали в районе ликвидированных поисково-оценочных скважин «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть». В летний период 2017-2018 гг. исследование проведено на 227 экземплярах рыб бычковой породы (рис. 1). Анализ цитогенетических нарушений в периферической крови рыб производился по стандартной методике [12]. Всего в среднем на мазок проанализировано 1050 эритроцитов. Маркером цитогенетических нарушений служили микроядра, вместе с этим отмечали и патологические нарушения ядра кровяных клеток. Маркером оксидативного стресса служил показатель малонового диальдегида (МДА), определенный по общепринятой методике [13]. В таблице 1 приведена структура исследований.

Результаты обработаны статистически с помощью программ «Microsoft Office Excel 2007» и «Statistica 10», достоверность оценивали по критерию Стьюдента [14].

**Таблица 1.** Структура проведенных исследований  
**Table 1.** Research structure

Структура Structure	Количество станций Number of stations	Количество проанализированных рыб Number of fish analyzed	Анализируемые показатели Indicators analysed
Широтная / Shirotnay	5	56	Микроядра / Micronucleus
Ракушечная / Rakushechnay	9	93	Патология ядра / Pathology of the nucleus
Сарматская / Sarmatskay	4	39	МДА /MDA
Западно-Сарматская / Zapadno-Sarmatskay	3	39	АсПОЛ / AsPOL СпПОЛ / SpPOL



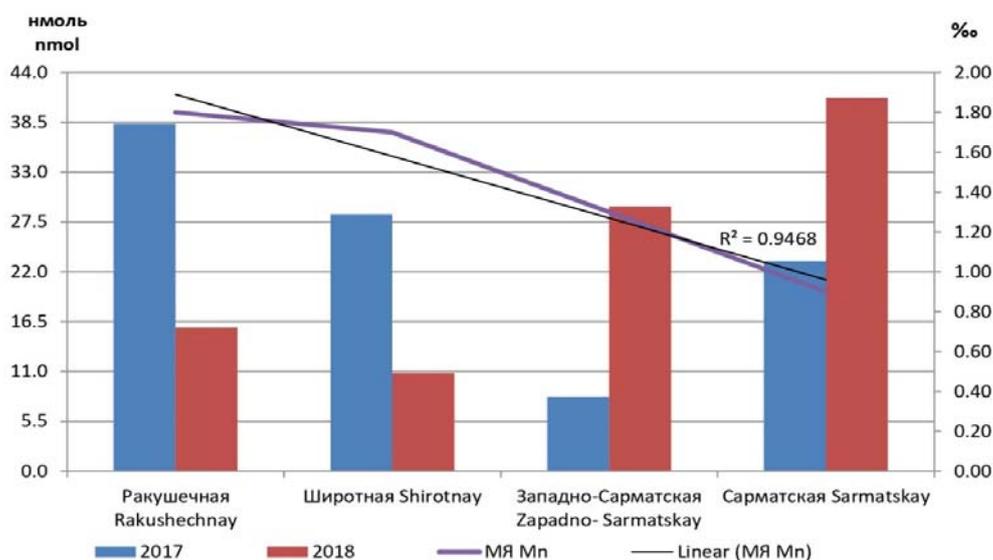
**Рисунок 1.** Бычки, отобранные на цитогенетические и биохимические исследования  
**Figure 1.** Goby fish selected for cytogenetic and biochemical studies

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматривая различные аспекты проблемы регуляторной роли  $H_2O_2$  в биологических системах, принципиально важно не пропустить и вопрос причастности прооксидантов к инициации каскада событий, ведущих к детерминации апоптотического или некротического варианта гибели клеток. Невысокие (физиологические) концентрации  $H_2O_2$  повышают устойчивость клеток к влиянию неблагоприятных факторов. Излишняя продукция прооксидантов и значительное возрастание окислительно-восстановительного потенциала индуцирует апоптоз. Наиболее важное значение перекисного окисления липидов для организма заключается в обновлении мембранных структур клеток и поддержании посредством этого гомеостаза [2].

В качестве маркера оксидативного стресса был оценен уровень накопления МДА в печени бычковых рыб. На станциях структур «Сарматская» и «Западно-Сарматская» межгодовые изменения однозначно направлены на увеличение процессов перекисления липидов в печени бычковых рыб. Об этом свидетельствует рост продукта окисления – МДА в 2018 г. в 3,5 раза относительно 2017 г. в печени рыб на структуре «Западно-Сарматская», а на структуре «Сарматская» рост составил почти в 2 раза в сравнении с 2017 годом.

На рисунке 2 представлена диаграмма накопления МДА в печени и микроядер (МЯ) в эритроцитах периферической крови рыб за годы исследования, а с помощью регрессионного анализа построена трендовая модель с коэффициентом аппроксимации  $R^2=0,9468$ .

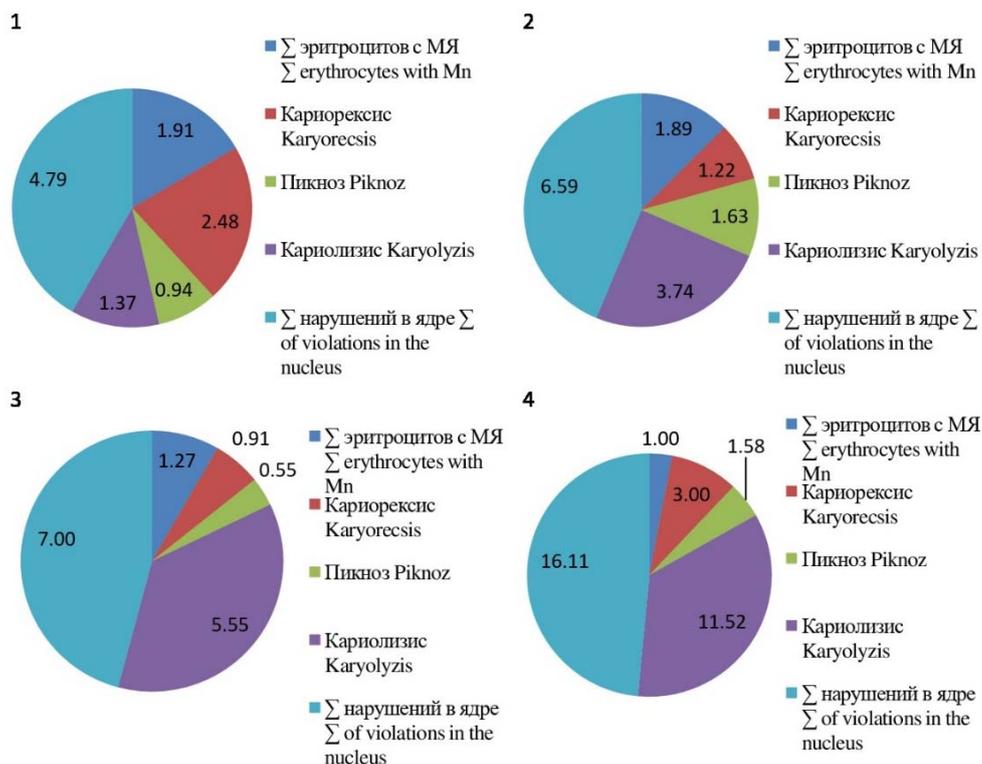


**Рисунок 2.** Изменения накопления МДА в печени и МЯ в эритроцитах бычковых рыб Северного Каспия  
**Figure 2.** Changes in accumulation of MDA in the liver and Mn in erythrocytes of goby fish of the Northern Caspian Sea

Маркером цитогенетических нарушений служил микроядерный тест. Формирование микроядер в клетках является следствием нарушения тиолового механизма митотического аппарата с отслаиванием целых или фрагментов хромосом [15]. На мазках крови у проанализированных рыб летом 2017-2018 гг. не отмечены эритроциты с МЯ у 23% и 25% рыб соответственно. Наибольший уровень встречаемости данного маркера оценен на мазках крови рыб, выловленных на мелководных станциях структур «Широтная» и «Ракушечная» ( $1,9 \pm 0,0063$  и  $1,8 \pm 0,002$ , в 2017 и 2018 году соответственно).

Исследование ядер эритроцитов продемонстрировало присутствие таких деструктивных изменений как: кариорексис (разложение ядра на отдельные части при сохранении ядерной оболочки), кариопикноз (уплотнение ядерного хроматина) и кариолизис (растворение кариоплазмы и ее вытекание в цитоплазму клетки).

Результаты по частоте встречаемости микроядер и патологических нарушений в ядрах эритроцитов рыб, отловленных на различных структурах, показаны на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Сравнение типов патологий ядра в эритроцитах периферической крови бычковых рыб, выловленных структурах Северного Каспия (1 – Ракушечная, 2 – Широтная, 3 – Западно-Сарматская, 4 – Сарматская)

**Figure 3.** Comparison of the types of pathologies of the nucleus in the erythrocytes of peripheral blood of goby fish caught in areas of the Northern Caspian Sea (1 – Rakushechnay, 2 – Shirotnay, 3 – Zapadno-Sarmatskay, 4 – Sarmatskay)

Корреляционная зависимость между эритроцитами с МЯ и клетками крови с суммированным количеством патологических нарушений ядра (кариорексис, пикноз и кариолизис) равна коэффициенту  $R = -0,83$  ( $p < 0,05$ ). Что подтверждает ранее приведенное автором исследование о адаптивной роли образования

микроядер в клетках крови. Результаты корреляционного анализа между показателями оксидативного стресса и количеством деструктивных изменений в ядре эритроцитов представлены в таблице 2.

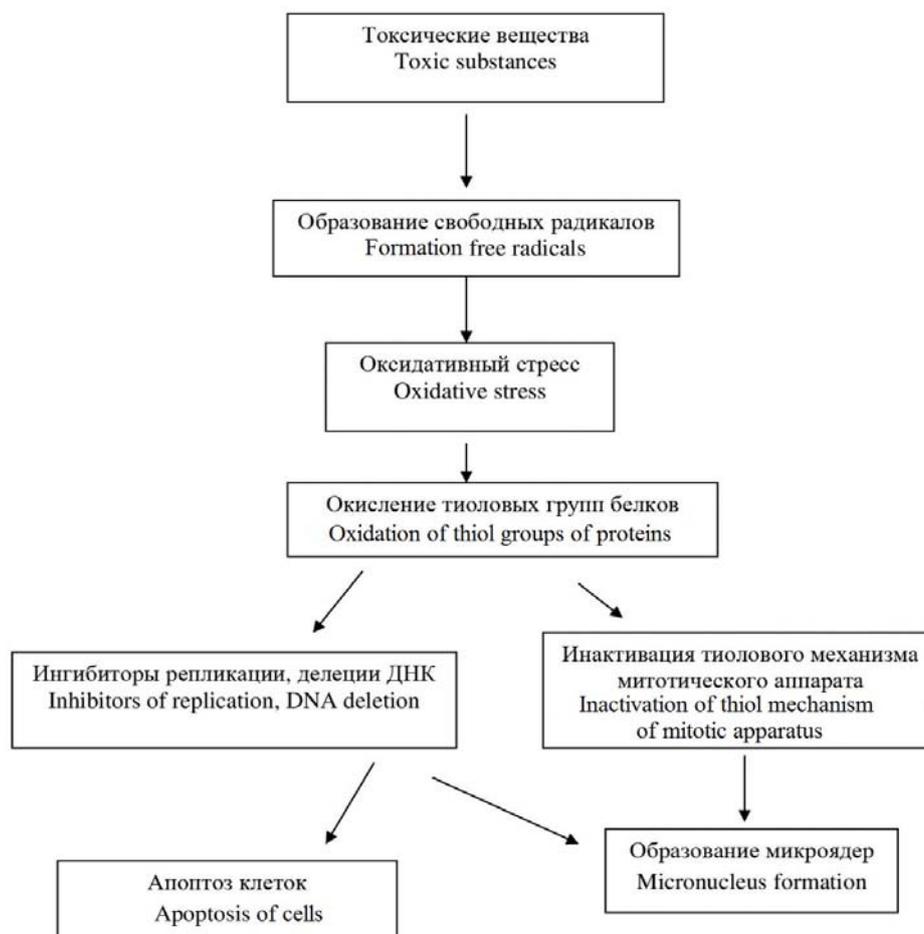
**Таблица 2.** Корреляционная зависимость уровня цитогенетических нарушений и показателей оксидативного стресса  
**Table 2.** Correlation dependence of cytogenetic disorders and indicators of oxidative stress

Показатель Indicator	Показатель ПОЛ (печень) Indicator POL (level)	Коэф. корреляции Correlation coefficient	p<
<b>Микроядра</b> Micronucleus	СпПОЛ / SpPOL	-0,74	0,05
	АсПОЛ / AsPOL	-0,84	0,05
	МДА / MDA	-0,87	0,01
<b>Сумма нарушений в ядре</b> Quantity of damages in the nucleus	СпПОЛ / SpPOL	0,47	0,05
	АсПОЛ / AsPOL	0,61	0,05
	МДА / MDA	0,71	0,01
<b>Пикноз</b> Piknoz	СпПОЛ / SpPOL	-0,59	0,05
	АсПОЛ / AsPOL	-0,6	0,05

<b>Кариорексис</b> Karyorecsis	МДА / MDA	-0,52	0,05
	СпПОЛ / SpPOL	0,44	0,05
	АсПОЛ / AsPOL	0,48	0,05
<b>Кариолизис</b> Karyolysis	МДА / MDA	0,55	0,05
	СпПОЛ / SpPOL	0,50	0,05
	АсПОЛ / AsPOL	0,65	0,05
	МДА / MDA	0,73	0,01

В результате проведенного анализа оценки маркеров цитогенетических нарушений и оксидативного стресса у бычковых рыб, выловленных в районе ликвидированных поисково-оценочных скважин «ЛУКОЙЛ-

Нижневожскнефть» в Северном Каспии можно представить схему цитогенетических последствий перекисидации липидов (рис. 4).



**Рисунок 4.** Связь оксидативного стресса и цитогенетического гомеостаза  
**Figure 4.** Relationship between oxidative stress and cytogenetic homeostasis

Повышенное образование свободных радикалов в организме и связанное с этим усиление процессов перекисидации липидов (которое называют оксидативным стрессом) сопровождается рядом нарушений в функционировании клеток. Перекисное окисление липидов сопряжено окислением тиоловых (сульфгидрильных) групп мембранных белков.

Возможно одной из причин патологических митозов при канцерогенезе может быть повреждение в соответствующих клетках тиолового механизма сборки митотического аппарата, вызванное перекисидативными условиями в них. Липидные радикалы и продукты ПОЛ могут, вероятно, непосредственно

воздействовать на тиоловые группы белков и на указанный механизм, нарушая цитоскелет, сборку белков митотического аппарата в ориентированную систему веретена деления, а также деление центриолей и расхождение хромосом [16]. И вследствие микроядра могут образовываться при конденсации хромосомных фрагментов или целых хромосом, которые не включены в основанное ядро после анафазы во время аномального митоза. Это молекулярный механизм образования МЯ из хромосомного материала [15].

Вероятно, липидные радикалы и перекиси наряду с деструктивным эффектом протеиназ

непосредственно влияют на обозначенный механизм, нарушают цитоскелет, сборку белков митотического аппарата в направленную систему веретена деления, а также деление центриолей и расхождение хромосом.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ полученных результатов и сравнение их с литературными источниками свидетельствует, что активные кислородсодержащие радикалы являются универсальными участниками любых видов клеточной гибели на ее конечных этапах, когда происходит деструктивные нарушения в клеточной мембране и освобождение свободных радикалов из органоидов клетки. Известно, что высокие концентрации активных радикалов могут индуцировать некробиоз, средние и малые концентрации тех же радикалов (например, перекиси водорода) способны включать программу апоптоза [15] или наоборот приспособлять клетки путем образования микроядер [17].

Анализ полученных данных у рыб, обитающих в районах ликвидированных поисково-оценочных скважин «ЛукойлНижневолокнефть», позволяет сделать вывод, что соматический мутагенез (образование микроядер) после воздействия свободных радикалов может являться адаптивной реакцией на данный стрессовый фактор.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генетика окислительного стресса. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2009. 156 с.
2. Дубинина Е.Е. Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток (жизнь и смерть, созидание и разрушение). Физиологические и клинико-биохимические аспекты. Санкт-Петербург: Медицинская пресса, 2006. 400 с.
3. Зенков Н.К., Ланкин В.З., Меньщикова Е.Б. Окислительный стресс: Биохимический и патофизиологический аспекты. Москва: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 343 с.
4. Барабой В.А. Механизм стресса и перекисное окисление липидов // Успехи современной биологии. 1991. Т. 111. N 6. С. 923-931.
5. Иванова Т.И., Фесенко Э.В., Дзиковская Л.А., Дегтярева Е.С., Мкртчян Л.С., Овсянникова Н.С., Хорохорина В.А., Крикунова Л.И. Исследование аббераций хромосом и маркеров оксидативного стресса (малоновый диальдегид, общая антиоксидантная активность плазмы) у жительниц загрязненных после аварии на ЧАЭС территорий // Радиация и риск. 2018. Т. 27. N 2. С. 46-61. DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-2-46-61
6. Ильинских Н.Н., Ксенц А.С., Ильинских Е.Н., Манских В.Н., Васильев С.А., Ильинских И.Н. Микроядерный анализ в оценке цитогенетической нестабильности. Томск: изд-во ТГПУ, 2011. 234 с.
7. Ильинских Н.Н., Новицкий В.В., Ванчугова Н.Н., Ильинских И.Н. Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность. Томск: Издательство Томского Университета, 1992. 270 с.
8. Минеев А.К. Морфологический анализ и патологические изменения структуры клеток крови у рыб Саратовского водохранилища // Вопросы ихтиологии. 2007. Т. 47. N 1. С. 93-100.

9. Турченко О.В., Томшина О.Л., Кальков А.П. Микроядерный тест для оценки экологической обстановки окружающей среды // Омский научный вестник. 2006. N 6. С. 293-297.
10. Ильинских Н.Н., Ильинских И.Н., Янковская А.Е., Саушкин С.А. Гигиеническая оценка состояния окружающей среды в нефтегазоносном районе на основе цитогенетического и молекулярно-генетического методов // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. N 2. С. 121-124. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-2-121-124
11. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг / Под ред. С.А. Гераськина и Е.И. Сарapultцевой. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 208 с.
12. Кузина Т.В., Галактионова М.Л. Анализ взаимосвязи цитогенетического гомеостаза и оксидативного стресса в организме бычковых рыб Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 2. С. 64-72. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-2-64-72
13. Строев Е.А., Макарова В.Г. Практикум по биологической химии. М.: «Высшая школа», 1986. С. 211-214.
14. Козак М.Ф., Козак М.В. Биометрические методы в научных исследованиях: монография. Астрахань: Астраханский государственный университет, ИД «Астраханский университет», 2018. 168 с.
15. Shimizu N. Molecular mechanisms of the origin of micronuclei from extrachromosomal elements // *Mutagenesis*. 2011. V. 26. Iss. 1. P. 119-123. DOI: 10.1093/mutage/geq053
16. Трухачев В.И., Некрасова И.И., Квочко А.Н. Основы общей патологии (местные реакции организма на повреждение): учебное пособие. Ставропольский государственный аграрный университет. Ставрополь: АГРУС, 2015. 68 с.
17. Al-Sabti K., Metcalfe C.D. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water // *Mutation Research / Genetic Toxicology*. 1995. V. 343. Iss. 2-3. P. 121-135. DOI: 10.1016/0165-1218(95)90078-0

#### REFERENCES

1. *Genetika oksilitel'nogo stressa* [Genetics of Oxidizing Stress]. Rostov on Don, SKNC VSh SFY Publ., 2009, 156 p. (In Russian)
2. Dubinina E.E. *Produkty metabolizma kisloroda v funktsional'noi aktivnosti kletok (zhizn' i smert', sozidanie i razrushenie)*. *Fiziologicheskie i kliniko-biokhimicheskie aspekty* [Products of Oxygen Metabolism in the Functional Activity of Cells (Life and Death, Creation and Destruction). Physiological and Clinical-Biochemical Aspects]. Saint Petersburg, Medical Press Publ., 2006, 400 p. (In Russian)
3. Zenkov N.K., Lankin V.Z., Menshikova E.B. [Oxidative Stress: Biochemical and Pathophysiological aspects]. Moscow, "Nauka/ Interperiodika" Publ., 2001, 343 p. (In Russian)
4. Baraboy V.A. Mechanism of stress and lipid peroxidation. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Successes of Modern Biology]. 1991, vol. 111, no. 6, pp. 923-931. (In Russian)
5. Ivanova T.I., Fesenko E.V., Dzikovskaya L.A., Degtyareva E.S., Mkrtychyan L.S., Ovsyannikova N.C., Khorokhorina V.A., Krikunova L.I. A study of chromosome aberrations and markers of oxidative stress (malondialdehyde, plasma total antioxidant activity) among females residing in terri-

tories contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident. *Radiation and risk*, 2018, vol. 27, no. 2, pp. 46-61. (In Russian) DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-2-46-61

6. Il'inskikh N.N., Ksents A.S., Il'inskikh E.N., Manskikh V.N., Vasil'ev S.A., Il'inskikh I.N. *Mikroyadernyi analiz v otsenke tsitogeneticheskoi nestabil'nosti* [Micronuclear analysis in assessing cytogenetic instability]. Tomsk, TSPU Publ., 234 p. (In Russian)
7. Il'inskikh N.N., Novitskii V.V., Vanchugova N.N., Il'inskikh I.N. *Mikroyadernyi analiz i tsitogeneticheskaya nestabil'nost'* [Micronuclear analysis and cytogenetic instability]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1992, 270 p. (In Russian)
8. Mineev A.K. Morphological analysis and pathological changes in the structure of blood cells in fishes from Saratov Reservoir. *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology]. 2007, vol. 47, no. 1, pp. 93-100. (In Russian)
9. Turchenyuk O. V., Tomshina O.L., Kalkov A.P. Micronuclear Test for Environmental Assessment. *Omskii nauchnyi vestnik* [Omsk Scientific Journal]. 2006, no. 6, pp. 293-297. (In Russian)
10. Ilyinskikh N.N., Ilyinskikh E.N., Ilyinskikh I.N., Yankovskaya A.E., Saushkin S.A. Hygienic assessment of the state of the environment in the oil and gas-bearing area based on cytogenetic and molecular genetic methods. *Hygiene and sanitation*, 2017, vol. 96, no. 2, pp. 121-124. (In Russian) DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-2-121-124
11. Geraskina S.A., Sarapultseva E.I., eds. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchei sredy: geneticheskii monitoring*

[Biological environmental control: genetic monitoring].

- Moscow, Academy Publ., 2010, 208 p. (In Russian)
12. Kuzina T.V., Galaktionova M.L. Analysis of the interrelation of cytogenetic homeostasis and oxidative stress in the organism of goby fish (gobiidae) of the Northern Caspian. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 2, pp. 64-72. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-2-64-72
  13. Stroyev E.A., Makarova V.G. *Praktikum po biologicheskoi khimii* [Workshop on Biological Chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986, pp. 211-214. (In Russian)
  14. Kozak M.F., Kozak M.V. *Biometricheskie metody v nauchnykh issledovaniyakh* [Biometric methods in scientific research]. Astrakhan, Astrakhan State University Publ., 2018, 168 p. (In Russian)
  15. Shimizu N. Molecular mechanisms of the origin of micronuclei from extrachromosomal elements. *Mutagenesis*, 2011, vol. 26, iss. 1, pp. 119-123. DOI: 10.1093/mutage/geq053
  16. Trukhachev V.I., Nekrasova I.I., Kvochko A.N. *Osnovy obshchei patologii (mestnye reaktsii organizma na povrezhdenie)* [Fundamentals of General Pathology (Local Reactions of the Body to Damage)]. Stavropol, AGRUS Publ., 2015, 68 p. (In Russian)
  17. Al-Sabti K., Metcalfe C.D. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutation Research / Genetic Toxicology*, 1995, vol. 343, iss. 2-3, pp. 121-135. DOI: 10.1016/0165-1218(95)90078-0

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татьяна В. Кузина обработала пробы рыб (гематологические и биохимические исследования), обработала статистические данные. Алексей В. Кузин принимал участие в обработке данных и оформлении материалов. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatiana V. Kuzina processed fish samples (hematological and biochemical studies), processed statistical data. Alexey V. Kuzin participated in data processing and the compilation of research materials. All authors participated in writing the article and are equally responsible for avoiding plagiarism and self-plagiarism.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

#### ORCID

Татьяна В. Кузина / Tatiana V. Kuzina <https://orcid.org/0000-0002-4527-0333>

Алексей В. Кузин / Alexey V. Kuzin <https://orcid.org/0000-0002-8144-5081>

Оригинальная статья / Original article  
УДК502.75(477.75)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-107-117

## Методические рекомендации по описанию старовозрастных деревьев, имеющих особое природоохранное значение (на примере *Juniperus excelsa* M. Vieb., мыс Сарыч, Юго-Западный Крым)

Лилия В. Бондарева , Наталия А. Мильчакова

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

### Контактное лицо

Лилия В. Бондарева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фиторесурсов отдела биотехнологий и фиторесурсов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»; 299011 Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2.  
Тел. +7(8692)550795  
Email [lbondareva@mail.ru](mailto:lbondareva@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2872-070X>

### Формат цитирования

Бондарева Л.В., Мильчакова Н.А. Методические рекомендации по описанию старовозрастных деревьев, имеющих особое природоохранное значение (на примере *Juniperus excelsa* M. Vieb., мыс Сарыч, Юго-Западный Крым) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 107-117. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-107-117

Получена 12 июля 2019 г.

Прошла рецензирование 5 сентября 2019 г.

Принята 23 ноября 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Разработать унифицированные методические рекомендации по объявлению дерева или группы деревьев памятниками природы, ведению мониторинга их состояния, составлению кадастрового дела и паспорта природоохранного объекта.

**Материал и методы.** На основе эколого-флористических исследований и опубликованных данных выполнено описание старовозрастного экземпляра *Juniperus excelsa* M. Vieb. вблизи мыса Сарыч. С учетом нормативных документов подготовлены методические рекомендации для отнесения уникальных деревьев к особо охраняемым природным территориям.

**Результаты.** Установлено, что *J. excelsa* является одним из самых старовозрастных экземпляров в границах ареала вида на территории Российской Федерации, обосновано создание памятника природы федерального значения «Патриарх Тавриды» (г. Севастополь). Показано, что при отнесении дерева или группы деревьев к природоохранным объектам необходимо охарактеризовать биологические и таксационные параметры, обосновать перечень природоохранных мероприятий и типов природопользования.

**Заключение.** Разработаны методические рекомендации, позволяющие унифицировать описание дерева или группы деревьев при их отнесении к особо охраняемым природным территориям. В материалы обоснования по созданию таких объектов целесообразно включать данные по 10 основным разделам: общая характеристика; местонахождение; цели создания и ценность; природные особенности территории; оценка современного природопользования и состояния территории; таксационная характеристика; оценка природоохранной значимости, рекреационных ресурсов и возможности их использования; негативные факторы и угрозы; обоснование оптимальных границ; особые рекомендации для режима охраны и использования.

### Ключевые слова

*Juniperus excelsa*, деревья-долгожители, методические рекомендации, памятник природы, Крым.

# Methodical Recommendations for the Description of a Tree as a Natural Monument (Through an Example of *Juniperus excelsa* M. Bieb., Cape Sarych, South-Western Crimea)

Liliya V. Bondareva  and Nataliya A. Milchakova

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

## Principal Contact

Liliya V. Bondareva, Cand. Biol. Sci., Senior Researcher, Laboratory of Phyto-resources, Department of Biotechnology and Phyto-resources, Federal Research Centre, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences; 2 Prospekt Nakhimova, Sevastopol, 299011 Russia.

Tel. +7(8692)550795

Email [lbondareva@mail.ru](mailto:lbondareva@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2872-070X>

## How to cite this article

Bondareva L.V., Milchakova N.A. Methodical recommendations for the description of a tree as a natural monument (through the example of *Juniperus excelsa* M. Bieb., Cape Sarych, south-western Crimea). *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 107-117. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-107-117

Received 12 July 2019

Revised 5 September 2019

Accepted 23 November 2019

## Abstract

**Aim.** To develop unified methodological recommendations for the declaration of a tree or group of trees as natural monuments, for the monitoring of their condition, for the compilation of a cadastral register and of a passport identifying a protected natural object.

**Materials and Methods.** On the basis of eco-floristic research and published data, the description of an ancient specimen of *Juniperus excelsa* M. Bieb near Cape Sarych, south-western Crimea, was undertaken. In accordance with standard parameters, methodological recommendations were prepared for the designation of unique trees as specially protected natural territories.

**Results.** It was established that this specimen of *J. excelsa* is one of the most ancient examples in the territory of the Russian Federation, thus constituting the basis for its creation as a natural monument of federal significance (named “Patriarch of Tavrida”, city of Sevastopol). It was shown, that in designating a tree or group of trees as protected natural objects it is necessary to define its biological and taxonomical characteristics and to provide documentary justification for necessary nature protective measures and modes of nature management.

**Conclusion.** Methodological recommendations were developed which allow the unified description of a tree or group of trees to support their designation as specially protected natural territories. In the documentation required to justify designation it is recommended that data be compiled in ten principal categories: general characteristics; location; aims in creating the designation relating to the value of the monument’s natural features; assessment of the contemporary nature management and condition of the monument; its taxation characteristics; assessment of its environmental significance; recreational resources and usage potential; negative factors and threats; identification of optimal boundaries and particular recommendations for a protection regime.

## Key Words

*Juniperus excelsa*, ancient trees, methodological recommendations, natural monument, Crimea.

## ВВЕДЕНИЕ

Можжевельник высокий *Juniperus excelsa* M. Bieb. [1; 2] охраняется в Российской Федерации на федеральном и региональном уровнях, с категорией «сокращающийся в численности» [3-5] и «находящийся под угрозой исчезновения» [6]. На юге России возраст некоторых деревьев может достигать 600 лет, а в Крыму описаны экземпляры свыше 1000 лет [3; 7; 8]. Крупные массивы высокоможевелловых редколесий сохранились в основном в регионе Севастополя [7; 8], большинство старовозрастных особей *J. excelsa* произрастает на территории государственных природных заказников «Мыс Айя» и «Ласпи», отдельные вековые и выдающиеся деревья находятся вне границ особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Среди деревьев-долгожителей выделяется можжевельник высокий на мысе Сарыч, возраст которого по разным оценкам составляет от 1500 до 2000 лет [9]. Это уникальное дерево не имеет природоохранного статуса и до настоящего времени не описано в научной литературе.

Придание охранного статуса уникальным экземплярам деревьев, имеющих особое значение, осуществляется почти в каждом субъекте РФ, однако большинство таких объектов создано до 1991 г. [10]. В паспортах таких памятников природы приведены данные о видовой принадлежности дерева (на русском языке), площади и природоохранной ценности, но отсутствуют сведения о морфометрических показателях, необходимых для ведения мониторинга. Из-за отсутствия унифицированной методики зачастую представляется трудность описание дерева или группы деревьев при отнесении их к объектам заповедания. Они относятся к «точечным» объектам с небольшой площадью, тогда как нормативные требования к организации и функционированию ООПТ (положение, паспорт, охранное обязательство, кадастровое дело и т.д.) сформулированы преимущественно для более крупных природоохранных объектов. Кроме того, в большинстве научных публикаций при характеристике дерева или группы деревьев приводят данные об их размере и возрасте, санитарном состоянии, реже об историко-мемориальном значении, планируемых и принятых мерах охраны [8; 11-15]. Этих сведений недостаточно для научного обоснования создания ООПТ, поскольку они не в полной мере отражают требования природоохранного законодательства РФ, согласно которым необходимо раскрыть цели создания объекта, охарактеризовать его местообитание, обосновать границы, режим охраны и использования.

В связи с отсутствием единого подхода к описанию отдельно стоящего дерева или небольшой группы деревьев с особым природоохранным или историко-мемориальным значением, были поставлены цель и задачи работы: охарактеризовать старовозрастной экземпляр *Juniperus excelsa* M. Bieb. (мыс Сарыч, юго-западный Крым) и разработать унифицированные методические рекомендации по объявлению уникальных деревьев памятниками природы, ведению мониторинга их состояния, составлению кадастрового дела и индивидуального паспорта.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Морфологические показатели и особенности онтогенеза старовозрастного экземпляра можжевельника высо-

кого *J. excelsa*, произрастающего на мысе Сарыч (юго-западный Крым, регион Севастополя), изучены в августе 2017 г. Описание дерева выполнено по предложенным авторами методическим рекомендациям. Номенклатура растений приведена в соответствии со сводкой флоры Крыма [1; 2], название предлагаемого памятника природы заимствовано из опубликованных источников [9; 16].

*Полевые исследования.* Для характеристики объекта использованы «Методические указания по обследованию памятников природы и государственных природных заказников» (далее – Методические указания), разработанные в 1995 г. Центральным государственным лесоустроительным предприятием по заказу Управления особо охраняемых лесных территорий Рослесхоза.

Этап натурных исследований включает определение вида дерева; высоты и длины окружности ствола на высоте 1,3 м и при основании; диаметра ствола на высоте 1,3 м и при основании; диаметра кроны с севера на юг; диаметра кроны с запада на восток (приложение 11-14, Методические указания). Для измерения высоты растения используют высотомер, длины окружности ствола – рулетку; диаметра ствола – мерную вилку, при необходимости в двух направлениях: с севера на юг и с запада на восток. У многоствольных деревьев определяют параметры каждого ствола на высоте 1,3 м. Проекцию кроны измеряют рулеткой на земле, по визуальным спроектированным на нее краям кроны. Дополнительно отмечают стадию онтогенеза, наличие генеративных органов, плодов и семян, пол растения (для двудомных). Для установления возраста используют возрастную бурав.

По данным визуального осмотра характеризуют форму, состояние кроны и особенности ствола с использованием рекомендуемых показателей (рис. 1), отмечают повреждения ствола, кроны, наличие болезней и вредителей. Определение санитарного состояния дерева проводят путем глазомерной оценки в соответствии со шкалой категорий состояния деревьев (приложение 12 Методических указаний), указывают меры, необходимые для улучшения состояния дерева. Для объекта определяют координаты по центру его расположения, отмечают природные особенности территории и ее современное состояние, выявляют факторы негативного воздействия для выработки рекомендаций по режиму охраны и рекреационного использования, выполняют фотофиксацию дерева и прилегающей территории. Собранные на этом этапе данные заносят в бланк (рис. 1), для группы деревьев описывают каждый экземпляр.

*Камеральная обработка и анализ данных, составление описания.* На этом этапе проводят обработку материалов, собранных в ходе полевых исследований, анализ кадастровых, архивных и литературных данных, опросов населения и других источников информации. Полученные и собранные материалы оформляют как описание в соответствии с предлагаемыми разделами, учитывающими требования к ведению государственного кадастра, изложенные в ст. 25 Приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 19 марта 2012 г. № 69 «Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра особо охраняемых природных территорий» (далее – Порядок ведения ГК).

Показатель		Характеристика
Форма кроны	раскидистая, шарообразная, овальная, конусообразная, пирамидальная, зонтичная, асимметричная, ажурная, плакучая	
Густота кроны	сильно изреженная, редкая, средней густоты, густая, очень густая	
Развитие кроны	равномерное, развита в средней части, развита в нижней части, угнетена	
Степень усыхания кроны	усохла вся крона, нижняя часть кроны, средняя часть кроны, верхняя часть кроны, верхина, без признаков усыхания	
Степень изреживания кроны	изрежена в нижней части, в средней части, в верхней части, равномерно, односторонне, не изрежена	
Особенности ствола	прямой, ровный, сильно изогнут, наклонен, у основания соединен с другим стволом, раздвоен в нижней, средней, верхней части, у комля поросль, водяные побеги, обломана верхина.	

**Основные мероприятия, способствующие продлению жизненного цикла дерева**  
удаление комлевой поросли, удаление водяных побегов, пломбирование дупел, лечение ран, удаление плодовых тел грибов, удаление инородных предметов, стягивание развилки ствола, обрезка сухих сучьев, подкормка удобрениями, засыпка обнаженных корней, биологическая обрезка (омолаживание) кроны, обработка химикатами и биопрепаратами в целях борьбы с вредителями и повышения устойчивости

**Характеристика местообитания**  
Природные особенности территории \_\_\_\_\_  
Современное состояние \_\_\_\_\_  
Факторы негативного воздействия \_\_\_\_\_

Автор (-ы) описания \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Indicators characterising the shape and condition of tree's crown and trunk	
Indicator	Characteristic
Crown shape	sprawling, spherical, oval, cone-shaped, pyramidal, umbrella, asymmetric, openwork, weeping
Crown density	very sparse, rare, medium density, dense, very dense
Crown development	balanced development, developed in the middle part, developed in the lower part, oppressed
Degree of drying of crown	whole crown has dried out, lower part of the crown, middle part of the crown, upper part of the crown, top, without signs of drying
The degree of density of the crown	sparse in the lower part, in the middle part, in the upper part, evenly, one-sided, not sparse
Trunk features	straight, even, strongly curved, tilted, connected to another trunk at base, bifurcated in lower, middle, and upper parts, at butt of shoots, water shoots, top broken off

**Principal activities to extend tree life**  
removal of root shoots, removal of water shoots, filling hollow, wound treatment, removal of mushroom fruiting bodies, removal of foreign objects, tightening forks of the trunk, pruning dry branches, fertilizer application; backfilling of exposed roots, biological trimming (rejuvenation) of crown, treatment with chemicals and biological products to control pests and increase resistance

**Description of habitat**  
Natural features of the territory \_\_\_\_\_  
Current condition \_\_\_\_\_  
Negative factors \_\_\_\_\_

Compiler/s \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

**Рисунок 1.** Рекомендуемый образец бланка для описания дерева  
**Figure 1.** Recommended form for tree description

**Раздел I. Общая характеристика.** Название, категория, профиль и значение объекта, его координаты и общая площадь; число отдельно расположенных, не граничащих друг с другом участков (для группы); вид растения на русском и латинском языках. Категория объекта по классификации МСОП. Размеры и границ ООПТ обосновываются в разделе IX.

**Раздел II. Местонахождение.** Административное положение, квартал лесничества (при необходимости), кадастровый номер участка по Публичной кадастровой карте.

**Раздел III. Цели и задачи ООПТ.** Краткая природоохранная и/или историко-культурная ценность объекта.

**Раздел IV. Природные особенности территории.** Данные о физико-географическом положении, рельефе, климате, почвенном покрове, гидрологической сети и растительности региона, сведения о сопутствующей флоре и фауне.

**Раздел V. Оценка современного природопользования и состояния территории.** Ретроспективный анализ освоения и степень нарушенности территории, категория земель и разрешенное использование по Публичной кадастровой карте, состояние растительного покрова на прилегающем к дереву участке.

**Раздел VI. Таксационная характеристика дерева.** Обработка данных полевых исследований, расчет возраста дерева, оформление его вербальной характеристики. Мероприятия по улучшению состояния дерева. Обоснование дополнительных мер ухода (при необходимости).

**Раздел VII. Природоохранная значимость, рекреационные ресурсы и возможность их использования.** Природоохранный статус (Красная книга РФ, Красная книга субъекта РФ, международные красные списки), историко-мемориальное, научное, эстетическое и иное значение; заключение об использовании для научного и познавательного туризма, экологического просвещения и воспитания.

**Раздел VIII. Факторы негативного воздействия и угрозы.** Природные и антропогенные факторы и угрозы, оказывающие или способные оказать негативное воздействие на дерево (группу деревьев).

**Раздел IX. Обоснование границ.** Вычисление зоны охраны подземной сферы по формуле площади круга, исходя из трех радиусов максимального размера кроны дерева [17]. Описание вариантов границ и расчет рекомендуемой площади в зависимости от оценки современного состояния территории (раздел V), негативных факторов и угроз воздействия на объект (раздел VIII).

**Раздел X. Особые рекомендации для режима охраны и использования.** Рекомендации для режима охраны дерева как памятника природы, анализ возможности использования объекта в просветительских и рекреационных целях, с учетом доступности объекта и времени года с максимальной привлекательностью.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе предложенных методических рекомендаций выполнено описание старовозрастного экземпляра можжевельника высокого *J. excelsa*, рекомендованного для включения в состав ООПТ г. Севастополя.

**I.** Название ООПТ – «Патриарх Тавриды». Категория – памятник природы; значение – федеральное; профиль – ботанический; общая площадь – 0,12 га; координаты – 44.511789 N, 33.604000 E.

Вид – можжевельник высокий *Juniperus excelsa* M. Bieb.

Категория охраны по классификации МСОП – III (памятник природы, Natural Monument or Feature).

**II.** г. Севастополь, Балаклавский район, Севастопольская зона ЮБК. Мыс Сарыч. Кадастровый номер участка 91:01:058002:1087 [18].

**III.** Сохранение одного из самых старых и крупных в Российской Федерации экземпляров можжевельника высокого, возраст которого превышает 2000 лет.

**IV.** Мыс Сарыч расположен на юго-западе Южного берега Крыма, является крайней южной точкой Крымского п-ова, находится в пределах Западного южнобережного субтропического агроклиматического района [19]. Распространены коричневые почвы сухих лесов и кустарниковых степей [20], постоянные водотоки отсутствуют. Территория расположена в нижнем лесостепном поясе гемиксерофильных лесов, ксерофитных редколесий и саванноидов [21]. На территории мыса Сарыч отмечены деревья *J. excelsa* от 590 до 980 лет [8].

**V.** Район м. Айя – м. Сарыч до 70–80-х годов XX в. был малоосвоен из-за сложного рельефа и недостатка водных ресурсов [22]. Ранее территория относилась к Орлиновскому лесничеству; на территории бывшего лесного кордона до 2017 г. функционировал кемпинг, в непосредственной близости от можжевельника находились нестационарные рекреационные объекты. Объект расположен в водоохранной зоне, в районе государственной резиденции № 11; категория земель: земли населенных пунктов, разрешенное использование – для обеспечения задач обороны [18].

Растительный покров на прилегающем к дереву участке практически отсутствует, почва уплотнена, на рекреационных участках отмечена IV-V стадия дигрессии травяного покрова. Рядом обнаружены посадки инвазивного вида *Vupleurum fruticosum* L. [2; 23].

**VI.** Дерево семенного происхождения, находится в генеративной стадии онтогенеза, шишкоягоды в умеренном количестве.

Основные таксационные характеристики представлены в таблице 1, возраст, рассчитанный по максимальному диаметру ствола на высоте 1,3 м [7] – 2090 лет.

Крону дерева образуют три крупные ветви (рис. 2). Крона раскидистая, асимметричная, сильно изреженная в нижней части, есть сухие тонкие ветки. Ствол в очертании вытянут, расколот, вершина обломана, максимальная длина окружности ствола – 5,35 м.

Дерево умеренно повреждено вредителями. Санитарное состояние – ослабленное, категория II. Необходимые мероприятия, для улучшения жизнеспособности дерева: пломбирование дупел, стягивание развилок ствола и ограждение.

**Таблица 1.** Основные таксационные характеристики *Juniperus excelsa* (мыс Сарыч, регион Севастополя)  
**Table 1.** Taxation characteristics of *Juniperus excelsa* (Cape Sarych, Sevastopol region, south-western Crimea)

Вид Species	Н, М	D <sup>1</sup> , М	D <sup>2</sup> , М	L <sup>1</sup> , М	L <sup>2</sup> , М	D <sup>1</sup> , М	D <sup>2</sup> , М
<i>Juniperus excelsa</i> М. Bieb.	13,3	1,65	1,5	4,41	4,47	13	16

Примечания: Н – высота; D<sup>1</sup> – диаметр ствола на высоте 1,3 м; D<sup>2</sup> – диаметр ствола при основании; L<sup>1</sup> – окружность ствола на высоте 1,3 м; L<sup>2</sup> – окружность ствола при основании; D<sup>1</sup> – диаметр кроны с севера на юг; D<sup>2</sup> – диаметр кроны с запада на восток.  
 Notes: Н – height; D<sup>1</sup> – diameter of trunk at 1.3 m height; D<sup>2</sup> – stem diameter at base; L<sup>1</sup> – trunk circumference at 1.3 m height; L<sup>2</sup> – stem circumference at base; D<sup>1</sup> – diameter of crown from north to south; D<sup>2</sup> – diameter of crown from west to east.



**Рисунок 2.** Местонахождение дерева *Juniperus excelsa* М. Bieb. (у мыса Сарыч, юго-западный Крым)  
**Figure 2.** Location of the ancient specimen of *Juniperus excelsa* М. Bieb. (Cape Sarych, Sevastopol region, south-western Crimea)

Обоснование проведения мероприятий по уходу: воздействие на дерево должно быть минимальным, поскольку его состояние является вариантом нормы для старых генеративных деревьев. К особенностям таких деревьев относится прекращение роста в высоту, но сохранение роста боковых ветвей кроны и утолщение ствола; уменьшение высоты вследствие суховершинности; отмирание скелетных ветвей. Ствол старовозрастных экземпляров, как правило, частично разрушен, верхние части корней могут обнажаться, из-за чего основание ствола выглядит более мощным [24].

**VII.** Можжевельник высокий *J. excelsa* внесен в Красную книгу РФ [3], Красную книгу Республики Крым [4] и Красную книгу города Севастополя [5] с категорией «сокращающийся в численности», в Красную книгу Краснодарского края – с категорией «находящийся под угрозой исчезновения» [6]. Включен в Красный список МСОП как вызывающий «наименьшие опасения» (The IUCN Red List of Threatened Species 2017-1).

Морфологические параметры дерева *J. excelsa* на мысе Сарыч (табл. 1) превышают максимальные значения для старых генеративных особей этого вида: диаметр основания ствола до 1,1 м, диаметр кроны –

11,5 м, высоту дерева – 10 м [8; 24]. Это наиболее старовозрастной экземпляр вида, что определяет его важнейшее научное, природоохранное и эколого-просветительское значение. Особая эстетическая ценность связана с уникальными отличительными признаками ствола и кроны дерева (рис. 3), которое представляет значительный интерес как объект научного и экологического туризма.

**VIII.** К природным факторам негативного воздействия относится умеренное поражение насекомыми и повреждения ствола, связанные с возрастом дерева. Антропогенное влияние обусловлено чрезмерной рекреационной нагрузкой на прилегающую территорию. В 2017 г. в непосредственной близости от дерева была организована парковка для автомобилей, а в зоне защиты корневой системы находились палатки и пункт общественного питания. На мысе Сарыч выявлены деградация растительного покрова, уничтожение и повреждение деревьев и кустарникового-травянистого яруса. Здесь сформирована развитая дорожно-тропиночная сеть, ведется строительство объектов временной рекреации, обнаружены кострища и мусоросвалки бытового мусора.



**Рисунок 3.** Старовозрастной экземпляр *Juniperus excelsa* M. Bieb. на мысе Сарыч (фото В.В. Александров)  
**Figure 3.** Ancient specimen of *Juniperus excelsa* M. Bieb., Cape Sarych (photo V.V. Alexandrov)

К природным угрозам для *J. excelsa* относятся механическое повреждение из-за осыпей, обвалов и камнепадов, что приводит к прекращению роста растения. После аномальных морозов часто наблюдается обмерзание ветвей и хвои, опадение шишкоягод [25]. Болезни и вредители вызывают специализированные и неспециализированные патогены: макро- и микромицеты, несколько видов насекомых [24; 25].

К угрозам антропогенного характера относят окультуривание ландшафта, строительство, нерегулируемое рекреационное использование территории и выпас [3-7]. Увеличение рекреационной нагрузки в высокоможевеловых лесах приводит к пожарам и их уничтожению [22].

**IX.** Предлагаемая площадь ООПТ – 1809 м<sup>2</sup> (0,18 га). Ее величина рассчитана с учетом развития подземной сферы дерева (по формуле площади круга, исходя из трех радиусов максимального размера кроны), что обеспечивает его защиту [17].

**X.** Рекомендуется установить информационные знаки, ограничить движение автотранспорта и регламентировать рекреационную нагрузку. Необходим регулярный мониторинг состояния дерева и биотопа, исследование структуры ценопопуляции, дендрологическое обследование для уточнения возраста. Целесообразно разработать меры по ремонту, уходу и ограждению *J. excelsa* на мысе Сарыч.

Высокие декоративные качества можжевельника высокого как вечнозеленого растения сохраняются в течение всего года. Рекомендовано обустроить экологическую тропу с возможностью круглогодичного посещения. Доступ может быть ограничен в связи с разрешенным использованием земельного участка для обеспечения задач обороны [18].

Морфологические параметры старовозрастного экземпляра можжевельника высокого *J. excelsa* на мысе Сарыч превышают известные значения для деревьев этого вида в границах его ареала в России [3; 7; 8; 24]. Это стало основой подготовки научного обоснования к его заповеданию и созданию памятника природы. Для этого по предложенным методическим рекоменда-

циям выполнено описание этого экземпляра *J. excelsa* с учетом его таксационных и биологических характеристик, природоохранной и научной значимости. В первом разделе описания дерева объединены сведения об объекте, предусмотренные в пункте 25, подпунктах 1-13 и 16 Порядка ведения ГК, указана видовая принадлежность в соответствии с требованиями ведения кадастра. До настоящего времени для многих деревьев как памятников природы указан только род [10].

Важно отметить, что название объекта, если оно не является общеизвестным, закрепленным легендой или ранее опубликовано, должно отражать его природоохранную или историко-мемориальную ценность. В соответствии с Федеральным законом «Об особо охраняемых природных территориях» (N 33-ФЗ от 14.03.1995) дерево (группу деревьев) целесообразно относить к категории «памятник природы», профиль – ботанический. Категория «памятник природы» соответствует категории III Международного союза охраны природы: памятник природы – Natural Monument or Feature [26]. Значение объекта (местное, региональное или федеральное) зависит от его природоохранной, историко-мемориальной или другой ценности. После проведенных исследований, анализа имеющихся данных и материалов, нами была обоснована целесообразность объявления *J. excelsa* на мысе Сарыч памятником природы «Патриарх Тавриды» федерального значения.

Согласно предлагаемым методическим рекомендациям для составления индивидуального паспорта и положения о памятнике природы необходимо сформулировать цели и задачи создания объекта ООПТ (раздел III), с использованием сведений, представленных в разделах VI и VII. По нашему мнению, содержание разделов IV и VI может незначительно отличаться от требований, предусмотренных законодательством. Так, по нормативным документам при описании природных особенностей территории и ее комплексной характеристике как «площадного» объекта указываются данные о биологическом разнообразии, биотопах и основных экосистемах (подпункт 20, пункт 25 Порядка ведения ГК). Для дерева или группы деревьев (раздел

IV) достаточно отразить природные особенности территории, локальные условия произрастания, сведения о биотопе, консортивные связи и другие сведения, характеризующие «точечный» объект. Возраст дерева, таксационная и биоморфологическая характеристики, не указанные в нормативных документах, включены в раздел VI. Необходимость представления этих материалов обусловлена требованиями ведения мониторинга ООПТ, разработкой рекомендаций по охране уникальных объектов, к которым относятся старовозрастные деревья. Хотя, по мнению многих исследователей [9; 27; 28], не возраст, а размеры или историко-мемориальная ценность играет решающую роль при заповедании деревьев, тем не менее, установление их возраста представляет значительный научный интерес. К настоящему времени рекомендации для расчета возраста обоснованы только для некоторых видов деревьев [7], их примерный возраст чаще всего рассчитывают по упрощенным уравнениям, с учетом диаметра или окружности ствола дерева [9; 27]. Это приводит к преувеличению значения возраста дерева [29], поскольку более точное его определение с использованием бура не всегда возможно. Возраст *J. excelsa* мы рассчитывали по формуле с использованием максимального значения диаметра ствола [7], что также нуждается в уточнении. Помимо календарного возраста, нами предложено учитывать биологические показатели дерева, в том числе пол, стадию онтогенеза, отсутствие или наличие разноможения. Онтогенетическое состояние, описываемое по комплексу качественных и количественных признаков, позволяет определить биологический возраст дерева, выявить соотношение процессов новообразования и отмирания в побеговой и корневой системе, способность к семенному размножению [30].

На наш взгляд, перечень мероприятий по уходу за старовозрастным деревом или группой деревьев следует составлять с учетом рекомендаций фитопатологов, арбористов и других специалистов, поскольку такие деревья зачастую поражены болезнями и вредителями, уязвимы к природным условиям и антропогенному воздействию. Для них необходимо осуществлять комплексный и индивидуальный уход, так как обрезка, цементирование и другие действия могут привести к гибели, значительному ослаблению или потере декоративных качеств [13; 31; 32]. В парках и скверах сложную обрезку мемориальных и других уникальных деревьев целесообразно проводить методами современной арбористики для улучшения их эстетического восприятия и повышения декоративности [13]. Для аборигенных видов, сохранившихся в природных условиях, достаточно в течение ряда лет выполнять санитарную очистку кроны дерева путем удаления сухих, больных и поломанных веток [32].

При описании современного состояния территории (раздел V) непосредственно выявляются факторы и угрозы негативного воздействия. Их характеристика приводится в разделе VIII, отдельно для природных и антропогенных факторов, в дополнение к Порядку ведения ГК (подпункт 22 пункта 25).

Анализ опубликованных кадастровых документов показал, что единый метод для описания границ деревьев – памятников природы отсутствует [10]. Так, например, в Краснодарском крае, где под охрану взято

более 100 деревьев, границы описаны с использованием разнообразных подходов: по проекции кроны, круговыми сегментами с разными радиусами от ствола дерева или в виде квадрата со сторонами 10 м, иногда данные о площади и границах объекта не приведены. При вычислении границ объекта (раздел IX) мы предлагаем использовать данные о диаметре кроны и зоне охраны корневой системы [17]. Этот метод определения площади объекта соответствует требованиям нормативных документов, согласно которым обоснование границ ООПТ должно базироваться на экологических критериях. Определение оптимальной площади памятника природы имеет важное природоохранное значение, ее уменьшение или увеличение зависит от состояния объекта, устойчивости прилегающих природных комплексов, негативных факторов и угроз, современного природопользования в границах ООПТ и на смежной территории.

Особые рекомендации для режима охраны и использования уникального дерева или группы деревьев формулируют в разделе X, с учетом особенностей объекта и нормативных требований. Так, режим охраны регулируется в соответствии с приказом Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 14.12.1992 № 33 «Об утверждении Типовых положений о государственных природных заказниках и памятниках природы», согласно которому мероприятия по лечению и индивидуальному уходу за деревьями ограничены или запрещены. В связи с этим, при составлении положений для памятников природы целесообразно разрешить использование средств защиты растений и удобрений, предусмотреть защиту кроны и корневой системы, обеспечить ограждение объекта и т.п. Возможность рекреационного использования объекта определяется с учетом природоохранного и историко-мемориального значения, эстетической оценки, периода максимальной привлекательности и доступности. При этом варианты рекреационного использования, предусмотренные Порядком ведения ГК (подпункт 29 пункта 25) ограничены созданием экологических троп, экскурсионных и/или туристических маршрутов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полевых исследований, анализа нормативных документов и опубликованных данных подготовлены методические рекомендации по описанию дерева или группы деревьев, имеющих особое природоохранное значение. Этот подход использован для описания *J. excelsa*, произрастающего на мысе Сарыч (регион Севастополя) и являющегося одним из самых старовозрастных экземпляров в границах ареала территории Российской Федерации. Для этого дерева рекомендовано создание памятника природы федерального значения «Патриарх Тавриды» в составе особо охраняемых природных территорий (ООПТ) города Севастополя.

При объявлении дерева или группы деревьев природоохранными объектами предложено составлять унифицированное описание, в котором приводить данные таксационной и биологической характеристик, перечень мероприятий по охране и обоснование типов природопользования. Материалы обоснования целесообразно представлять в 10 разделах: общая характе-

ридика объекта; местонахождение; цели создания и ценность; природные особенности территории; оценка современного природопользования и состояния территории; таксационная характеристика; оценка природоохранной значимости, рекреационных ресурсов и возможности их использования; негативные факторы и угрозы; обоснование оптимальных границ; особые рекомендации для режима охраны и использования.

Предложенный подход имеет природоохранное значение для составления паспорта объекта ООПТ, ведения кадастрового дела и мониторинга состояния уникальных деревьев, их единой базы данных для Российской Федерации.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена в соответствии с Государственным заданием научно-исследовательской работы ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А18-118020890074-2. Авторы признательны за помощь в полевых исследованиях кандидату биологических наук В.В. Александрову, ФИЦ ИнБЮМ.

#### ACKNOWLEDGMENT

The article was composed in the framework of the State assignment of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences (N АААА-А18-118020890074-2). The authors are grateful to Dr. V.V. Alexandrov for his assistance in the field work.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- The plant list. URL: <http://www.theplantlist.org> (дата обращения: 07.06.2019)
- Ена Ан.В. Природная флора Крымского полуострова. Симферополь: Н. Орианда, 2012. 232 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / отв. ред. Камелин Р.В., Новиков В.С. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 885 с.
- Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / отв. ред. Ена Ан.В., Фатерыга А.В. Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. 480 с.
- Красная книга города Севастополя / отв. ред. Довгаль И.В., Корженевский В.В. Калининград: ООО Издательский дом «РОСТ-ДОАФКЛ», 2018. 432 с.
- Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы / отв. ред. Литвинская С.А. Краснодар: Адм. Краснодарского края, 2017. 850 с.
- Плугатарь Ю.В. Леса Крыма: Монография. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. 368 с.
- Исиков В.П., Плугатарь Ю.В. Дикорастущие деревья и кустарники Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. 324 с.
- Шнайдер С.Л., Борейко В.Е., Стеценко Н.Ф. 500 выдающихся деревьев Украины. Киев: Логос, 2011. 203 с.
- ООПТ России. URL: <http://oort.aari.ru/> (дата обращения: 05.06.2019)
- Путенихин В.П., Фарушкина Г.Г. Перспективные лесные и дендрологические памятники природы в Республике Башкортостан // Бюллетень Ботанического сада СГУ. 2009. N 8. С. 107-114.
- Плугатарь Ю.В., Коба В.П., Герасимчук В.Н., Папельбу В.В. Оценка состояния и анализ инвентаризации лиственных насаждений Приморского парка Никитского ботанического сада // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. 2017. Т. 3 (69). N 3. С. 105-113.
- Плугатарь Ю.В., Улейская Л.И., Герасимчук В.Н., Харченко А.Л., Гончаренко В.А. Мемориальные деревья времен Х.Х. Стевена и Н.А. Гартвиса в Арборетуме Никитского ботанического сада // Сборник научных трудов ГНБС. 2014. Т. 136. С. 21-33.
- Казакова М.В., Белошенкова А.Д. Старовозрастные деревья: материал для реестра уникальных насаждений города Рязани // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2017. Т. 27. N 1. С. 33-42.
- Дружинин Ф.Н., Макаров Ю.И., Корякина Д.М. Паспортизация как средство мониторинга ценных древесных и кустарниковых растений // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. N 5. С. 94-104. DOI:10.17238/issn0536-1036.2018.5.94
- Волкова Е.А. "Деревья как свидетели истории" особенности реализации историко-краеведческого проекта // Библиотечное дело. 2017. N 19 (301). С. 34-36.
- Бондарева Л.В., Мильчакова Н.А., Александров В.В., Чернышева Е.Б. Деревья – памятники природы города Севастополя: материалы экологического обоснования создания новых природоохранных объектов в Крыму // Экосистемы. 2019. Вып. 19 (49). С. 85-103.
- Публичная кадастровая карта. URL: <https://pk5.rosreestr.ru> (дата обращения: 08.06.2019)
- Важов В.И. Агроклиматическое районирование Крыма // Труды Государственного Никитского ботанического сада. 1977. Т. 71. С. 92-120.
- Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма. Науч. монография. Симферополь: Доля, 2004. 208 с.
- Дидух Я.П. Растительный покров Горного Крыма (структура, динамика, эволюция и охрана). Киев: Наукова думка, 1992. 253 с.
- Кобечинская В.Г., Отурина И.П., Ярош О.Б. Пирогенный фактор и его влияние на устойчивость экосистем заповедных территорий // Материалы IV международной научно-практической конференции «Заповедники Крыма – 2007». Симферополь, 2 ноября 2007 г. Ч. 1. Ботаника. Общие вопросы охраны природы. С. 221-226.
- Багрикова Н.А. Структурный анализ адвентивной фракции флоры Крымского полуострова (Украина) // Украинский ботанический журнал. 2013. Т. 70. N 4. С. 489-507.
- Киричок Е.И. Онтогенез можжевельника высокого (*Juniperus excelsa* M. Bieb) в редколесьях Черноморского побережья Крыма и Кавказа // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016. Вып. 1 (3). DOI: 10.21685/2500-0578-2016-3-4
- Молчанов Е.Ф., Григоров А.Н., Голубева И.В., Ларина Т.Г., Щербатюк Л.К., Ругузов И.А., Склонная Л.У., Бескаравайный М.М. Высокоможевеловые леса Крыма и проблемы их охраны. Гос. Никит. ботан. сад. М. 1992. Деп. в ВИНТИ 30.12.1992, N 3706-B92. 296 с.
- Dudley N., ed. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland: IUCN. 2008. 86 p.
- Коваленко И.М. Достопримечательные деревья Крыма. Симферополь, 2004. 72 с.
- Read H. Veteran trees: a guide to good management. Peterborough: English Nature, 2000. 176 p.
- Царалунга В.В., Царалунга А.В. Долголетие деревьев дуба и дубовых древостоев // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. Вып. 1. С. 25-33.

30. Евстигнеев О.И., Коротков В.Н. Онтогенетические стадии деревьев: обзор // Российский экологический журнал. 2016. Вып. 1 (2). С. 1-31. DOI: 10.21685/2500-0578-2016-2-1
31. Lonsdale D., ed. Ancient and other veteran trees: further guidance on management. London: The Tree Council, 2013. 212 p.
32. Кушнір А.І., Вакулик І.І. Цінність унікальних вікових дерев – пам'яток природи // Біоресурси і природокористування. 2018. Т. 10. N 3-4. С. 176-182. DOI: 10.31548/bio2018.03.023

## REFERENCES

- The plant list. Available at: <http://www.theplantlist.org> (accessed 07.06.2019)
- Ena An.V. *Prirodnaya flora Krymskogo poluostrova* [Natural Flora of the Crimean Peninsula]. Simferopol, N. Orianda Publ., 2012, 232 p. (In Russian)
- Kamelin R.V., Novikov V.S., eds. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Book of the Russian Federation (Plants and Fungi)]. Moscow, KMK Publ., 2008, 885 p. (In Russian)
- Ena An.V., Fateryga A.V., eds. *Krasnaya kniga Respubliki Krym. Rasteniya, vodorosli i griby* [Red Book of the Republic of Crimea. Plants, Algae and Fungi]. Simferopol, «IT «ARIAL» Publ., 2015, 480 p. (In Russian)
- Dovgal I.V., Korzhenevskii V.V., eds. *Krasnaya kniga goroda Sevastopolya* [Red Book of Sevastopol]. Kalinigrad, «ROST-DOAFKL» Publ., 2018, 432 p. (In Russian)
- Litvinskaya S.A., ed. *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraja. Rasteniya i griby* [Red Book of Krasnodar Territory. Plants and fungi]. Krasnodar, 2017, 850 p. (In Russian)
- Plugatar Yu.V. *Lesy Kryma* [Forests of Crimea]. Simferopol, «ARIAL» Publ., 2015, 368 p. (In Russian)
- Isikov V.P., Plugatar' Yu.V. *Dikorastushchie derev'ya i kustarniki Kryma* [Wild-growing Trees and Shrubs of Crimea]. Simferopol, «ARIAL» Publ., 2017, 324 p. (In Russian)
- Shnayder S.L., Boreyko V.E., Stetsenko N.F. 500 vydayushchikhsya derev'ev Ukrainy [500 Exceptional Trees of Ukraine]. Kiev, Logos Publ., 2011, 203 p. (In Russian)
- ООПТ России [Protected Areas of Russia]. Available at: <http://oopt.aari.ru/> (accessed 05.06.2019)
- Putenikhin V.P., Farukshina G.G. Promising Forest and Dendrological Monuments of Nature in the Republic of Bashkortostan. Byulleten' Botanicheskogo sada SGU [Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University]. 2009, no. 8, pp. 107-114. (In Russian)
- Plugatar Yu.V., Koba V.P., Gerasimchuk V.N., Papelbu V.V. The state estimation and an inventory analysis of foliar plantings in the Primorsky park of the Nikitsky botanical gardens. Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo Biologiya. Khimiya [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry]. 2017, vol. 3 (69), no. 3, pp. 105-113. (In Russian)
- Plugatar Yu.V., Uleiskaya L.I., Gerasimchuk V.N., Kharchenko A.L., Goncharenko V.A. [Memorial trees from Ch. Steven's and N. Gartvis's times in Arboretum of Nikitsky Botanical Gardens]. In: *Sbornik nauchnykh trudov GNBS* [Works of the State Nikita Botanical Gardens]. 2014, vol. 136, pp. 21-33. (In Russian)
- Kazakova M.V., Beloshenkova A.D. The old-growth trees- data for the register of the unique green areas of Ryazan. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences]. 2017, vol. 27, no. 1, pp. 33-42. (In Russian)
- Druzhinin F.N., Makarov Yu.I., Koryakina D.M. Certification as a means of monitoring of the most valuable arboreal plants and shrubs. *Forestry Journal*, 2018, no. 5, pp. 94-104. DOI:10.17238/issn0536-1036.2018.5.94
- Volkova E.A. "Trees as witnesses of history" features of the implementation of the historical and local lore project. *Bibliotechnoe delo* [Librarianship]. 2017, no. 19 (301), pp. 34-36. (In Russian)
- Bondareva L.V., Milchakova N.A., Aleksandrov V.V., Chernysheva E.B. Trees – natural monuments of Sevastopol: materials for assessing environmental feasibility for the establishment of new protected areas in Crimea. *Ekosistemy* [Ekosistem]. 2019, iss. 19 (49), pp. 85-103. (In Russian)
- Publichnaya kadastraya karta* [Public cadastral map]. Available at: <https://pkk5.rosreestr.ru> (accessed 07.06.2019)
- Vazhov V.I. [Agroclimatic zoning of the Crimea]. In: *Trudy Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Works of the State Nikita Botanical Gardens]. 1977, vol. 71, pp. 92-120. (In Russian)
- Dragan N.A. *Pochvennye resursy Kryma* [Soil resources of the Crimea]. Simferopol, Dolya Publ., 2004, 208 p. (In Russian)
- Didukh Ya.P. *Rastitelnyi pokrov Gornogo Kryma (struktura, dinamika, evolyutsiya i okhrana)* [The vegetation cover of the Crimean Mountains (Structure, Dynamics and Evolution of Security)]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1992, 253 p. (In Russian)
- Kobechinskaya V.G., Oturina I.P., Yarosh O.B. Pirogeny faktor i ego vliyanie na ustoichivost' ekosistem zapovednykh territorii [The pyrogenic factor and its impact on the sustainability of ecosystems of protected areas]. *Materialy IV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Zapovedniki Kryma – 2007»*. Simferopol', 2 noyabrya 2007 [Materials of the IV international scientific and practical conference "Preserves of Crimea - 2007", Simferopol, 2 November 2007]. Simferopol, 2007, part 1, pp. 221-226. (In Russian)
- Bagrikova N.A. Structural analysis of the alien fraction of the flora of the Crimean peninsula (Ukraine). *Ukrainskii botanicheskii zhurnal* [Ukrainian Botanical Journal]. 2013, vol. 70, no. 4, pp. 489-507. (In Russian)
- Kirichok E.I. Ontogenesis of grecian juniper (*Juniperus excelsa* M. Bieb) in sparse forests of the Black Sea coast of Crimea and the Caucasus. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2016, vol. 1 (3). (In Russian) DOI 10.21685/2500-0578-2016-3-4
- Molchanov E.F., Grigorov A.N., Golubeva I.V., Larina T.G., Shcherbatyuk L.K., Ruguzov I.A., Sklonnaya L.U., Beskaravainyi M.M. *Vysokomozhzhelovyye lesa Kryma i problemy ikh okhrany* [Juniper Forests of Crimea and Problems of their Protection]. Moscow, State Nikita Botanical Garden, 1992, 296 p. Dep. VINITI 30.12.1992, N 3706-V92. (In Russian)
- Dudley N., ed. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland, IUCN, 2008, 86 p.
- Kovalenko I.M. *Dostoprimechatel'nye derev'ya Kryma* [Famous trees of the Crimea]. Simferopol, 2004, 72 p. (In Russian)

28. Read H. Veteran Trees: A Guide to Good Management. Peterborough, English Nature, 2000, 176 p.
29. Tsaralunga V.V., Tsaralunga A.V. The longevity of oak trees and oak forest. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry engineering journal]. 2017, vol. 7, iss. 1, pp. 25-33. (In Russian)
30. Evstigneev O.I., Korotkov V.N. Ontogenetic stages of trees: an overview. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2016, vol. 1 (2), pp. 1-31. (In Russian) DOI:10.21685/2500-0578-2016-2-1
31. Lonsdale D., ed. Ancient and Other Veteran Trees: Further Guidance on Management. London, The Tree Council, 2013, 212 p.
32. Kushnir A.I., Vakulyk I.I. Value of unique old trees – a natural monument. *Biological Resources and Nature Management*, 2018, vol. 10, no. 3-4, pp. 176-182. (In Ukrainian) DOI: 10.31548/bio2018.03.023

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лилия В. Бондарева проводила определение видов, выполняла полевые исследования, проанализировала данные. Наталия А. Мильчакова выполняла полевые исследования, проанализировала и обобщила данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Liliya V. Bondareva undertook species identification, field research, data analyses. Nataliya A. Milchakova undertook field research, data analyses and summarizing data. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for avoiding the plagiarism and self-plagiarism.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

#### ORCID

Лилия В. Бондарева / Liliya V. Bondareva <https://orcid.org/0000-0002-2872-070X>

Наталия А. Мильчакова / Nataliya A. Milchakova <https://orcid.org/0000-0001-5407-7706>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 597.2/5:639.2.09(262.5)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-118-129

## Исследование визуальных патологий у рыб Юго-Западного побережья Черного моря

Татьяна В. Гаврюсева 

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей» имени А.О. Ковалевского РАН»,  
Севастополь, Россия

### Контактное лицо

Татьяна В. Гаврюсева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела ихтиологии, Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»; 299011 Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2.  
Тел. +7(8692)544110  
Email [gavrt2004@mail.ru](mailto:gavrt2004@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9102-0861>

### Формат цитирования

Гаврюсева Т.В. Исследование визуальных патологий у рыб Юго-Западного побережья Черного моря // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 118-129. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-118-129

Получена 18 июля 2019 г.

Прошла рецензирование 16 сентября 2019 г.

Принята 21 ноября 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Изучить возможность использования визуальных признаков патологии у рыб для выявления наиболее чувствительных мониторинговых видов, которые можно использовать для оценки экологического состояния прибрежных акваторий Севастополя.

**Материал и методы.** Внешнему осмотру и патологоанатомическому вскрытию подвергли 461 экз. одиннадцати массовых видов рыб, отловленных из акватории Севастополя в 2018 г. Для оценки состояния организма рыб на основе клинического и патологоанатомического обследования проведена полуколичественная градация выявленных патологий с использованием индекса оценки здоровья (HAI).

**Результаты.** Отмечали повреждения кожных покровов, жабр, альтерации плавников, скелетные деформации, патологии печени, селезенки, гонад, паразитарные инвазии. Всего зафиксировано 23 визуально определяемых патологических изменений. Анализ обнаруженных аномалий с использованием индекса оценки здоровья (HAI) показал, что наиболее показательными биомониторными видами были придонные и донные рыбы: бычок-мартовик *Mesogobius batrachocephalus* Pallas, 1814, бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814 и зеленушка рулена *Symphodus tinca* Linnaeus, 1758. У этих трех видов рыб были выявлены альтерации печени, что может свидетельствовать о хроническом воздействии ксенобиотиков, и эктопаразиты, что указывает на ослабление иммунного статуса исследуемых особей.

**Выводы.** Патоморфологические исследования рыб в прибрежной зоне Севастополя показали, что состояние органов и тканей связано с особенностями экологии и чувствительностью исследуемых рыб к загрязнению среды обитания. Результаты исследования представляют интерес при разработке мониторинговых программ биотестирования и биоиндикации гидробионтов с помощью биомаркеров состояния здоровья рыб.

### Ключевые слова

Визуальные патологии, *Mesogobius batrachocephalus*, *Neogobius melanostomus*, *Symphodus tinca*, мониторинг, биоиндикаторы, индекс здоровья рыб, загрязнение, бухты Севастополя.

# The Study of External Pathologies in Fish of the South-Western Coast of the Black Sea

Tatiana V. Gavrusheva 

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Crimea

## Principal Contact

Tatiana V. Gavrusheva, Cand. Biol. Sci., Senior Researcher, Department of Ichthyology, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences; 2 Nakhimov Ave, Sevastopol, Crimea, 299011 Russia. Tel. +7(8692)544110  
Email [gavrt2004@mail.ru](mailto:gavrt2004@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9102-0861>

## How to cite this article

Gavrusheva T.V. The study of external pathologies in fish of the south-western coast of the Black Sea. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 118-129. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-118-129

Received 18 July 2019

Revised 16 September 2019

Accepted 21 November 2019

## Abstract

**Aim.** The aim of our investigation was to study the possibility of using the visual pathologies of fish as biomarkers of pollution to identify those fish species most sensitive in this way as biological monitors in assessing the ecological state of Sevastopol waters.

**Material and Methods.** 461 specimens of eleven common species of fish from the waters of Sevastopol were subjected to external examination and dissection in 2018. A semi-quantitative gradation of the identified pathologies was conducted using the Health Assessment Index (HAI).

**Results.** Twenty three types of visual pathology were recorded. Abnormalities in the skin and gills, fin alterations, skeletal deformities, pathologies of liver, spleen and gonads and parasitic invasions were noted. Analysis of external anomalies using the Health Assessment Index (HAI) revealed that the most potentially indicative species for visual biomonitoring were the following demersal fishes: knout goby *Mesogobius batrachocephalus* Pallas, 1814, round goby *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814 and East Atlantic peacock wrasse *Symphodus tinca* Linnaeus, 1758. Liver changes detected in these three fish species may indicate chronic exposure and reaction to xenobiotics and the presence of ectoparasites would indicate a weakening of the immune status of the individual specimens studied.

**Conclusions.** Pathological studies of fish in Sevastopol's coastal zone indicated that the condition of their organs and tissues is related to environmental factors and that there are sensitivities to habitat pollution. The results of the study are of interest in the future development of monitoring programs for bioassays and bioindication of hydrobionts using fish as biomarkers.

## Key Words

External pathology, *Mesogobius batrachocephalus*, *Neogobius melanostomus*, *Symphodus tinca*, monitoring, bioindicators, Health Assessment Index (HAI), pollution, Sevastopol bays.

## ВВЕДЕНИЕ

Прибрежная зона Севастопольского региона относится к акваториям активного хозяйственного пользования. Хозяйственно-бытовые, промышленные, ливневые стоки и стоки морского флота поступают в акваторию Севастопольской бухты практически без очистки [1]. Основными загрязнителями в бухтах Севастополя являются нефтепродукты, тяжелые металлы [1], хлорорганические ксенобиотики [2], биогенная органика и СПАВ [3]. Интенсивная антропогенная нагрузка привела к значительному ухудшению экологической обстановки в регионе, а также оказывает негативное воздействие на гидробионтов [4-6].

Комплексные мониторинговые исследования водной среды дают возможность своевременно выявить основные последствия, связанные с нарушением экологического баланса. Наряду с оценкой качества водной среды путем непосредственного определения концентрации загрязнителей и их токсичности, показателем экологического благополучия водоема является само состояние обитающих в нем гидробионтов, их популяций и сообществ. Рыбы, представляющие верхний уровень в трофической системе водоемов, успешно используются в качестве индикаторов загрязнения воды. Применяются методы оценки, основанные на экологических, физиологических, патоморфологических показателях гидробионтов [7; 8].

Использование визуально определяемых патологий рыб в качестве биомаркеров загрязнения является легкодоступным методом для его применения в полевых условиях. В различных мониторинговых программах наиболее часто учитываются: скелетные деформации, эрозия плавников, эпидермальная гиперплазия, патологические изменения внутренних органов (кровоизлияния, опухоли и т.д.) [7; 9; 10]. В качестве индикаторов загрязнения окружающей среды также используются и многие паразиты различного систематического положения ввиду их чувствительности к различным ксенобиотикам [11; 12].

Визуальные аномалии гидробионтов являются качественными признаками, поэтому судить о тяжести тех или иных изменений и проводить сравнительный анализ полученных данных затруднительно. Метод визуальных оценок патологических аномалий у рыб широко используется в отечественной литературе, особенно на пресноводных рыбах [8; 13; 14]. Для выявления различий в состоянии рыб часто используют индекс оценки здоровья в количественном выражении на основе внешнего осмотра и клинического исследования (НАИ), предложенный Адамсом с соавторами [15; 16].

В акватории Севастополя в течение ряда лет проводятся экотоксикологические исследования разных видов рыб [5; 6; 17]. Периодически проводился гистологический анализ жабр и гонад [18; 19]. Широко освещено влияние паразитофауны на рыб [20-22]. Проведен анализ визуальных альтераций кожного покрова, плавников, скелетных деформаций и макроскопических паразитов у черноморского калкана *Scophthalmus maeoticus* Pallas, 1814 [4]. Стоит отметить, что в настоящее время запасы *S. maeoticus* подорваны [23], поэтому использование этого вида в качестве биомониторного

не представляется возможным. Патологии внешнего и внутреннего строения у других рыб в качестве биомаркеров загрязнения в акватории Севастополя не применяли.

*Цель работы* – изучить возможность использования визуальных признаков патологии у рыб для выявления наиболее чувствительных мониторинговых видов, которые можно использовать для оценки экологического состояния прибрежных акваторий Севастополя.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рыб отлавливали ряжевыми (трехстенными сетями) в трех бухтах Севастополя: Матюшенко, Александровской, Карантинной и живыми доставляли в лабораторию. Всего патоморфологическому анализу подвергли 461 экз. рыб: морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (n=163), бычка-мартовика *Mesogobius batrachocephalus* Pallas, 1814 (n=21), бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* Pallas, 1814 (n=28), бычка черного *Gobius niger* Linnaeus, 1758 (n=3), кефали сингиля *Chelon auratus* Risso, 1810 (n=87), зеленушки рулены *Symphodus tinca* Linnaeus, 1758 (n=18), темного горбыля *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (n=30), ставриды *Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev, 1956 (n=19), спикары *Spicara flexuosa* Rafinesque, 1810 (n=23), ласкиря *Diplodus annularis* Linnaeus, 1758 (n=21), султанки *Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927 (n=14).

При исследовании рыб на внешние или внутренние альтерации отмечали изменение пигментации, деформацию костей черепа и скелета, гиперемии, точечные или обширные геморрагии, абсцессы, опухоли, некрозы, состояние жабр, плавников, глаз, наличие асцита, воспаление ануса и т.д. При патологоанатомическом вскрытии обращали внимание на содержимое брюшной полости (наличие жидкости или газа). Внутренние органы осматривали, регистрировали изменение цвета, размера, консистенции, наличие кровоизлияний, опухолей и т.п. Обнаруженные у рыб альтерации подробно описывали и фотографировали.

Визуальный паразитологический анализ осуществляли путем подсчета численности паразитарных агентов у рыб [24]. По интенсивности заражения выделяли три категории: незначительную (1–10 паразитарных агентов на одну особь), умеренное заражение (11–20) и многочисленные паразиты (>20) [15].

В наших исследованиях для оценки состояния организма рыб на основе клинического и патологоанатомического обследования мы унифицировали градацию Адамса [15], дополнив ее градацией для гонад по Ю.С. Решетникову с соавторами [13]; состоянию позвоночника и кожных покровов по О.А. Госьковой и др. [14] и нашими данными. В зависимости от степени тяжести повреждения переменным НАИ были присвоены значения 0, 10, 20 или 30. Органам в норме присваивалось значение 0, легкой степени повреждений – 10; умеренным альтерациям – 20, а тяжелые патологии получали ранжирование 30 (табл. 1). Анализ обнаруженных визуальных аномалий с использованием индекса оценки здоровья (НАИ) проводили у шести видов рыб: морского ерша, бычка-мартовика, бычка-кругляка, кефали сингиля, зеленушки рулены и темного горбыля, выборки которых были репрезентативны.

**Таблица 1.** Описание переменных, используемых в индексе оценки состояния «здоровья» (HAI) рыб из бухт Севастополя. Значения присваиваются каждой из этих переменных в зависимости от типа и тяжести наблюдаемой аномалии [13-15, наши предложения]

**Table 1.** Description of the variables used in the index of the state of health (HAI) assessment of fishes from the bays of Sevastopol. Values are assigned to each of these variables depending on the type and severity of the observed anomaly [13-15, our proposals]

Переменные (органы и ткани) Variable (organs and tissues)	Переменное состояние (визуальные патологии) Variable condition (visible pathology)	Значение для HAI HAI value
<b>Позвоночник</b> Vertebra	Искривление позвоночника Spinal deformity	20
<b>Челюсти</b> Jaws	Деформация челюстей Deformity of jaws	20
<b>Плавники</b> Fins	Утолщение плавников Thickening of fins	10
	Скручивание плавников Deformity (warping) of fins	20
<b>Почки (мочевой пузырь)</b> Kidney (bladder)	Мочекаменная болезнь или минеральный материал белого или сливочного цвета в почечных канальцах Urolithiasis or nephrocalcinosis: white or cream-colored mineral material in kidney tubules	30
<b>Кожа</b> Skin	Незначительные аберрации кожи Mild skin aberrations	10
	Умеренные повреждения кожи Moderate skin aberrations	20
	Тяжелые аберрации кожи Severe skin aberrations	30
<b>Селезенка</b> Spleen	Увеличенная; заметно увеличенная Enlarged; noticeably enlarged	30
<b>Печень</b> Liver	Расширение кровеносных сосудов Dilation of blood vessels	10
	Узелки в печени; кисты или узлы Nodules in liver; cysts or nodules	30
	Новообразование в печени Neoplasm in liver	30
	Уменьшение размера Liver size reduction	30
	Очаговое обесцвечивание; отдельные локализованные очаги изменения цвета Focal discolouration; distinct localised colour changes	30
	Общее обесцвечивание; изменение цвета всей печени General discolouration; colour change in whole liver	30
<b>Глаза</b> Eyes	Непрозрачные глаза (один или оба) Opaque eyes (one or both)	30
	Отекший, выступающий глаз (один или оба) (экзофтальмия) Swollen, protruding eye (one or both) (exophthalmia)	30
<b>Жабры</b> Gills	Потертые; эрозия кончиков жаберных ламелл, образование «рваных» жабр Frayed; erosion of tips of gill lamellae, formation of 'tattered' gills	30
	Маргинированные; жабры с легким, обесцвеченным краем вдоль кончиков ламелл Marginated; gills with light, discoloured edge along tips of lamellae	30
	Бледные; очень светлого цвета/Pale; very light colour	30
<b>Гонады</b> Gonads	Изменение цвета гонад и половых клеток; гонады самцов с участками желтого или коричневого цвета; гонады красного цвета (кровоизлияния под оболочкой гонад); ооциты белого цвета; некоторые ооциты в яичнике Change in the colour of gonads and germ cells; gonads of males with areas of yellow or brown colour; red gonads (hemorrhage under gonad membrane); white oocytes; some oocytes in ovary	10
	Изменение формы гонад: асимметрия, перетяжки, дольчатость; срастание гонад между собой или прирастание к кишечнику Change in shape of gonads: asymmetry, constriction, lobation; adhesion to intestines and between gonads or to intestines	30
<b>Паразиты</b> Parasites	Незначительная инвазия паразитами (1–10) Few observed parasites (1-10)	10
	Умеренное заражение паразитами (11–20) Mild parasitic infection (11-20)	20
	Многочисленные паразиты (>20) Numerous parasites (>20)	30

**ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

При анализе данных визуального осмотра и патологоанатомического вскрытия у рыб из бухт Севастополя выявили повреждения кожных покровов, жабр,

альтерации плавников, скелетные деформации, патологии печени, селезенки, гонад, паразитарные инвазии (рис. 1, 2; табл. 2).

**Таблица 2.** Органы и ткани рыб, в которых были выявлены визуальные и клинические признаки патологии

**Table 2.** Organs and tissues of fish in which visible and clinical signs of pathology were identified

Вид рыбы Fish species	Б. Александровская B. Aleksandrovskaya	Б. Карантинная B. Karantinnaya	Б. Матюшенко B. Matyushenko
<i>S. porcus</i>	88/1 – мочевой пузырь, 1 – глаза 88/1 – bladder, 1 – eyes	31/3 – мочевой пузырь, 1 – гонады 31/3 – bladder, 1 – gonads	44/0
<i>M. batrachcephalus</i>	5/2 – паразиты в желчном пузыре, 1 – деформация плавников, 1 – печень 5/2 – parasites in gall bladder, 1 – fin deformity, 1 – liver	5/1 – печень, 2 – паразиты в желчном пузыре 5/1 – liver, 2 – parasites in gall bladder	11/3 – деформация плавников, 2 – печень, 3 – паразиты в желчном пузыре, 1 – искривление позвоночника 11/3 – fin deformity, 2 – liver, 3 – parasites in gall bladder, 1 – spine curvature
<i>N. melanostomus</i>	28/2 – печень, 3 – паразиты на коже, 1 – гонады; 1 – изменение формы и размера гонад 28/2 – liver, 3 – parasites on skin, 1 – gonads; 1 – change in shape and size of gonads	–	–
<i>G. niger</i>	3/1 – паразиты в полости тела 3/1 – parasites in body cavity	–	–
<i>T. mediterraneus</i>	14/2 – паразиты в полости тела 14/2 – parasites in body cavity	–	5/2 – печень 5/2 – liver
<i>S. flexuosa</i>	4/–	15/6 – паразиты в полости тела 15/6 – parasites in body cavity	4/1 – паразиты в полости тела 4/1 – parasites in body cavity
<i>S. umbra</i>	18/3 – печень, 1 – жабры 18/3 – liver, 1 – gills	10/1 – глаза (экзофтальмия), 1 – деформация черепа, искривление позвоночника; 1 – асимметрия гонад 10/1 – eyes (exophthalmia), 1 – skull deformity, spinal curva- ture; 1 – gonad asymmetry	2/1 – печень, 1 – паразиты в полости тела 2/1 – liver, 1 – parasites in body cavity
<i>S. tinca</i>	17/8 – печень, из них у 7 – паразиты; 1 – темные включения в гонадах 17/8 – a liver, 7 of them – para- sites; 1 – dark inclusions in gon- ads	–	1/1 – печень 1/1 – liver
<i>D. annularis</i>	6/1 – жабры, 2 – печень, 6/1 – gills, 2 – liver	9/0	6/0
<i>C. auratus</i>	11/0	–	78/1 – печень, 1 – селезенка, 1 – гонады, 12 – паразиты в полости тела, 3 – паразиты в желчном пузыре, 2 – паразиты на жабрах 78/1 – liver, 1 – spleen, 1 – gonads, 12 – parasites in body cavity, 3 – parasites in gall bladder, 2 – parasites on gills
<i>M. barbatus</i>	14/0	–	–

Примечание: n1/n2: n1 – общее количество исследованных рыб, n2 – число особей с патологиями

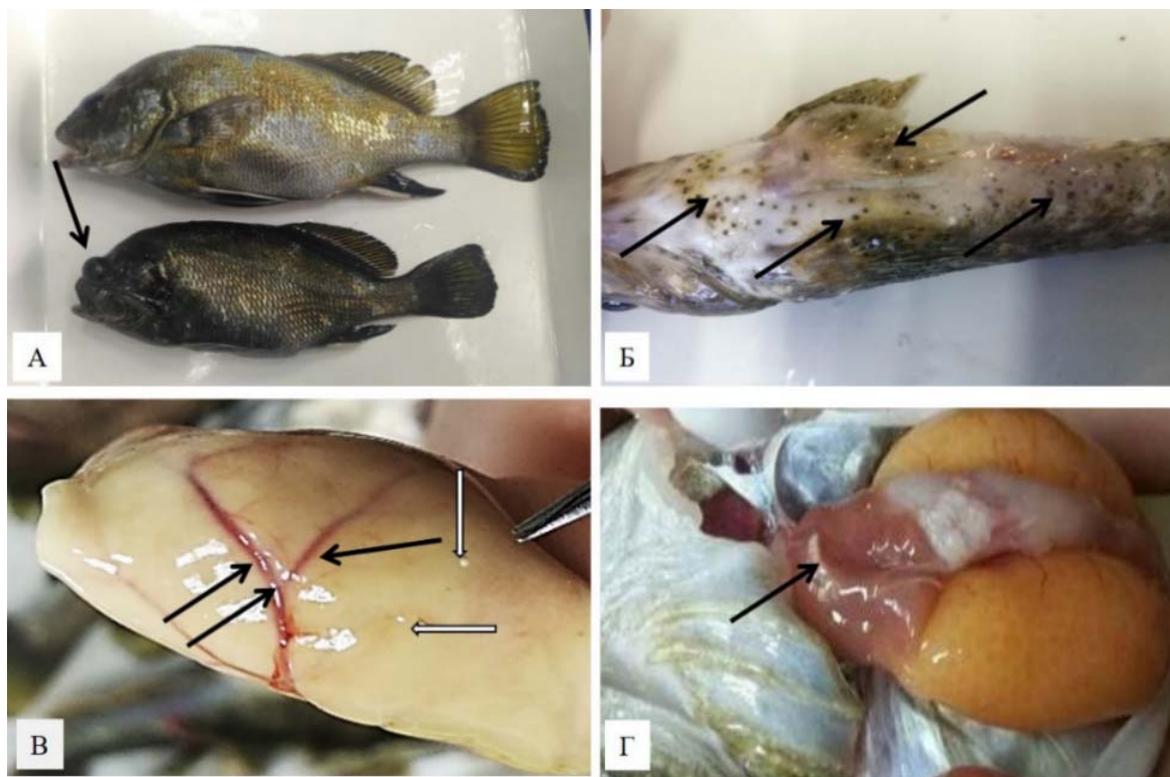
Note: n1 / n2: n1 – total number of fish studied, n2 – number of individuals with pathologies

Скелетную деформацию (сколиоз) в виде S-образного горизонтального искривления позвоночника за период исследования отмечали у бычка-мартовика из б. Матюшенко и у темного горбыля из б. Карантинная. Деформация черепа (рис. 1А) была обнаружена у последней группы рыб. По литературным данным значительная взаимосвязь выявлена между распространенностью сколиоза и воздействием различных

хлороорганических пестицидов [25; 26]. Нарушения структуры скелета также могут быть вызваны повышенной концентрацией тяжелых металлов [7; 26] в водной среде. Подобные альтерации могли быть обусловлены генетическими мутациями, различными заболеваниями [22; 27; 28], пищевыми факторами, патологиями развития и не связаны с загрязнением [26].

**Плавники.** Скручивание и утолщение брюшных и анальных плавников выявили у бычка-мартовика в бухтах Александровская и Матюшенко. Сведений о возможных причинах подобного повреждения плавников мы не нашли. Возможно, что эта патология является начальной стадией эрозии плавников, которая

выглядит как утолщение эпителия по краю плавников [7], при развитии заболевания приводит к некрозу мягких тканей и истиранию лучей, а в дальнейшем – к тотальному некрозу плавника [9]. Вероятной причиной выявленной альтерации могут быть и механические травмы в результате трения о грунт.



**Рисунок 1.** Визуальные признаки патологии, выявленные у рыб из бухт Севастополя: А – экзофтальмия (↑), деформация черепа у темного горбыля б. Карантинная (вверху для сравнения здоровая рыба); Б – поражение кожного покрова метацеркариями трематоды *Cryptocotyle* (↑) у бычка-кругляка, б. Александровская; В – расширение кровеносных сосудов (↑) и мелкие белые включения (⌈) в паренхиме печени у бычка-мартовика, б. Карантинная; Г – изменение цвета и белые включения в печени у бычка-мартовика, б. Матюшенко

**Figure 1.** Visual signs of pathology detected in fish from bays of Sevastopol: А – exophthalmia (↑), skull deformity in a brown meagre from Karantinnaya Bay (at top healthy fish for comparison); Б – lesion of skin by trematodes *Cryptocotyle* (↑) in round goby from Alexandrovskaya Bay; В – dilatation of blood vessels (↑) and small white inclusions (⌈) in liver parenchyma of knout goby from Karantinnaya Bay; Г – discolouration and white inclusions in liver of knout goby from Matyushenko Bay

**Кожа.** Многочисленных значительных внешних повреждений кожи у рыб не отмечали. Нарушение целостности кожного покрова регистрировали у бычка-кругляка из бухты Александровская в результате множественного поражения метацеркариями трематоды *Cryptocotyle* (рис. 1Б).

Визуальные патологические повреждения в жабрах наблюдали у ласкиря из б. Александровская и у кефали из б. Матюшенко. У рыб вышеуказанных видов были выявлены мелкие белые включения в жабрах и жаберной полости.

**Печень.** Наиболее часто встречающимися альтерациями были расширение кровеносных сосудов (рис. 1В) у бычка-мартовика из б. Карантинная; изменение цвета, консистенции и размера органа у бычка-кругляка (рис. 1Г) из б. Матюшенко (табл. 2). Мелкие белые включения отмечали в паренхиме

печени у бычка-мартовика из всех трех исследованных бухт и у бычка-кругляка из б. Александровская. Более тяжелыми визуальными повреждениями были новообразования на печени у бычка-кругляка и темного горбыля из б. Александровская (рис. 2А, Б).

Опухолевый рост может быть следствием негативного воздействия на организм широкого ряда факторов: химические канцерогены, радиация, и онкогенные вирусы [8; 9; 10]. Новообразования печени и их начальные стадии (очаги клеточных изменений) связаны со временем воздействия антропогенных канцерогенных загрязнителей, в частности полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и полихлорированных бифенилов (ПХБ) и их метаболитов. Наличие опухолей печени и связанных с ними поражений признаются показателями предыдущего воздействия загрязнителей [10; 27].



**Рисунок 2.** Визуальные признаки патологии, выявленные у рыб из бухт Севастополя: А – новообразование темно-красного цвета (↑) у бычка кругляка, б. Александровская; Б – новообразование в печени (↑) у темного горбыля, б. Александровская; В – камень в мочевом пузыре (↑) у морского ерша, б. Карантинная; Г – паразиты на печени у зеленушки рулены (↑), б. Александровская

**Figure 2.** Visual signs of pathology detected in fish from the bays of Sevastopol: А – a dark red colored tumor (↑) in a round goby from Alexandrovskaya Bay; Б – a neoplasm in the liver (↑) of a brown meagre from Alexandrovskaya bay; В – a stone in the bladder (↑) of a black scorpionfish from Karantinnaya Bay; Г – parasites on the liver of an East Atlantic peacock wrasse (↑) from Alexandrovskaya Bay

Аномалии желчного пузыря – увеличение размеров, изменение цвета желчи (красноватого или беловато-оранжевого) – выявили у бычка-мартовика из бухт Александровской и Карантинной. Подобные патологии могли быть вызваны личинками (цистицеркоидами) цестоды, обнаруженной у этих же рыб. Желчный пузырь при интенсивном заражении (десятки личинок) переполняется желчью в результате воспалительной реакции и нарушения ее оттока в кишечник рыб. Желчь изменяет цвет – из темно-зеленого цвета (норма) становится светлого или красноватого цвета [22; 25].

*Почки и мочевой пузырь.* В почках у рыб внешних признаков патологии не отмечали. Стоит отметить, что у морского ерша выявили увеличение и переполнение мочевого пузыря (б. Александровская) и твердые минерализованные отложения (камни) у этого же вида рыб из б. Карантинная (рис. 2В). Обнаруженные повреждения отмечали у особей обоего пола более старшей возрастной группы (6 лет). Подобная альтерация косвенно может свидетельствовать о нефрокальцинозе (отложении камней) и в почках у особей *S. roscus* с патологией.

Поражения в селезенке – темные включения – наблюдали только у кефали из бухты Александровская. Возможная причина выявленной патологии (увеличенная меланизация макрофагов и/или патогенные агенты) будет установлена при дальнейших гистологических исследованиях.

*Гонады.* В б. Александровская темные включения отмечали в гонадах у зеленушки рулены, а изменение формы и асимметрию гонад – у бычка-кругляка. В б. Матюшенко кровоизлияния в половых железах выявили у бычка-мартовика. В б. Карантинная регистрировали образование неправильной формы диаметром 3-4 мм у морского ерша и асимметрию гонад у темного горбыля. Известно, что большой спектр поллютантов, попадающих в водную среду, наряду с общетоксичным воздействием, оказывает влияние и на процессы гаметогенеза, приводит нарушению процесса размножения, и в конечном счете негативно сказывается на состоянии рыбных запасов [8]. Патологии репродуктивной функции у рыб могут вызывать ПАУ, в результате нарушения работы эндокринной системы, а также цитотоксического и мутагенного воздействия на половые клетки [8; 10]. Отмечено, что даже при отсутствии визуальных патологических нарушений в других органах «отклонения в системе воспроизводства рыб проявляются в виде асимметрии гонад при «культурном эвтрофировании» водоемов, в виде сбоя в развитии половых клеток при «тепловом загрязнении» [13].

*Глаза.* Помутнение поверхности глаза выявили у морского ерша из б. Александровская; экзофтальмию (пучеглазие) – у темного горбыля из б. Карантинная (рис. 1А). Помутнение поверхности глаза может предшествовать экзофтальмии, которая вызывается скоплением жидкости в глазу или позади него.

Причиной пучеглазия могут являться патогенные организмы: паразитарные агенты (трематоды), бактерии, вирусы, микозные инфекции или состояние окружающей среды [22; 25; 27].

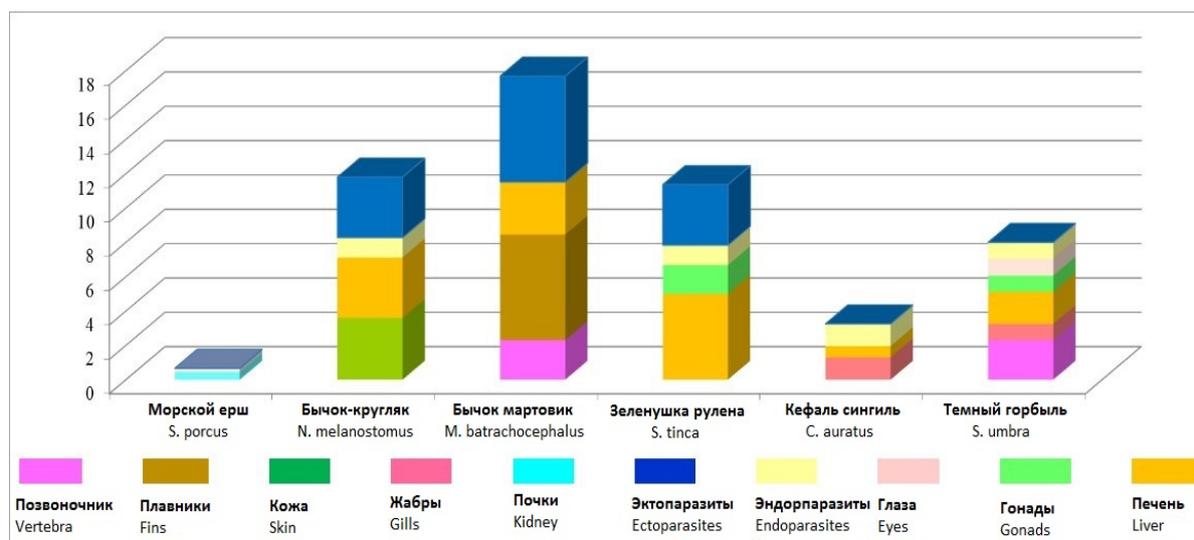
**Паразиты.** Как было указано выше, нами были выявлены макроскопические паразитарные агенты в коже, жабрах и жаберной полости, желчном пузыре исследованных особей. В полости тела у кефали-сингиля и ласкиря из б. Матюшенко и на печени у зеленушки рулены из б. Александровская обнаружили личинок нематод (рис. 2Г).

Отмечено, что индикаторами повышения уровня биогенных элементов являются гельминты с дифференцированным циклом развития, использующие в качестве промежуточных хозяев зоопланктон и зообентос [12]. При различной степени эвтрофирования водоемов в фауне паразитов промысловых рыб сокращается количество видов с прямым жизненным циклом [11; 12]. Чувствительными к неблагоприятным факторам окружающей среды являются как паразитические простейшие – иктиофтириус, триходины, хилодонелла, апиозомы, трихофрии, иктиободо, обитающие на наружных покровах хозяина, так и гельминты – нематоды, скребни, цестоды, трематоды [11; 12; 29].

Бычок-кругляк является одним из массовых промежуточных хозяев трематоды рода *Cryptocotyle*, поражающей рыб на стадии метацеркарии. Трематоды рода *Cryptocotyle* обычно локализуются в коже, плавниках, мышцах и жабрах [22]. Высокая зараженность личинками трематод может привести к развитию тяжелых альтераций, значительно снижающих массу и упитанность рыб [20], и вызывать нарушения в печени рыб [30]. Трематодозы, как и другие паразитозы, могут усугубить патологические изменения, вызываемые кенобиотиками, поэтому изучение зараженности рыб представляет интерес для мониторинговых экотоксикологических исследований.

Таким образом, в экологических условиях прибрежной зоны Севастополя у одиннадцати видов рыб зафиксировано 23 вида визуальных патологий: 2 вида нарушений жабр, 8 – печени, 4 – гонад и 1 – селезенки, 2 – кожи, 1 – позвоночника, 2 – плавников, 2 – глаз, 1 – челюстей.

Предварительный анализ обнаруженных визуальных аномалий с использованием индекса оценки здоровья (HAI), показал, что более чувствительными биомониторными видами являются бычок-мартовик, бычок-кругляк и зеленушка рулена (рис. 3). У этих трех видов рыб были выявлены эктопаразиты и альтерации печени (рис. 1, 2; табл. 2).



**Рисунок 3.** Данные индекса оценки здоровья (HAI) с использованием визуальных аномалий, обнаруженных у рыб в бухтах Севастополя в ноябре 2017 – ноябре 2018 гг.

**Figure 3.** Data of Health Assessment Index (HAI) compiled from observation of visible anomalies in fish from bays of Sevastopol in November 2017 – November 2018

Значения переменной печени у исследованных нами рыб «вносят наибольший вклад» в индекс оценки здоровья. Печень рыб чувствительна к различным токсикантам, поскольку в ней накапливаются многие загрязняющие вещества. В результате этого она подвергается воздействию гораздо более высоких уровней (на несколько порядков), чем в окружающей среде или в других органах [27]. Наблюдаемые в паренхиме печени альтерации зависят от типа, экспозиции и концентрации токсикантов [27], а также увеличиваются с возрастом и зависят от репродуктивного цикла [8].

Кроме того, у бычка-мартовика обнаружены скелетные деформации и повреждение плавников, а у зеленушки и бычка-кругляка – эндорпаразиты в полости тела.

Вышеуказанные виды бычков, а также морской ерш широко используются в качестве биомониторов при проведении биохимических, гематологических, гистологических исследований [5; 6; 17]. Бычок-мартовик и бычок-кругляк ведут донный образ жизни, а зеленушка рулена – придонный. Постоянный контакт с загрязненными грунтами приводит к накоплению токсикантов в организме рыб и возникновению

патологических нарушений. Стоит отметить, что морской ерш также относится к донным видам, но значение индекса HAI у него самое низкое из проанализированных нами видов рыб (рис. 3). По-видимому, *S. roscus* является более устойчивым к различным ксенобиотикам видом. Уточненную характеристику выявленным альтерациям можно будет дать после проведения гистопатологических исследований.

Биомониторинг водной среды, основанный на анализе визуальных патологий у рыб, позволяет выявлять негативные влияния естественных и антропогенных факторов раньше, чем многие инструментальные методы [7; 8]. Применение критерия HAI дает возможность провести оценку состояния здоровья в популяции рыб. Если при расчете HAI выявляют общую проблему со здоровьем в популяции, то впоследствии могут быть использованы более конкретные подходы к оценке, такие как применение биологических показателей, биохимических и гистопатологических данных.

Недостатком метода учета внешних патологий является то, что он недооценивает «истинную» распространенность поражений, потому что не позволяет учитывать микроскопические повреждения, которые не видны при визуальном исследовании. Кроме того, используемая методика не дает возможность выявить другие типы патологий (в том числе, начальные пренепластические и неопухольевые поражения) которые также могут использоваться в качестве маркеров воздействия загрязнителя. У исследованных нами рыб проведен отбор и гистологическая обработка полученных проб с целью дальнейшего исследования. Стоит отметить, что при проведении дальнейших мониторинговых исследований спектр выявленных изменений будет расширяться, а таблица по градации внешних признаков патологии – пополняться новыми данными.

Загрязнение среды обитания неоднозначно влияет на рыб разного пола и возраста. Известно, что наиболее уязвимыми являются особи младших возрастных групп [5; 7; 8]. В наших исследованиях пока отмечено только влияние возраста морского ерша на присутствие патологии в мочевом пузыре, которую наблюдали у особей более старшей возрастной группы, тогда как зависимости подобной альтерации от половой принадлежности не выявили. Вероятно, что обнаруженные нами у гидробионтов внешние альтерации и паразитарные агенты больше обусловлены биологией, видовыми особенностями исследуемых рыб, а также средой их обитания. Более полную картину зависимости различных визуальных повреждений от вида, половой принадлежности и возраста у исследуемых особей можно будет дать при проведении дальнейших мониторинговых исследований разновозрастных видов рыб обоего пола из бухт Севастополя.

## Выводы

При внешнем осмотре и патологоанатомическом вскрытии у рыб из бухт Севастополя выявили повреждения кожных покровов, жабр, альтерации плавников, скелетные деформации, патологии печени, селезенки, гонад, паразитарные инвазии.

При проведении анализа обнаруженных внешних аномалий с использованием индекса оценки

здоровья (HAI) выявили, что более чувствительными биомониторными видами являются бычок-мартовик, бычок-кругляк и зеленушка рулена – придонные и донные рыбы. Более высокие значения HAI у этих видов рыб являлись результатом присутствия эктопаразитов и патологий печени.

Обнаруженные нами у гидробионтов внешние альтерации и паразитарные агенты обусловлены биологией, видовыми особенностями исследуемых рыб, а также средой их обитания.

Регистрируемые у исследуемых гидробионтов патологии могут быть использованы для контроля изменений экосистемы севастопольской акватории. Подобная методика широко применяется во многих международных исследованиях. Для более точного анализа определение визуальных нарушений у рыб необходимо проводить совместно с гистологическими исследованиями с целью выявления начальных патологических изменений, уточнения диагноза и определения тяжести, а в случае паразитарных, микозных и некоторых инфекционных заболеваний – возможных этиологических агентов.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена по теме государственного задания Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», номер гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4; «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», номер гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2.

## ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out according to the state assignment tasks of the Federal Research Centre, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the South Seas, Russian Academy of Sciences: “Functional, metabolic and toxicological aspects of the existence of hydrobionts and their populations in biotopes with differing physico-chemical regimes”, state registration number АААА-А18-118021490093-4; and “Patterns of formation and anthropogenic transformation of biodiversity and biological resources of the Azov-Black Sea basins and other regions of the world ocean”, state registration number АААА-А18-118020890074-2.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копытов Ю.П., Минкина Н.И., Самышев Э.З. Уровень загрязненности воды и донных отложений Севастопольской бухты (Черное море) // Системы контроля окружающей среды. Средства, модели и мониторинг: Сб. науч. тр. НАН Украины. МГИ: Севастополь, 2010. С. 199-208. URL: <http://www.nbu.gov.ua/Portal/natural/Skns/2010/articles> (дата обращения: 16.01.2019)
2. Малахова Л.В. Полихлорированные бифенилы и органический углерод в донных отложениях Севастопольской и Балаклавской бухт (Чёрное море) // Морской экологический журнал. 2013. Т. XII. N 1. С. 52-58.
3. Мезенцева И.В., Мальченко Ю.А. Комплексный подход в организации мониторинга загрязнения

- морских вод в прибрежных акваториях Севастополя // Труды Государственного Океанографического института. 2015. Вып. 216. С. 326-339.
4. Khanaychenko A.N., Giragosov V.E., Gaevskaya A.V. Epizootological state of the wild Black sea turbot (kalkan). Grossly visible pathology: preliminary data // Marine Ecological Journal. 2012. V. 11. N 4. P. 85-94.
  5. Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя / отв. ред. И.И. Руднева; Ин-т морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН; Российский фонд фундаментальных исследований. Москва: ГЕОС, 2016. 360 с.
  6. Kovyrshina T.B., Rudneva I.I. The Response of Blood Biomarkers of the Round Goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Perciformes: Gobiidae) to Chronic Coastal Pollution in the Sea of Azov // Russian Journal of Marine Biology. 2018. V. 44. P. 328-333. DOI: 10.1134/S1063074018040065
  7. Au D.W.T. The application of histo-cytopathological biomarkers in marine pollution monitoring: a review // Marine Pollution Bulletin. 2004. V. 48. Iss. 9-10. P. 817-834. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.02.032
  8. Моисеенко Т.И. Водная токсикология. Теоретические и прикладные аспекты. Москва: Наука, 2009. 400 с.
  9. Bucke D., Vethaak A.D., Lang T., Mellergaard S. Common Diseases and Parasites of Fish in the North Atlantic: Training Guide for Identification // ICES Techniques in Marine Environmental Sciences. 1996. N 19. 27 p. DOI: 10.25607/OBP-255
  10. Feist S.W., Lang T. Liver tumours in flatfish // ICES Identification Leaflets for Diseases and Parasites of Fish and Shellfish. 2014. Iss. 61. 5 p. DOI: 10.17895/ices.pub.5242
  11. Новак А.И. Инвазии рыб в водоемах с различными экологическими условиями // Российский паразитологический журнал. 2010. N 2. С. 6-10.
  12. Sures B., Nachev M., Selbach C., Marcogliese D.J. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology' // Parasites and Vectors. 2017. V. 10(65). P. 1-19. DOI: 10.1186/s13071-017-2001-3
  13. Решетников Ю.С., Акимова Н.В., Попова О.А. Аномалии в системе воспроизводства рыб при антропогенном воздействии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2000. Т. 2. N 2. С. 274-282.
  14. Госькова О.А., Мельниченко И.П., Богданов В.Д. Морфологические аномалии и травмы у пеляди в период нерестовой миграции в уральских притоках Оби // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. 2014. N 4. С. 7-15.
  15. Adams S.M., Brown A.M., Goede R.W. A Quantitative Health Assessment Index for Rapid Evaluation of Fish Condition in the Field // Transactions of the American Fisheries Society. 1993. V. 122. Iss. 1. P. 63-73. DOI: 10.1577/1548-8659(1993)122<0063:AQHAIF>2.3.CO;2
  16. Kumar D.M. Application of the health assessment index (HAI) for rapid evaluation of fish health // Journal of the Inland Fisheries Society of India. 2005. V. 37. Iss. 2. P. 87-92.
  17. Чеснокова И.И. Активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы в гонадах черноморских бычка-кругляка и бычка-мартовика // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2017. Т. 3. N3. С. 114-128. DOI: 10.21684/2411-7927-2017-3-3-114-128
  18. Овен Л.С. Специфика развития половых клеток морских рыб в период размножения как показатель типа нереста и реакции на условия среды обитания. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 188 с.
  19. Селюков А.Г., Чернов В.С., Жуков Г.В., Шуман Л.А. Гистопатологические изменения жаберного аппарата черноморской скорпены *Scorpaena porcus* // Сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование», Севастополь, 28 мая-1 июня, 2018. С. 228-233.
  20. Корнийчук Ю.М., Мартыненко И.М. Особенности распределения метацеркарий трематод рода *Cryptocotyle* (Heterophyidae) по поверхности тела бычка-кругляка *Apollonia* (*Neogobius melanostomus*) // Экология моря. 2009. Вып. 79. С. 11-14.
  21. Юрахов В.М., Горчанок Н.В. Миксоспоридия *Kudoa nova* (Myxosporea: Kudoidae) – паразит рыб Чёрного и Азовского морей // Морской экологический журнал. 2011. Т. X. N 2. С. 68-77.
  22. Гаевская А.В. Паразиты и болезни рыб Черного и Азовского морей: I – морские, солонатоводные и проходные рыбы. Севастополь: ЭКОСИГидрофизика, 2012. 380 с.
  23. Болтачев А.Р., Карпова Е.П. Ихтиофауна прибрежной зоны Севастополя (Чёрное море) // Морской экологический журнал. 2012. Т. 11. N 2. С. 10-27.
  24. Чернышева Н.Б., Кузнецова Е.В., Воронин В.Н., Стрелков Ю.А. Паразитологическое исследование рыб. Методическое пособие. СПб.: ГОСНИОРХ. 20 с.
  25. Noga E.J. Fish Disease: Diagnosis and Treatment. Wiley-Blackwell; 2nd ed., 2010. 536 p.
  26. Berillis P. Factors that can lead to the development of skeletal deformities in fishes: a review // Journal of Fisheries Sciences.com. 2015. V. 9. Iss. 3. P. 17-23.
  27. Myers M.S. Anulacion B.F., French B.L., Reichert W.L., Laetz C.A., Buzitis J., Olson O.P., Sol S., Collier T.K. Improved flatfish health following remediation of a PAH-contaminated site in Eagle Harbor, Washington // Aquatic Toxicology. 2008. V. 88. Iss. 4. P. 277-288. DOI: 10.1016/j.aquatox.2008.05.005
  28. Гаврюшева Т.В., Сергеев Н.В., Устименко Е.А., Рязанова Т.В. и др. Патогены гидробионтов Камчатки // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2012. Вып. 25. С. 190-207.
  29. Vidal Martinez V.M. Helminths and protozoans of aquatic organisms as bioindicators of chemical pollution // Parasitologia. 2007. V. 49. Iss. 3. P. 177-184.
  30. Skuratovskaya E.N., Kovyrshina T.B., Chesnokova I.I. Influence of *Cryptocotyle* spp. metacercariae (Creplin, 1825) on some biochemical parameters of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) // Bulletin of the European Association of Fish Pathologists. 2019. V. 39. Iss. 1. P. 24-30.

## REFERENCES

1. Копытов Ю.П., Микина Н.И., Самышев Е.З. [Level of water and sediments pollution in the Sevastopol Bay (Black Sea)]. In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy. Sredstva, modeli i monitoring* [Environmental Control Systems. Means, Models and Monitoring]. Sevastopol', MSI Publ., 2010, pp. 199-208. (In Russian) Available at:

- <http://www.nbu.gov.ua/Portal/natural/Skns/2010/articles> (accessed 16.01.2019)
2. Malakhova L.V. Polychlorinated biphenyls and organic carbon in bottom sediments of Sevastopol and Balaklava Bays (the Black Sea). *Morskoi ekologicheskii zhurnal* [Marine Ecological Journal]. 2013, vol. XII, no. 1, pp. 52-58. (In Russian)
  3. Mezenceva I.V., Malchenko Y.A. [Integrated approach in the organization of marine pollution monitoring in coastal water areas of Sevastopol]. In: *Trudy Gosudarstvennogo Okeanograficheskogo instituta* [Proceedings of State Oceanographic Institute]. 2015, iss. 216, pp. 326-339. (In Russian)
  4. Khanaychenko A.N., Giragosov V.E., Gaevskaya A.V. Epizootological state of the wild Black sea turbot (kalkan). Grossly visible pathology: preliminary data. *Marine Ecological Journal*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 85-94.
  5. Rudneva I.I., ed. *Ekotoksikologicheskie issledovaniya pribrezhnoi chernomorskoj ikhtiofauny v raione Sevastopolya* [Ecotoxicological Studies of Coastal Black Sea Ichthyofauna in the Region of Sevastopol]. Moscow, GEOS Publ., 2016, 360 p. (In Russian)
  6. Kovyrshina T.B., Rudneva I.I. The Response of Blood Biomarkers of the Round Goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Perciformes: Gobiidae) to Chronic Coastal Pollution in the Sea of Azov. *Russian Journal of Marine Biology*, 2018, vol. 44, pp. 328-333. DOI: 10.1134/S1063074018040065
  7. Au D.W.T. The application of histo-cytopathological biomarkers in marine pollution monitoring: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, vol. 48, iss. 9-10, pp. 817-834. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.02.032
  8. Moiseenko T.I. *Vodnaya toksikologiya. Teoreticheskie i prikladnye aspekty* [Aquatic Toxicology. Theoretical and Applied Aspects]. Moscow, Nauka Publ., 2009, 400 p. (In Russian)
  9. Bucke D., Vethaak A.D., Lang T., Møllergaard S. Common Diseases and Parasites of Fish in the North Atlantic: Training Guide for Identification. *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences*, 1996, no. 19, 27 p. DOI: 10.25607/OBP-255
  10. Feist S.W., Lang T. Liver tumours in flatfish. *ICES Identification Leaflets for Diseases and Parasites of Fish and Shellfish*, 2014, iss. 61, 5 p. DOI: 10.17895/ices.pub.5242
  11. Novak A.I. Invasions of fishes in pools with different ecological conditions. *Rossiiskii parazitologicheskii zhurnal* [Russian Parasitological Journal]. 2010, no. 2, pp. 6-10. (In Russian)
  12. Sures B., Nachev M., Selbach C., Marcogliese D.J. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. *Parasites and Vectors*, 2017, vol. 10(65), pp. 1-19. DOI 10.1186/s13071-017-2001-3
  13. Reshetnikov Y.S., Akimova N.V., Popova O.A. Morphological anomalies in the reproduction system of fish under pollution. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2000, vol. 2, no. 2, pp. 274-282. (In Russian)
  14. Goskova O.A., Melnichenko I.P., Bogdanov V.D. Morphological anomalies and traumas of peled during spawning migration in the Ural Ob tributaries. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo* [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry]. 2014, no. 4, pp. 7-15. (In Russian)
  15. Adams S.M., Brown A.M., Goede R.W. A Quantitative Health Assessment Index for Rapid Evaluation of Fish Condition in the Field. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1993, vol. 122, iss. 1, pp. 63-73. DOI: 10.1577/1548-8659(1993)122<0063:AQHAIF>2.3.CO;2
  16. Kumar D.M. Application of the health assessment index (HAI) for rapid evaluation of fish health. *Journal of the Inland Fisheries Society of India*, 2005, vol. 37, iss. 2, pp. 87-92.
  17. Chesnokova I.I. Activity of aminotransferases and alkaline phosphatase in the gonads of round goby and knout goby. *Tyumen State University Bulletin. Natural Resource Use and Ecology*, 2017, vol. 3, no. 3, pp. 114-128. DOI: 10.21684/2411-7927-2017-3-3-114-128 (In Russian)
  18. Oven L.S. *Spetsifika razvitiya polovykh kletok morskikh ryb v period razmnozheniya kak pokazatel' tipa neresta i reaktsii na usloviya sredi obitaniya* [The specifics of the development of gametes of marine fish during the breeding season as an indicator of the type of spawning and response to environmental conditions]. Moscow, VNIRO Publ., 2004, 188 p. (In Russian)
  19. Selyukov A.G., Chernov V.S., Zhukov G.V., Shuman L.A. *Gistopatologicheskie izmeneniya zhabernogo apparata chernomorskoj skorpeny Scorpaena porcus* [Histopathological changes of the gill apparatus of the Black Sea scorpion fish *Scorpaena porcus*]. *Sbornik statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 125-letiyu professora V. A. Vodyanitskogo «Zagryaznenie morskoi sredi: ekologicheskii monitoring, bioindikatsiya, normirovaniye», Sevastopol', 28 maya-1 iyunya, 2018* [Proceedures of the All-Russian Scientific Conference with international participation dedicated to the 125th anniversary of Professor V. A. Vodyanitsky "Pollution of the marine environment: environmental monitoring, bioindication and rationing", Sevastopol, May 28-June 1 2018]. Sevastopol, 2018, pp. 228-233. (In Russian)
  20. Korniychuk Yu.M., Martinenko I.M. Some peculiarities of *Cryptocotyle metacercariae* (Heterophyidae) distribution on the body surface of the round goby, *Apollonia (Neogobius) melanostomus*. *Ekologiya morya* [Marine Ecological Journal]. 2009, vol. 79, pp. 11-14. (In Russian)
  21. Yurakhno V.M., Gorchanok N.V. *Myxosporea Kudoa nova* (Myxosporea: Kudoidae) – parasite of Black Sea and Sea of Azov fish. *Morskoi ekologicheskii zhurnal* [Marine Ecological Journal]. 2011, vol. X, no. 2, pp. 68-77. (In Russian)
  22. Gaevskaya A.V. *Parazity i bolezni ryb Chernogo i Azovskogo morei: I - morskije, solonovatovodnye i prokhodnyye ryby* [Parasites and Fish Diseases of the Black and Azov Seas: I - Marine, Brackish and Migratory Fish]. Sevastopol, EKOSIGidrofizika Publ., 2012, 380 p. (In Russian)
  23. Boltachev A.R., Karpova E.P. The ichthyofauna of the Sevastopol coastal zone (the Black Sea) Sea. *Morskoi ekologicheskii zhurnal* [Marine Ecological Journal]. 2012, vol. 11, no. 2, pp. 10-27. (In Russian)
  24. Chernysheva N.B., Kuznetsova E.V., Voronin V.N., Strelkov Yu.A. *Parazitologicheskoe issledovanie ryb* [Parasitological study of fish]. St. Petersburg, GOSNIORH Publ., 2009, 20 p. (In Russian)
  25. Noga E.J. *Fish Disease: Diagnosis and Treatment*. Wiley-Blackwell; 2nd ed., 2010, 536 p.
  26. Berillis P. Factors that can lead to the development of skeletal deformities in fishes: a review. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 2015, vol. 9, iss. 3, pp. 17-23.
  27. Myers M.S. Anulacion B.F., French B.L., Reichert W.L., Laetz C.A., Buzitis J., Olson O.P., Sol S., Collier T.K. Improved

flatfish health following remediation of a PAH-contaminated site in Eagle Harbor, Washington. *Aquatic Toxicology*, 2008, vol. 88, iss. 4, pp. 277-288. DOI: 10.1016/j.aquatox.2008.05.005

28. Gavruseva T.V., Sergeenko N.V., Ustimenko E.A., Ryzanova T.V. et al. Pathogens of Kamchatka's hydrobionts. In: *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* [Researches into the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean]. 2014, vol. 25, pp. 190-207. (In Russian)

29. Vidal Martinez V.M. Helminths and protozoans of aquatic organisms as bioindicators of chemical pollution. *Parassitologia*, 2007, vol. 49, iss. 3, pp. 177-184.

30. Skuratovskaya E.N., Kovyrshina T.B., Chesnokova I.I. Influence of *Cryptocotyle spp.* metacercariae (Creplin, 1825) on some biochemical parameters of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814). *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 2019, vol. 39, iss. 1, pp. 24-30.

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татьяна В. Гаврюсева проводила визуальные и патоморфологические исследования рыб, проанализировала данные и написала рукопись. Автор несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatiana V. Gavruseva investigated the visible and pathological changes in fish, analyzed data and wrote the manuscript. The author is responsible for plagiarism and self-plagiarism.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author states that there is no conflict of interest.

#### ORCID

Татьяна В. Гаврюсева / Tatiana V. Gavruseva <https://orcid.org/0000-0002-9102-0861>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.46;57.044  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-130-136

## Оценка экотоксичности наночастиц оксидов кобальта, меди, никеля и цинка по биологическим показателям состояния чернозема обыкновенного

Сергей И. Колесников , Владимир М. Вардуни, Алена Н. Тимошенко,  
Татьяна В. Денисова, Камиль Ш. Казеев, Юлия В. Акименко

Академия биологии и биотехнологий им. Д.И. Иванковского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

### Контактное лицо

Сергей И. Колесников, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологий им. Д.И. Иванковского, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»; 344090 Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1. Тел. +79185550904  
Email [kolesnikov@sfedu.ru](mailto:kolesnikov@sfedu.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5860-8420>

### Формат цитирования

Колесников С.И., Вардуни В.М., Тимошенко А.Н., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Оценка экотоксичности наночастиц оксидов кобальта, меди, никеля и цинка по биологическим показателям состояния чернозема обыкновенного // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 130-136. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-130-136

Получена 10 августа 2019 г.  
Прошла рецензирование 3 октября 2019 г.  
Принята 20 декабря 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Оценка воздействия наночастиц оксидов кобальта, никеля, меди, цинка на биологическое состояние чернозема обыкновенного.

**Материал и методы.** Исследование влияния наночастиц  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO на биологические свойства почвы проводили на черноземе обыкновенном (Россия, г. Ростов-на-Дону). Исследовали воздействие различных концентраций загрязняющих веществ в зависимости от содержания их в почве – 3, 10, 30 фонов. Использовали наночастицы  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO размером < 50 нм,  $\text{TiO}_2$  – < 100 нм.

**Результаты.** Загрязнение чернозема обыкновенного  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , CuO, NiO, ZnO и их наночастицами приводит к ухудшению его биологических свойств: снижаются показатели общей численности бактерий, обилия бактерий рода *Azotobacter*, активности каталазы, активности дегидрогеназ, всхожести семян и длины корневой редиса. Оксиды исследуемых элементов оказали примерно равное негативное влияние на данные показатели, в то время как среди нанопорошков наиболее токсичными оказались оксиды меди и цинка, наименее — оксид кобальта. Установлено, что нанопорошки  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , CuO, NiO и ZnO снижают биологические показатели чернозема обыкновенного в большей степени, чем «обычные» формы оксидов. Стимулирующего действия исследуемых веществ на биологические свойства чернозема обыкновенного зафиксировано не было. Это свидетельствует о высокой токсичности исследуемых веществ, что характерно и для наночастиц других элементов.

**Заключение.** Загрязнение наночастицами оксидов кобальта, никеля, меди, цинка оказывает негативное воздействие на биологическое состояние чернозема, более выраженное, чем загрязнение «обычными» формами этих оксидов.

### Ключевые слова

Загрязнение, почва, нанопорошки, биотестирование, тяжелые металлы.

# Estimation of Ecotoxicity of Nanoparticles of Cobalt, Copper, Nickel and Zinc Oxides on Biological Indicators of the State of Ordinary Chernozem

Sergey I. Kolesnikov , Vladimir M. Varduni, Alena N. Timoshenko, Tatiana V. Denisova, Kamil Sh. Kazeev and Yuliya V. Akimenko

D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University, Rostov-on-Don, Russia

## Principal Contact

Sergey I. Kolesnikov, Dr Agric. Sciences, Professor and Head, Department of Ecology and Nature Management, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University; 194/1 Stachki Ave., Rostov-on Don, 344006 Russia.

Tel. +79185550904

Email [kolesnikov@sfedu.ru](mailto:kolesnikov@sfedu.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5860-8420>

## How to cite this article

Kolesnikov S.I., Varduni V.M., Timoshenko A.N., Denisova T.V., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Estimation of ecotoxicity of nanoparticles of cobalt, copper, nickel and zinc oxides on biological indicators of the state of ordinary chernozem.

*South of Russia: ecology, development.* 2020, vol. 15, no. 1, pp. 130-136. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-130-136

Received 10 August 2019

Revised 3 October 2019

Accepted 20 December 2019

## Abstract

**Aim.** Assessment of the effect of nanoparticles of oxides of cobalt, nickel, copper, zinc on the biological state of ordinary chernozem.

**Material and Methods.** The effect of  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{NiO}$  and  $\text{ZnO}$  nanoparticles on the biological properties of soil was studied on ordinary chernozem (Rostov-on-Don, Russia). We studied the effect of various concentrations of pollutants depending on their content in soil of 3, 10, 30 backgrounds.  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{NiO}$  and  $\text{ZnO}$  nanoparticles with a size of <50 nm and  $\text{TiO}_2$  of <100 nm.

**Results.** Contamination of ordinary chernozem by  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{NiO}$  and  $\text{ZnO}$  and their nanoparticles leads to a deterioration in its biological properties in terms of: total bacteria numbers; abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*; activity of catalase; activity of dehydrogenases and decrease in seed germination and length of radish roots. The oxides of the elements under study had an approximately equal negative effect on these indicators, while among the nanopowders the most toxic were the oxides of copper and zinc and the least was cobalt oxide. It was established that the nanopowders of  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{NiO}$ , and  $\text{ZnO}$  reduce the biological indices of ordinary chernozem to a greater extent than the 'conventional' forms of oxides. A stimulating effect of the studied substances on the biological properties of ordinary chernozem was not recorded. This indicates a high toxicity of the studied substances, which is also characteristic of nanoparticles of other elements.

**Conclusion.** Contamination by nanoparticles of oxides of cobalt, nickel, copper and zinc has a negative effect on the biological state of chernozem and is more pronounced than contamination by 'conventional' forms of these oxides.

## Key Words

Pollution, soil, nanopowders, biotesting, heavy metals.

**ВВЕДЕНИЕ**

Наночастицы используются в различных промышленных и бытовых целях, что непременно отражается на увеличении объема их производства, а, следовательно, приводит к все большему поступлению наночастиц в окружающую среду и возникновению риска потенциально неблагоприятных влияний в естественных системах. За последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в понимании источников, судьбы и эффектов наночастиц. Однако воздействию наночастиц на компоненты окружающей среды, в частности почву, уделено недостаточно внимания [1]. Поэтому необходима разработка экспериментальных методов оценки влияния наночастиц на почвенный микробиоценоз и биологическую активность почвы [2].

Цель настоящей работы состоит в оценке воздействия наночастиц оксидов кобальта, никеля, меди, цинка на биологическое состояние чернозема обыкновенного.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследование влияния наночастиц  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO на биологические свойства почвы проводили на черноземе обыкновенном, отобранном в Ботаническом саду Южного федерального университета (Россия, г. Ростов-на-Дону). Отбор почвы был произведен

из пахотного слоя (0-25 см). Для изучения биологических свойств проводили следующие анализы: определение ферментативной активности почвы (активности каталазы и дегидрогеназ), микробиологических показателей (общей численности бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter*) и фитотоксических показателей (всхожесть и длина корней редиса). Исследовали воздействие различных концентраций загрязняющих веществ в зависимости от содержания их в почве – 3, 10, 30 фонов. Использовали наночастицы  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO размером < 50 нм,  $\text{TiO}_2$  < 100 нм. Для оценки степени токсичности наночастиц  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO проводили сравнение с влиянием «обычных», ненаноформ оксидов этих элементов. Для того, чтобы установить общую закономерность влияния оксидов металлов и их нанопорошков на состояние чернозема в зависимости от параметров загрязнения по исследованным показателям, был рассчитан интегральный показатель биологического состояния (ИПБС).

**ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В результате исследования установлено, что наночастицы  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO во всех вариантах эксперимента вызывали ухудшение биологических свойств чернозема обыкновенного (табл. 1-3).

**Таблица 1.** Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного при загрязнении  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их наночастицами, % от контроля

**Table 1.** Change of enzymatic activity of ordinary chernozem through pollution of  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO and ZnO and their nanoparticles, % of control

Вещество Substance	Доза загрязняющего вещества / Dose of polluting substance				HCP <sub>0,05</sub>
	Контроль Control	100 мг/кг 100 mg/kg	1000 мг/кг 1000 mg/kg	10000 мг/кг 10000 mg/kg	
<b>Активность каталазы / Catalase activity</b>					
$\text{Co}_3\text{O}_4$	100	86	77	75	7
NiO	100	93	75	69	7
CuO	100	75	67	63	6
ZnO	100	75	65	60	6
$\text{Co}_3\text{O}_4$ нано / $\text{Co}_3\text{O}_4$ nano	100	96	73	70	7
NiO нано / NiO nano	100	91	63	59	6
CuO нано / CuO nano	100	72	62	56	6
ZnO нано / ZnO nano	100	75	69	62	6
<b>Активность дегидрогеназ / Dehydrogenase activity</b>					
$\text{Co}_3\text{O}_4$	100	77	58	65	6
NiO	100	88	77	65	7
CuO	100	78	62	44	5
ZnO	100	78	73	61	6
$\text{Co}_3\text{O}_4$ нано / $\text{Co}_3\text{O}_4$ nano	100	91	79	61	7
NiO нано / NiO nano	100	78	73	53	6
CuO нано / CuO nano	100	76	60	40	5
ZnO нано / ZnO nano	100	77	75	57	6

Исследование показало, что на активность каталазы и дегидрогеназ в черноземе обыкновенном наночастицы NiO, CuO и ZnO оказывают более сильное влияние, чем их обычные оксиды, а  $\text{Co}_3\text{O}_4$  и его наночастицы примерно в равной степени повлияли на данный показатель. Более сильное влияние наночастиц по сравнению с их обычными формами отмечается и другими исследователями [3]. Наиболее токсичным веществом по отношению к активности ферментов оказался нанопорошок оксида меди. По степени ингибирования активности

каталазы вещества образуют следующие ряды: оксиды –  $\text{ZnO} \geq \text{CuO} > \text{NiO} \geq \text{Co}_3\text{O}_4$ , нанопорошки оксидов –  $\text{CuO} > \text{ZnO} \geq \text{NiO} > \text{Co}_3\text{O}_4$ . Ранжирование веществ по степени ингибирования активности дегидрогеназ дало следующие ряды: оксиды –  $\text{CuO} > \text{Co}_3\text{O}_4 > \text{ZnO} > \text{NiO}$ , нанопорошки оксидов –  $\text{CuO} > \text{NiO} \geq \text{ZnO} > \text{Co}_3\text{O}_4$ .

При загрязнении чернозема обыкновенного  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их нанопорошками снижаются общая численность бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter* (табл. 2).

**Таблица 2.** Изменение микробиологических показателей чернозема обыкновенного при загрязнении  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их наночастицами, % от контроля

**Table 2.** Change of microbiological indicators of ordinary chernozem through pollution of  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO and ZnO and their nanoparticles, % of control

Вещество Substance	Доза загрязняющего вещества / Dose of polluting substance				HCP <sub>0,05</sub>
	Контроль Control	100 мг/кг 100 mg/kg	1000 мг/кг 1000 mg/kg	10000 мг/кг 10000 mg/kg	
<b>Общая численность бактерий / Total number of bacteria</b>					
$\text{Co}_3\text{O}_4$	100	59	51	30	9
NiO	100	73	49	38	10
CuO	100	89	70	51	13
ZnO	100	54	41	24	8
$\text{Co}_3\text{O}_4$ нано / $\text{Co}_3\text{O}_4$ nano	100	57	46	27	8
NiO нано / NiO nano	100	65	43	35	9
CuO нано / CuO nano	100	57	38	24	8
ZnO нано / ZnO nano	100	51	35	19	7
<b>Обилие бактерий рода <i>Azotobacter</i> / Abundance of bacteria of <i>Azotobacter</i> genus</b>					
$\text{Co}_3\text{O}_4$	100	100	90	75	16
NiO	100	95	85	75	16
CuO	100	95	85	75	16
ZnO	100	95	80	70	15
$\text{Co}_3\text{O}_4$ нано / $\text{Co}_3\text{O}_4$ nano	100	90	80	70	15
NiO нано / NiO nano	100	95	85	75	16
CuO нано / CuO nano	100	95	85	70	15
ZnO нано / ZnO nano	100	90	80	55	14

Наиболее сильное влияние на общую численность бактерий оказали наночастицы оксида меди и оксида цинка. По степени отрицательного влияния на общую численность бактерий вещества образуют следующие ряды: оксиды –  $\text{ZnO} > \text{Co}_3\text{O}_4 > \text{NiO} > \text{CuO}$ , нанопорошки оксидов –  $\text{ZnO} > \text{CuO} > \text{Co}_3\text{O}_4 > \text{NiO}$ .

Обилие бактерий рода *Azotobacter* в черноземе обыкновенном снизилось примерно в равной степени при загрязнении оксидами  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их нанопорошками. По степени негативного влияния на

обилие бактерий рода *Azotobacter* вещества образуют следующие ряды: оксиды –  $\text{ZnO} > \text{Co}_3\text{O}_4 = \text{NiO} = \text{CuO}$ , нанопорошки оксидов –  $\text{ZnO} > \text{CuO} = \text{Co}_3\text{O}_4 \geq \text{NiO}$ .

Снижение роста бактерий и общей биомассы под влиянием наночастиц установлено и в других исследованиях [4-6].

При загрязнении чернозема обыкновенного  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их нанопорошками отмечается снижение таких показателей как всхожесть и длина корней редиса сказалось загрязнение (табл. 3).

**Таблица 3.** Влияние загрязнения  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их наночастицами на фитотоксические показатели чернозема обыкновенного, % от контроля

**Table 3.** The impact of pollution of  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO and ZnO and their nanoparticles on phytotoxic indicators of ordinary chernozem, % of control

Вещество Substance	Доза загрязняющего вещества Dose of polluting substance				HCP <sub>0,05</sub>
	Контроль Control	100 мг/кг 100 mg/kg	1000 мг/кг 1000 mg/kg	10000 мг/кг 10000 mg/kg	
<b>Всхожесть редиса / Radish seed germination</b>					
$\text{Co}_3\text{O}_4$	100	88	80	65	14
NiO	100	95	83	53	14
CuO	100	95	80	73	15
ZnO	100	88	80	75	15
$\text{Co}_3\text{O}_4$ нано / $\text{Co}_3\text{O}_4$ nano	100	85	75	55	13
NiO нано / NiO nano	100	90	85	60	14
CuO нано / CuO nano	100	78	65	55	12
ZnO нано / ZnO nano	100	83	75	50	13
<b>Длина корней редиса / Length of radish root</b>					
$\text{Co}_3\text{O}_4$	100	79	62	48	12
NiO	100	73	60	37	11
CuO	100	81	69	31	11
ZnO	100	67	56	44	11
$\text{Co}_3\text{O}_4$ нано / $\text{Co}_3\text{O}_4$ nano	100	77	67	58	13

<b>NiO нано</b> / NiO nano	100	63	57	45	10
<b>CuO нано</b> / CuO nano	100	63	58	35	10
<b>ZnO нано</b> / ZnO nano	100	61	50	44	10

Установлено отрицательное влияние оксидов  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их нанопорошков на фитотоксические показатели почвы: снижаются всхожесть и длина корней редиса. Негативное влияние наночастиц на растения отмечалось ранее и другими исследователями [7-10]. Установлены следующие ряды токсичности по степени негативного влияния на показатель всхожести редиса: оксиды –  $\text{Co}_3\text{O}_4 = \text{NiO} > \text{ZnO} \geq \text{CuO}$ , нанопорошки оксидов –  $\text{CuO} > \text{ZnO} > \text{Co}_3\text{O}_4 > \text{NiO}$ . По степени негативного влияния на длину корней редиса вещества образуют следующую последовательность: оксиды –

$\text{ZnO} > \text{Co}_3\text{O}_4 > \text{NiO} > \text{CuO}$ , нанопорошки оксидов –  $\text{ZnO} = \text{NiO} > \text{CuO} \geq \text{Co}_3\text{O}_4$ .

Для того, чтобы установить общую закономерность влияния оксидов металлов и их нанопорошков на состояние чернозема в зависимости от параметров загрязнения был рассчитан интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) по показателям: общая численность бактерий, численность бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы, активность дегидрогеназ, всхожесть редиса, длина корней редиса (табл. 4).

**Таблица 4.** Изменение интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) чернозема обыкновенного при загрязнении  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO и ZnO и их наночастицами, % от контроля

**Table 4.** Change of the integrated indicator of biological state (IIBS) of the ordinary chernozem through pollution of  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , NiO, CuO and ZnO and their nanoparticles, % of control

Вещество Substance	Контроль Control	100 мг/кг 100 mg/kg	1000 мг/кг 1000 mg/kg	10000 мг/кг 10000 mg/kg	Среднее для 3-х доз Average for 3 doses
<b><math>\text{Co}_3\text{O}_4</math></b>	100	83	72	62	72
<b>NiO</b>	100	88	74	59	74
<b>CuO</b>	100	87	75	58	73
<b>ZnO</b>	100	79	69	59	69
<b><math>\text{Co}_3\text{O}_4</math> нано / <math>\text{Co}_3\text{O}_4</math> nano</b>	100	84	71	58	71
<b>NiO нано / NiO nano</b>	100	82	69	57	69
<b>CuO нано / CuO nano</b>	100	77	64	50	63
<b>ZnO нано / ZnO nano</b>	100	76	67	52	65

По результатам ИПБС наночастицы исследуемых веществ оказались более токсичны, чем их оксиды. В большинстве случаев, чем выше концентрация металла в почве, тем сильнее снижается ее биологическая активность. Аналогичная закономерность наблюдается и для наночастиц других веществ [3; 11; 12]. По степени влияния на снижение биологической активности чернозема обыкновенного вещества образуют следующие ряды: оксиды –  $\text{ZnO} \geq \text{Co}_3\text{O}_4 \geq \text{CuO} \geq \text{NiO}$ , нанопорошки оксидов –  $\text{CuO} \geq \text{ZnO} > \text{NiO} > \text{Co}_3\text{O}_4$ . Таким образом, оксиды исследуемых элементов примерно в равной степени снижали биологические показатели, а среди их нанопорошков наиболее токсичными оказались оксиды меди и цинка, наименее – оксид кобальта.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение чернозема обыкновенного  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , CuO, NiO, ZnO и их наночастицами приводит к ухудшению его биологических свойств: снижаются показатели общей численности бактерий, обилия бактерий рода *Azotobacter*, активности каталазы, активности дегидрогеназ, всхожести семян и длины корней редиса.

Оксиды исследуемых элементов оказали примерно равное негативное влияние на данные показатели, в то время как среди нанопорошков наиболее токсичными оказались оксиды меди и цинка, наименее – оксид кобальта.

Нанопорошки  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , CuO, NiO и ZnO снижают биологические показатели чернозема обыкновенного в большей степени, чем «обычные» формы оксидов.

Стимулирующего действия исследуемых веществ на биологические свойства чернозема обыкновенного зафиксировано не было. Это свидетельствует о высокой токсичности исследуемых веществ, что характерно и для наночастиц других элементов.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Южного федерального университета на 2020-2022 годы (№ FENW-2020-0028).

#### ACKNOWLEDGEMENT

The study was undertaken with state support of the leading scientific school of the Russian Federation (NSH-2511.2020.11) and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of state task of Southern Federal University for 2020-2022 (№ FENW-2020-0028).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., McKee M.S., Metreveli G., Schaumann G.E., Schulz R., Wagner S. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? // Environmental Sciences Europe. 2018. V. 30. N 6. DOI: 10.1186/s12302-018-0132-6
- Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. N 2. С. 190-198.

3. Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние загрязнения наночастицами оксидов никеля и железа на биологические свойства чернозема обыкновенного североприазовского // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. N 1. С. 71-75.
4. Скутарь А.И., Кофтина В.А. Влияние наночастиц железа на колониеобразующую способность *E. Coli*. // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2016. Т. 6. N 5. 512 с.
5. Simonin M., Richaume A. Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance, and diversity of soil microbial communities: a review // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. V. 22. P. 13710-13723. DOI: 10.1007/s11356-015-4171-x
6. Якушева Е.В., Сизова Е.А., Гавриш И.А., Лебедев С.В., Каюмов Ф.Г. Действие наночастиц  $Al_2O_3$  на почвенный микробиоценоз, состояние антиоксидантной системы и микрофлору кишечника красного калифорнийского червя (*Eisenia Foetida*) // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. N 1. С.191-199.
7. Терехова В.А., Гладкова М.М. Инженерные наноматериалы в почве: проблемы оценки их воздействия на живые организмы // *Почвоведение*. 2014. N 1. С. 82-90. DOI: 10.7868/S0032180X14010122
8. Ghosh M., Bhadra S., Adegoke A., Bandyopadhyay M., Mukherjee A. MWCNT uptake in *Allium cepa* root cells induces cytotoxic and genotoxic responses and results in DNA hyper-methylation // *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 2015. N 774. P. 49-58. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2015.03.004
9. Josko I., Oleszczuk P., Skwarek E. Toxicity of combined mixtures of nanoparticles to plants // *Hazardous Materials*. 2017. V. 331. P. 200-209. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.02.028
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. Тимошенко А.Н., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Изменение биологических показателей серопесков после загрязнения наночастицами Cu, Zn и Ni // *Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2019. N 2. С. 106-110. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-2-106-111
12. 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
2. Terekhova V.A. Soil bioassay: Problems and approaches. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*. 2011, no. 2, pp. 190-198. (In Russian)
3. Kolesnikov S.I., Timoshenko A.N., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Effects of Pollution by Nanoparticles of Nickel and Iron Oxides on Biological Properties of Ordinary Chernozem. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki [Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus Region. Natural Sciences]*. 2016, no. 1, pp. 71-75. (In Russian)
4. Skutar A.I., Koftina V.A. Influence of nanoparticles of iron on the colony forming ability of *E. Coli*. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsii [Bulletin of Medical Internet Conferences]*. 2016, vol. 6, no. 5, 512 p. (In Russian)
5. Simonin M., Richaume A. Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance, and diversity of soil microbial communities: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, vol. 22, pp. 13710-13723. DOI: 10.1007/s11356-015-4171-x
6. Yakusheva E.V., Sizova E.A., Gavrish I.A., Lebedev S.V., Kayumov F.G. The effect of  $A_2O_3$  nanoparticles on the soil microbiocenosis, the state of the antioxidant system and the intestinal microflora of the red Californian worm (*Eisenia foetida*). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2017, vol. 52, no. 1, pp. 191-199. (In Russian)
7. Terekhova V.A., Gladkova M.M. Engineered nanomaterials in soil: Problems in assessing their effect on living organisms. *Eurasian Soil Science*, 2014, no. 1, pp. 82-90. (In Russian) DOI: 10.7868/S0032180X14010122
8. Ghosh M., Bhadra S., Adegoke A., Bandyopadhyay M., Mukherjee A. MWCNT uptake in *Allium cepa* root cells induces cytotoxic and genotoxic responses and results in DNA hyper-methylation. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 2015, no. 774, pp. 49-58. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2015.03.004
9. Josko I., Oleszczuk P., Skwarek E. Toxicity of combined mixtures of nanoparticles to plants. *Hazardous Materials*, 2017, vol. 331, pp. 200-209. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.02.028
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. Tymoshenko A.N., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. The change in the biological indicators of gray sand after contamination with nanoparticles Cu, Zn and Ni. *Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus Region. Natural Sciences*, 2019, no. 2, pp. 106-110. (In Russian) DOI: 10.23683/0321-3005-2019-2-106-111
12. Kolesnikov S.I., Timoshenko A.N., Kazeev K.Sh., Akimenko Y.V., Myasnikova M.A. Ecotoxicity of Copper, Nickel, and Zinc Nanoparticles Assessment on the Basis of Biological Indicators of Chernozems. *Eurasian Soil Science*, 2019, no. 8, pp. 986-992. (In Russian) DOI: 10.1134/S0032180X19080094

## REFERENCES

1. Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., McKee M.S., Metreveli G., Schaumann G.E., Schulz R., Wagner S. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? *Environmental Sciences Europe*, 2018, vol. 30, no. 6. DOI: 10.1186/s12302-018-0132-6

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Сергей И. Колесников разработал концепцию и осуществлял общее руководство исследованием. Владимир М. Вардуни, Алена Н. Тимошенко, Юлия В. Акименко участвовали в планировании эксперимента, проводили лабораторное моделирование загрязнения почвы и лабораторно-аналитические исследования биологических показателей состояния почвы. Владимир М. Вардуни, Алена Н. Тимошенко, Татьяна В. Денисова, Камил Ш. Казеев и Юлия В. Акименко участвовали в планировании эксперимента, в анализе и интерпретации данных, в корректуре рукописи до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Sergey I. Kolesnikov developed the concept and oversaw the research. Vladimir M. Varduni, Alena N. Timoshenko, Yuliya V. Akimenko participated in the design of the experiment, conducted laboratory modeling of soil contamination and laboratory and analytical studies of biological indicators of soil conditions. Vladimir M. Varduni, Alena N. Timoshenko, Tatiana V. Denisova, Kamil Sh. Kazeev and Yuliya V. Akimenko participated in the design of the experiment, in the analysis and interpretation of the data and in the proofreading of the manuscript before being submitted to the Editor. All authors participated equally in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors state that there is no conflict of interest.

**ORCID**

Сергей И. Колесников / Sergey I. Kolesnikov <https://orcid.org/0000-0001-5860-8420>  
Владимир М. Вардуни / Vladimir M. Varduni <https://orcid.org/0000-0002-7822-5854>  
Алена Н. Тимошенко / Alena N. Timoshenko <https://orcid.org/0000-0001-5589-2171>  
Татьяна В. Денисова / Tatiana V. Denisova <http://orcid.org/0000-0002-9595-7205>  
Камил Ш. Казеев / Kamil Sh. Kazeev <https://orcid.org/0000-0002-0252-6212>  
Юлия В. Акименко / Yuliya V. Akimenko <https://orcid.org/0000-0002-5671-5270>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.48:504.53/54  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-137-144

## Концентрация подвижных форм тяжелых металлов и магнитные свойства почв г. Вольск Саратовской области

Длер С. Маджид, Михаил В. Решетников , Виталий Н. Ерёмин, Александр С. Шешнёв  
Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

### Контактное лицо

Михаил В. Решетников, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского; 410004 Россия, г. Саратов, ул. Астарханская, 83.  
Тел. +79271353953  
Email [rmv85@list.ru](mailto:rmv85@list.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

### Формат цитирования

Маджид Д.С., Решетников М.В., Ерёмин В.Н., Шешнёв А.С. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов и магнитные свойства почв г. Вольск Саратовской области // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 137-144. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-137-144

Получена 8 июля 2019 г.  
Прошла рецензирование 16 октября 2019 г.  
Принята 29 ноября 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Магнитная восприимчивость – это быстрый, недорогой и надежный метод оценки и мониторинга антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами. Однако важно определить факторы, влияющие на магнитную восприимчивость, прежде чем применять этот метод к экологическим исследованиям. Целью настоящего исследования явилось изучение влияния материнских пород и землепользования на магнитную восприимчивость и концентрации Ni, Pb, Cr, Cd, Cu и Zn, и применения магнитной восприимчивости как показателя антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв г. Вольска Саратовской области Российской Федерации.

**Материал и методы.** Было взято 50 поверхностных образцов почвы (0-10 см). 1М HNO<sub>3</sub> экстрагировали Ni, Pb, Cr, Cd, Cu и Zn определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. В почве определялась концентрация органического вещества. Измеряли магнитную восприимчивость на низких и высоких частотах (xlf и xhf) и рассчитывали частотно-зависимую восприимчивость (xfd).

**Результаты.** Магнитная восприимчивость варьирует от 1,34 до  $29.6 \times 10^{-7} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$ . Между Pb и xlf получена положительная сильная корреляция ( $P=0,01$ ,  $r=0,55$ ). Существуют значительные взаимосвязи между Pb и xlf, поэтому представляется, что на магнитную восприимчивость существенно повлияла антропогенная деятельность, которая увеличила концентрации Pb в городских почвах.

**Выводы.** В исследованных почвах магнитная восприимчивость может использоваться в качестве индикатора антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами.

### Ключевые слова

Магнитная восприимчивость, почва, тяжелые металлы, никель, свинец, хром, кадмий, медь, цинк, Вольск.

# Concentration of Mobile Forms of Heavy Metals and Magnetic Properties of Soils in the Town of Volsk, Saratov Region, Russia

Dler S. Majeed, Mikhail V. Reshetnikov , Vitaliy N. Eremin and Alexander S. Sheshnev

Saratov national research state University named after N. D. Chernyshevsky, Saratov, Russia

## Principal Contact

Mikhail V. Reshetnikov, Cand. Geogr. Sci., Senior Researcher, N. D. Chernyshevsky Saratov National Research State University; 83 Astarkhanskaya St, Saratov, 410004 Russia.  
Tel. +79271353953  
Email [rmv85@list.ru](mailto:rmv85@list.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

## How to cite this article

Majeed D.S., Reshetnikov M.V., Eremin V.N., Sheshnev A.S. Concentration of mobile forms of heavy metals and magnetic properties of soils in the town of Volsk, Saratov region, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 137-144. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-137-144

Received 8 July 2019

Revised 16 October 2019

Accepted 29 November 2019

## Abstract

**Aim.** Magnetic susceptibility is a fast, inexpensive and reliable technique for estimating and monitoring anthropogenic contamination of soil with heavy metals. However, certain factors affecting magnetic susceptibility need to be determined before applying this technique to environmental studies. The objectives of this study were to investigate: (1) the effect of parent materials and land use on magnetic susceptibility and concentrations of Ni, Pb, Cr, Cd, Cu and Zn; and (2) the possible use of magnetic susceptibility as an indicator of anthropogenic heavy metals contamination of soil in the city of Volsk, Saratov region, Russia.

**Material and Methods.** Fifty (50) composite surface soil samples (0–10 cm) were selected. 1M HNO<sub>3</sub> extractable concentrations of Ni, Pb, Cr, Cd, Cu and Zn were analyzed using atomic absorption spectroscopy. Concentrations of organic matter in the soil were determined. Magnetic susceptibility at low and high frequency ( $\chi_{lf}$  and  $\chi_{hf}$ ) were measured and frequency dependent susceptibility ( $\chi_{fd}$ ) was calculated.

**Results.** Magnetic susceptibility varied from 1.34 to  $29.6 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ . A positive strong correlation (P value = 0.01,  $r = 0.55$ ) was obtained between Pb and  $\chi_{lf}$ . Significant correlational relationships were observed between Pb with  $\chi_{lf}$ , most likely due to significant effects of anthropogenic activities on magnetic susceptibility, therefore enhancing Pb concentrations in urban soils.

**Conclusions.** In the soils studied, magnetic susceptibility could be employed as an indicator of anthropogenic contamination of soil with heavy metals.

## Key Words

Magnetic susceptibility, soil, heavy metals, nickel, lead, chromium, cadmium, copper, zinc, Volsk.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование магнитных параметров при идентификации источников загрязнения стало широко распространенной практикой в качестве надежного, эффективного и чувствительного метода оценки загрязненных почв [1-4]. В частности, нередко наблюдается устойчивая корреляция между величинами магнитной восприимчивости и концентрациями тяжелых металлов в верхних слоях почв [5; 6]. Хотя определение общих концентраций металлов является обычным анализом, магнитные измерения почв могут предоставить ценную справочную информацию в исследованиях особенностей их загрязнения [7-9].

Многие исследования подтвердили корреляцию между магнитными свойствами и концентрацией металлов в городских почвах [10-12], донных отложениях [13-15], пыли [16-18] и в результатах палеоклиматологических исследований [19-23]. В результате было обосновано использование магнитных параметров в качестве диагностического метода при обнаружении и картировании загрязненных тяжелыми металлами почвенного покрова.

Картирование почв на основе петромагнитных данных стало одним из наиболее важных инструментов для оценки антропогенного загрязнения [24] и широко используется при картировании загрязнения тяжелыми металлами [25; 26].

Петромагнитный метод исследования почв может использоваться в качестве базового мониторингового способа для дальнейших исследований на региональном, национальном и международном уровнях. В результате его комплексирования с обычным химическим анализом его можно считать простым, быстрым, информативным методом для картирования загрязнения тяжелыми металлами почв городских территорий [27].

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Область исследований.* В качестве области исследования была выбрана территория города Вольска (52 03'00" с.ш. 47 23'00" в.д.). Город расположен на правом берегу реки Волги в 147 км выше города Саратова. Климат умеренно-континентальный, среднее годовое количество осадков 450-500 мм, средняя температура января -13°C, июля +21°C.

В ландшафтном отношении территория города принадлежит к Приволжскому останцовому ландшафтному району лесостепной ландшафтной зоны. Осадочные горные породы (мел, известняк и глины) являются основными геологическими и почвообразующими составляющими территории города Вольска. В почвенном покрове района доминируют выщелоченные и обыкновенные черноземы. Значительные площади занимают черноземы на коренных породах (преимущественно на карбонатах). Глубоко пересеченный рельеф местности обуславливает высокую интенсивность водно-эрозионных процессов

Население города в 2018 году составляет 63212 человек. На территории города существует ряд промышленных предприятий, среди которых основной вклад в загрязнение атмосферы и почв города вносят цементные заводы ООО «Холсим (РУС)» и АО «ХайдельбергЦемент Волга». В качестве еще одного источника загрязнения окружающей среды, важно отметить автомобильный транспорт, по официальным данным в

городе зарегистрировано 33026 (01.01.2018 г.) единиц автомобильного транспорта.

*Отбор почвенных образцов.* В общей сложности было отобрано 50 образцов с глубины 0-10 см. Так как на всей исследуемой территории геологические условия практически однородны, все пробы анализировались единым массивом. Фоновые пробы отобраны в одинаковых природных условиях в 5 км от территории города.

*Лабораторные исследования.* Все отобранные пробы просеивались через сито диаметром 2 мм и использовались в лабораторных анализах, рН почв определялся в водной вытяжке в соотношении воды к почвенной суспензии 2:1. Органическое вещество определялось по методу Тюрина. Концентрация подвижных форм Cu, Cd, Cr, Ni, Pb и Zn определялась в экстракте 1М HNO<sub>3</sub> методом атомной абсорбционной спектроскопии.

Для измерения магнитной восприимчивости 20 г каждого просеянного образца помещали в пластиковый контейнер, а измерения низкочастотной (0,47 кГц) ( $\chi_{lf}$ ) и высокочастотной (4,7 кГц) ( $\chi_{hf}$ ) производных выполнялись на мультиспектральном датчике MFK1-FB.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Почвенные характеристики и тяжелые металлы.* Полученные фактические данные исследований по концентрациям тяжелых металлов, величинам магнитной восприимчивости и некоторых других характеристик почв представлены в таблице 1.

*Тяжелые металлы.* Концентрация подвижных форм никеля обнаружена во всех анализируемых пробах и изменяется в интервале от 0,98 до 16,8 мг/кг при среднем значении 6,8 мг/кг. Концентрация подвижных форм меди обнаружена во всех анализируемых пробах и изменяется в интервале от 1,21 до 133,2 мг/кг при среднем значении 12,58 мг/кг. Концентрация подвижных форм кадмия обнаружена во всех анализируемых пробах и изменяется в интервале от 0,02 до 0,38 мг/кг при среднем значении 0,19 мг/кг. Концентрация подвижных форм хрома обнаружена во всех анализируемых пробах и изменяется в интервале от 0,05 до 0,59 мг/кг при среднем значении 0,17 мг/кг. Концентрация подвижных форм свинца обнаружена во всех анализируемых пробах и изменяется в интервале от 2,9 до 182,8 мг/кг при среднем значении 27,8 мг/кг. Концентрация подвижных форм цинка обнаружена во всех анализируемых пробах и изменяется в интервале от 10,4 до 160,6 мг/кг при среднем значении 52,0 мг/кг.

Геохимический ряд для подвижных форм тяжелых металлов на территории города Вольска выглядит следующим образом: Zn>Pb>Cu>Ni>Cd>Cr (по средней концентрации).

*Органическое вещество.* Концентрация органического вещества в почвенном покрове города Вольска изменяется в пределах от 0,57 до 2,34% при среднем значении 1,88%. В одной пробе (2% от общего числа проб) значение органического вещества было менее 1%, в 24 пробах (48%) значение изменялось от 1 до 2% и в 25 пробах (50%) органическое вещество составляет 2 до 3%.

Распределение органического вещества на фоновой территории изменялось от 2,03 до 2,33% со средним значением 2,25%. Таким образом, можно отметить, что на территории города Вольска отмечается уменьшение

содержания органического вещества в почвах по сравнению с фоновыми значениями.

*Магнитная восприимчивость почв.* Величины магнитной восприимчивости почв представлены в таблице 1. Удельная магнитная восприимчивость на низкой частоте 976 Гц ( $\chi_{lf}$ ) в почвах на территории города Вольска изменяется в пределах от  $1,34 \times 10^{-7}$  до  $29,5 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг, при среднем значении  $6,16 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг. Удельная магнитная восприимчивость на высокой частоте 3904 Гц ( $\chi_{hf}$ ) в почвах на территории города Вольска изменяется в пределах от  $1,25 \times 10^{-7}$  до  $29,0 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг, при среднем значении  $5,99 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг. Значения частотной зависимости магнитной восприимчивости ( $\chi_{fd}$ ) изменяется в широком диапазоне от 0,03 до 9,85% при среднем значении 3,28%.

На фоновом участке распределение магнитной восприимчивости ведет себя несколько иначе. Удельная магнитная восприимчивость на низкой частоте 976 Гц ( $\chi_{lf}$ ) в почвах за пределами города Вольска изменяется в узком диапазоне от  $4,54 \times 10^{-7}$  до  $5,00 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг, при среднем значении  $4,79 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг. Удельная магнитная восприимчивость на высокой частоте 3904 Гц ( $\chi_{hf}$ ) в почвах за пределами города Вольска аналогично изменяется в узком диапазоне от  $4,21 \times 10^{-7}$  до  $4,65 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг, при среднем значении  $4,46 \times 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг. Значения частотной зависимости магнитной восприимчивости ( $\chi_{fd}$ ) изменяется от 6,90 до 7,08% при среднем значении 6,99%.

**Таблица 1.** Результаты измерения магнитных свойств почв г. Вольска и фонового участка

**Table 1.** Results of measuring the magnetic properties of soils in Volsk and the background area

Магнитные свойства Magnetic property	Минимальное Minimum	Максимальное Maximum	Среднее арифметическое Average	Стандартное отклонение Standard deviation	Коэффициент вариации Coefficient of variation	Экцесс Kurtosis	Асимметрия Asymmetry
<b>Почвы города Вольска / Soils of city of Volsk</b>							
$\chi_{lf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /кг) / $\chi_{lf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /kg)	1,3	29,6	6,16	5,0	0,81	16,04	3,83
$\chi_{hf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /кг) / $\chi_{hf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /kg)	1,25	29,0	5,99	4,97	0,83	16,17	3,86
$\chi_{fd}$ (%) / $\chi_{fd}$ (%)	0,03	9,85	3,28	2,09	0,63	1,39	1,03
<b>Почвы фонового участка / Soil of background area</b>							
$\chi_{lf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /кг) / $\chi_{lf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /kg)	4,53	5,0	4,79	0,15	0,03	-0,46	-0,61
$\chi_{hf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /кг) / $\chi_{hf}$ ( $10^{-7}$ м <sup>3</sup> /kg)	4,22	4,65	4,46	0,14	0,03	-0,45	-0,63
$\chi_{fd}$ (%) / $\chi_{fd}$ (%)	6,9	7,08	6,99	0,07	0,93	-1,70	-0,10

Таким образом, в почвах на территории города Вольска по сравнению с фоновым участком наблюдается повышение средних значений  $\chi_{lf}$  и  $\chi_{hf}$  и их значительные вариации, а значения  $\chi_{fd}$  резко, более чем в два раза, снижаются. Возрастание  $\chi_{lf}$  и  $\chi_{hf}$ , скорее всего, связано с попаданием в городские почвы частиц сильномагнитных минералов железа техногенного происхождения. Понижение значений  $\chi_{fd}$  на городской территории может быть связано с доминированием в городских почвах крупных многодоменных частиц.

Существенная разница в распределении стандартного отклонения, коэффициента вариации, эксцесса и асимметрии в почвах города Вольска и почв фонового участка, на наш взгляд, может являться диагностическим признаком техногенной трансформации почв урбанизированных территории. К такому резкому изменению статистических параметров приводит активное поступление в городские почвы высокомагнитных техногенных и относительно крупных железистых частиц.

Взаимоотношения между магнитной восприимчивостью, подвижными формами тяжелых металлов и органическим веществом.

Результаты определения концентраций подвижных форм тяжелых металлов, органического вещества и магнитных параметров были сопоставлены между собой для нахождения корреляционных взаимосвязей (табл. 2).

Установлены единичные значимые корреляционные взаимосвязи между тяжелыми металлами и величинами магнитной восприимчивости, а также частые значимые корреляционные взаимосвязи между концентрациями органического вещества и подвижных форм тяжелых металлов. Корреляционные коэффициенты Пирсона (значимые при  $p < 0.01$ ) установлены в системах  $\chi_{lf}$ -Pb (0,55),  $\chi_{hf}$ -Ni (0,40),  $\chi_{hf}$ -Cd (0,58) и  $\chi_{hf}$ -Zn (0,39).

Высокие значения коэффициента корреляции в системе  $\chi_{lf}$ -Pb могут быть обусловлены тем, что высокомагнитные техногенные соединения железа и подвижные формы свинца поступают в почвы города Вольска из одних источников или имеют общие пути миграции. Известны сведения, что в пыли цементных заводов наблюдаются высокое содержание в них свинца – 1800 мг/кг, цинка – 410 мг/кг, кадмия – 93 мг/кг и меди – 62 мг/кг [1; 7; 19]. Они сохраняются долгое время даже после завершения работы предприятий, являющихся источником загрязнения. Результаты исследования дисперсного состава пыли, образующейся при производстве портландцементного клинкера, говорят о том, что выделяемые из источников загрязнения пыли – полидисперсные. Пыль, выбрасываемая в атмосферу после очистки, содержит более высокие концентрации Cd, Pb и Zn по сравнению с пылью в газовом потоке до очистки.

**Таблица 2.** Корреляционные взаимосвязи между магнитными свойствами почв и концентрацией тяжелых металлов  
**Table 2.** Correlations between soil magnetic properties and heavy metal concentrations

	$\chi_{lf}$	$\chi_{fd}$	Орг. вещ-во Organic matter	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
$\chi_{lf}$	1,00	-0,24	0,19	-0,14	0,04	-0,06	0,18	<b>0,55</b>	0,16
$\chi_{fd}$		1,00	0,14	<b>0,31</b>	-0,21	0,02	-0,12	<b>-0,30</b>	-0,04
Орг. вещество Organic matter			1,00	<b>0,40</b>	0,16	<b>0,58</b>	0,33	0,21	<b>0,39</b>

Примечание:  $n=50$ ;  $p=0,01$ ;  $r=0,28$

Note:  $n=50$ ;  $p=0,01$ ;  $r=0,28$

Отсутствие высоких корреляционных взаимосвязей между магнитной восприимчивостью и другими тяжелыми металлами, возможно, связано с незначительными выбросами исследуемых металлов на территории города Вольска и, как следствие, низкой степенью их накопления в почвах.

Высокие значения коэффициента корреляции между концентрациями органического вещества и подвижных форм тяжелых металлов обнаружены в системах органическое вещество-Ni (0,40), органическое вещество-Cd (0,58) и органическое вещество-Zn (0,39). Значимые коэффициенты корреляции в выявленных ассоциациях, скорее всего, обусловлены сорбцией катионов никеля, кадмия и цинка органическим веществом почвы. Схожие тенденции были выявлены в работах ряда специалистов.

## ВЫВОДЫ

1. Почвы города Вольска резко отличаются по петромагнитным свойствам от почв фонового участка об этом свидетельствует рост значений магнитной восприимчивости ( $\chi_{lf}$  и  $\chi_{hf}$ ), понижение значений ( $\chi_{fd}$ ) и существенная разница в распределении стандартного отклонения, коэффициента вариации, эксцесса и асимметрии в почвах города Вольска и почв фонового участка. Подобные изменения в распределении петромагнитных характеристик почв, на взгляд авторов, являются диагностическими показателями техногенной трансформации последних в пределах урбанизированных территории.

2. Значимые корреляционные взаимосвязи между магнитной восприимчивостью и тяжелыми металлами установлены только для ассоциации  $\chi_{lf}$ -Pb, что может быть обусловлено возможно единичными источниками наличия магнитных частиц и соединений свинца в составе газопылевых выбросов от производства цемента и их многолетним депонированием в почвах города Вольска. Таким образом, в почвах города Вольска концентрации соединений свинца пропорционально связаны с величинами удельной магнитной восприимчивости, которые определяются присутствием крупных техногенных железистых частиц и обратно пропорционально – с количеством тонкодисперсных суперпарамагнитных соединений железа.

3. Значимых корреляционных взаимосвязей между петромагнитными свойствами и органическим веществом в почвах города Вольск установлено не было, что, на наш взгляд, может также считаться, как

диагностический показатель техногенно-измененных почв на урбанизированных территориях.

4. Сорбционная способность органического вещества по отношению к катионам тяжелых металлов в почвах города Вольска остается на высоком уровне, что подтверждается значимыми коэффициентами корреляции в ассоциациях органическое вещество-Ni (0,40), органическое вещество-Cd (0,58) и органическое вещество-Zn (0,39).

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых (проект МК-3355.2019.5).

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was carried out with funding from a grant by the President of the Russian Federation for the support of young Russian scientists (project MK-3355.2019.5).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Blaha U., Appel E., Stanjek H. Determination of anthropogenic boundary depth in industrially polluted soil and semi-quantification of heavy metal loads using magnetic susceptibility // Environmental Pollution. 2008. V. 156. Iss. 2. P. 278-289. DOI: 10.1016/j.envpol.2008.02.013
2. Magiera T., Strzyszcz Z., Kapicka A., Petrovsky E. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe // Geoderma. 2006. V. 130. Iss. 3-4. P. 299-311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.02.002
3. Wang B., Xia D., Yu Y., Jia J., Xu S. Detection and differentiation of pollution in urban surface soils using magnetic properties in arid and semi-arid regions of northwestern China // Environ. Pollut. 2014. V. 184. P. 335-346. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.08.024
4. Jordanova N.V., Jordanova D.V., Veneva L., Yorova K., Petrovsky E. Magnetic response of soils and heavy metal pollution – a case study // Environ. Sci. Technol. 2003. V. 37. Iss. 19. P. 4417-4424. DOI: 10.1021/es0200645
5. El Baghdadi M., Barakat A., Sajieddine M., Nadem S. Heavy metal pollution and soil magnetic susceptibility in urban soil of Beni Mellal City (Morocco) // Environ. Earth Sci. 2012. V. 66. Iss. 1. P. 141-155. DOI: 10.1007/s12665-011-1215-5
6. Chan L.S., Ng S.L., Davis A.M., Yim W.W.S., Yeung C.H. Magnetic properties and heavy-metal contents of contaminated seabed sediments of Penny's Bay, Hong Kong // Mar. Pollut. Bull. 2001. V. 42. Iss. 7. P. 569-583. DOI: 10.1016/S0025-326X(00)00203-4

7. Morton-Bermea O., Hernandez E., Martinez-Pichardo E., Soler-Arechalde A.M., Lozano Santa-Cruz R., Gonzalez-Hernandez G., Beramendi-Orosco L., Urrutia-Fucugauchi J. Mexico City topsoils: heavy metals vs. magnetic susceptibility // *Geoderma*. 2009. V. 151. Iss. 3-4. P. 121-125. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.03.019
8. Lu S.G., Chen D.J., Wang S.Y., Liu Y.D. Rock magnetism investigation of highly magnetic soil developed on calcareous rock in Yun-Gui Plateau, China: evidence for pedogenic magnetic minerals // *J. Appl. Geophys.* 2012. V. 77. P. 39-50. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2011.11.008
9. Strzyszc Z., Magiera T. Magnetic susceptibility and heavy metals contamination in soils of Southern Poland // *Phys. Chem. Earth*. 1998. V. 23. Iss. 9-10. P. 1127-1131. DOI: 10.1016/S0079-1946(98)00140-2
10. Lu S.G., Bai S.Q., Fu L.X. Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils // *Pedosphere*. 2008. V. 18. Iss. 4. P. 479-485. DOI: 10.1016/S1002-0160(08)60038-7
11. Gudadhe S.S., Sangode S.J., Patil S.K., Chate D.M., Meshram D.C., Badekar A.G. Pre- and post-monsoon variations in the magnetic susceptibilities of soils of Mumbai metropolitan region: implications to surface redistribution of urban soils loaded with anthropogenic particulates // *Environ. Earth Sci.* 2012. V. 67. P. 813-831. DOI: 10.1007/s12665-012-1528-z
12. Lu S.G., Bai S.Q. Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China // *J. Appl. Geophys.* 2006. V. 60. Iss. 1. P. 1-12. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2005.11.002
13. Botsou F., Karageorgis A.P., Dassenakis E., Scoullou M. Assessment of heavy metal contamination and mineral magnetic characterization of the Asopos River sediments (Central Greece) // *Mar. Pollut. Bull.* 2011. V. 62. Iss. 3. P. 547-563. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.11.029
14. Franciškovic-Bilinski S., Bilinski H., Scholger R., Tomašić N., Maldini K. Magnetic spherules in sediments of the karstic Dobra River (Croatia) // *J. Soils Sediments*. 2014. V. 14. P. 600-614. DOI: 10.1007/s11368-013-0808-x
15. Canbay M., Aydin A., Kurtulus C. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey) // *J. Appl. Geophys.* 2010. V. 70. Iss. 1. P. 46-57. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2009.11.002
16. Zhang C., Qiao Q., Appel E., Huang B. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods // *J. Geochem. Explor.* 2012. V. 119-120. P. 60-75. DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.06.014
17. Zhu Z., Han Z., Bi X., Yang W. The relationship between magnetic parameters and heavy metal contents of indoor dust in e-waste recycling impacted area, Southeast China // *Sci. Total Environ.* 2012. V. 433. P. 302-308. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.067
18. Zhu Z., Sun G., Bi X., Li Z., Yu G. Identification of trace metal pollution in urban dust from kindergartens using magnetic, geochemical and lead isotopic analyses // *Atmos. Environ.* 2013. V. 77. P. 9-15. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.04.053
19. Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried paleosols // *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.* 2007. V. 249. Iss. 1. P. 103-127. DOI: 10.1016/j.palaeo.2007.01.006
20. Blundell A., Dearing J.A., Boyle J.F., Hannam J.A. Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales // *Earth Sci. Rev.* 2009. V. 95. Iss. 3-4. P. 158-188. DOI: 10.1016/j.earscirev.2009.05.001
21. Maher B.A., Alekseev A., Alekseeva T. Variation of soil magnetism across the Russian steppe: its significance for use of soil magnetism as a paleorainfall proxy // *Quatern. Sci. Rev.* 2002. V. 21. Iss. 14. P. 1571-1576. DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00022-7
22. Maher B.A., Alekseev A., Alekseeva T. Magnetic mineralogy of soils across the Russian Steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation // *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.* 2003. V. 201. Iss. 3-4. P. 321-341. DOI: 10.1016/S0031-0182(03)00618-7
23. Maher B.A., Hallam D.F. Paleomagnetic correlation and dating of Pilo/Pleistocene sediments at the southern margins of the North Sea Basin // *J. Quat. Sci.* 2005. V. 20. Iss. 1. P. 67-77. DOI: 10.1002/jqs.890
24. Yang T., Liu Q., Zeng Q., Chan L. Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping // *Environ. Earth Sci.* 2012. V. 66. P. 409-420. DOI: 10.1007/s12665-011-1248-9
25. Hanesch M., Scholger R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements // *Environ. Geol.* 2002. V. 42. P. 857-870. DOI: 10.1007/s00254-002-0604-1
26. Zawadzki J., Fabijańczyk P. Reduction of soil contamination uncertainty assessment using magnetic susceptibility measurements and co-est method // *Proc. ECOpole*. 2008. V. 2. Iss. 1. P. 171-174.
27. D'Emilio M., Macchiato M., Ragosta M., Simoniello T. A method for the integration of satellite vegetation activities observations and magnetic susceptibility measurements for monitoring heavy metals in soil // *J. Hazard. Mater.* 2012. V. 241-242. P. 118-126. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.09.021

## REFERENCES

1. Blaha U., Appel E., Stanjek H. Determination of anthropogenic boundary depth in industrially polluted soil and semi-quantification of heavy metal loads using magnetic susceptibility. *Environmental Pollution*, 2008, vol. 156, iss. 2, pp. 278-289. DOI: 10.1016/j.envpol.2008.02.013
2. Magiera T., Strzyszc Z., Kapicka A., Petrovsky E. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe. *Geoderma*, 2006, vol. 130, iss. 3-4, pp. 299-311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.02.002
3. Wang B., Xia D., Yu Y., Jia J., Xu S. Detection and differentiation of pollution in urban surface soils using magnetic properties in arid and semi-arid regions of northwestern China. *Environ. Pollut.*, 2014, vol. 184, pp. 335-346. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.08.024
4. Jordanova N.V., Jordanova D.V., Veneva L., Yorova K., Petrovsky E. Magnetic response of soils and heavy metal pollution – a case study. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, vol. 37, iss. 19, pp. 4417-4424. DOI: 10.1021/es0200645
5. El Baghdadi M., Barakat A., Sajieddine M., Nadem S. Heavy metal pollution and soil magnetic susceptibility in

- urban soil of Beni Mellal City (Morocco). *Environ. Earth Sci.*, 2012, vol. 66, iss. 1, pp. 141-155. DOI: 10.1007/s12665-011-1215-5
6. Chan L.S., Ng S.L., Davis A.M., Yim W.W.S., Yeung C.H. Magnetic properties and heavy-metal contents of contaminated seabed sediments of Penny's Bay, Hong Kong. *Mar. Pollut. Bull.*, 2001, vol. 42, iss. 7, pp. 569-583. DOI: 10.1016/S0025-326X(00)00203-4
7. Morton-Bermea O., Hernandez E., Martinez-Pichardo E., Soler-Arechalde A.M., Lozano Santa-Cruz R., Gonzalez-Hernandez G., Beramendi-Orosco L., Urrutia-Fucugauchi J. Mexico City topsoils: heavy metals vs. magnetic susceptibility. *Geoderma*, 2009, vol. 151, iss. 3-4, pp. 121-125. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.03.019
8. Lu S.G., Chen D.J., Wang S.Y., Liu Y.D. Rock magnetism investigation of highly magnetic soil developed on calcareous rock in Yun-Gui Plateau, China: evidence for pedogenic magnetic minerals. *J. Appl. Geophys.*, 2012, vol. 77, pp. 39-50. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2011.11.008
9. Strzyszczyk Z., Magiera T. Magnetic susceptibility and heavy metals contamination in soils of Southern Poland. *Phys. Chem. Earth.*, 1998, vol. 23, iss. 9-10, pp. 1127-1131. DOI: 10.1016/S0079-1946(98)00140-2
10. Lu S.G., Bai S.Q., Fu L.X. Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*, 2008, vol. 18, iss. 4, pp. 479-485. DOI: 10.1016/S1002-0160(08)60038-7
11. Gudadhe S.S., Sangode S.J., Patil S.K., Chate D.M., Meshram D.C., Badekar A.G. Pre- and post-monsoon variations in the magnetic susceptibilities of soils of Mumbai metropolitan region: implications to surface redistribution of urban soils loaded with anthropogenic particulates. *Environ. Earth Sci.*, 2012, vol. 67, pp. 813-831. DOI: 10.1007/s12665-012-1528-z
12. Lu S.G., Bai S.Q. Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China. *J. Appl. Geophys.*, 2006, vol. 60, iss. 1, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2005.11.002
13. Botsou F., Karageorgis A.P., Dassenakis E., Scoullou M. Assessment of heavy metal contamination and mineral magnetic characterization of the Asopos River sediments (Central Greece). *Mar. Pollut. Bull.*, 2011, vol. 62, iss. 3, pp. 547-563. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.11.029
14. Francišković-Bilinski S., Bilinski H., Scholger R., Tomašić N., Maldini K. Magnetic spherules in sediments of the karstic Dobra River (Croatia). *J. Soils Sediments.*, 2014, vol. 14, pp. 600-614. DOI: 10.1007/s11368-013-0808-x
15. Canbay M., Aydin A., Kurtulus C. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). *J. Appl. Geophys.*, 2010, vol. 70, iss. 1, pp. 46-57. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2009.11.002
16. Zhang C., Qiao Q., Appel E., Huang B. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods. *J. Geochem. Explor.*, 2012, vol. 119-120, pp. 60-75. DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.06.014
17. Zhu Z., Han Z., Bi X., Yang W. The relationship between magnetic parameters and heavy metal contents of indoor dust in e-waste recycling impacted area, Southeast China. *Sci. Total Environ.*, 2012, vol. 433, pp. 302-308. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.067
18. Zhu Z., Sun G., Bi X., Li Z., Yu G. Identification of trace metal pollution in urban dust from kindergartens using magnetic, geochemical and lead isotopic analyses. *Atmos. Environ.*, 2013, vol. 77, pp. 9-15. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.04.053
19. Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried paleosols. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, 2007, vol. 249, iss. 1, pp. 103-127. DOI: 10.1016/j.palaeo.2007.01.006
20. Blundell A., Dearing J.A., Boyle J.F., Hannam J.A. Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales. *Earth Sci. Rev.*, 2009, vol. 95, iss. 3-4, pp. 158-188. DOI: 10.1016/j.earscirev.2009.05.001
21. Maher B.A., Alekseev A., Alekseeva T. Variation of soil magnetism across the Russian steppe: its significance for use of soil magnetism as a paleorainfall proxy. *Quatern. Sci. Rev.*, 2002, vol. 21, iss. 14, pp. 1571-1576. DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00022-7
22. Maher B.A., Alekseev A., Alekseeva T. Magnetic mineralogy of soils across the Russian Steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, 2003, vol. 201, iss. 3-4, pp. 321-341. DOI: 10.1016/S0031-0182(03)00618-7
23. Maher B.A., Hallam D.F. Paleomagnetic correlation and dating of Pilo/Pleistocene sediments at the southern margins of the North Sea Basin. *J. Quat. Sci.*, 2005, vol. 20, iss. 1, pp. 67-77. DOI: 10.1002/jqs.890
24. Yang T., Liu Q., Zeng Q., Chan L. Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping. *Environ. Earth Sci.*, 2012, vol. 66, pp. 409-420. DOI: 10.1007/s12665-011-1248-9
25. Hanesch M., Scholger R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. *Environ. Geol.*, 2002, vol. 42, pp. 857-870. DOI: 10.1007/s00254-002-0604-1
26. Zawadzki J., Fabijańczyk P. Reduction of soil contamination uncertainty assessment using magnetic susceptibility measurements and co-est method. *Proc. ECOpole*, 2008, vol. 2, iss. 1, pp. 171-174.
27. D'Emilio M., Macchiato M., Ragosta M., Simoniello T. A method for the integration of satellite vegetation activities observations and magnetic susceptibility measurements for monitoring heavy metals in soil. *J. Hazard. Mater.*, 2012, vol. 241-242, pp. 118-126. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.09.021

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Длер С. Маджид проводил отбор проб почв, определял концентрации тяжелых металлов. Михаил В. Решетников написал рукопись. Виталий Н. Ерёмин проводил

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Deler S. Majeed undertook soil sampling and the determination of the concentration of heavy metals. Mikhail V. Reshetnikov wrote the manuscript. Vitaliy N. Eremin undertook

петромагнитные измерения и их анализ. Александр С. Шешнёв готовил литературный обзор, составлял графические приложения. Все авторы в равной степени несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

petromagnetic measurements and their analysis. Alexander S. Sheshnev conducted a literature review and drew the graphic applications. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors state that there is no conflict of interest.

**ORCID**

Длер С. Маджид / Dler S. Majeed <https://orcid.org/0000-0001-5323-1222>

Михаил В. Решетников / Mikhail V. Reshetnikov <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

Виталий Н. Ерёмин / Vitaliy N. Eremin <https://orcid.org/0000-0001-5784-6777>

Александр С. Шешнёв / Alexander S. Sheshnev <https://orcid.org/0000-0003-3566-8652>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 598.25 (591.545)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-145-150

## Фенология гнездования гусеобразных в Байкальской Сибири

Евгения Н. Бадмаева<sup>1</sup>, Илья Ю. Деулин<sup>2,3</sup> , Марина А. Гуляева<sup>3,4</sup>, Лопсон Д. Базаров<sup>1</sup>, Цыдыпжап З. Доржиев<sup>1,5</sup>, Джамалутдин М. Джамалутдинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, Россия

<sup>2</sup>Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр Фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>5</sup>Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия

### Контактное лицо

Илья Ю. Деулин, магистрант Института экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21; лаборант-исследователь лаборатории моделирования и мониторинга инфекционных процессов Федерального исследовательского центра Фундаментальной и трансляционной медицины, 630117 Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2.  
Тел. +79137032888  
Email [diu1000@mail.ru](mailto:diu1000@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9470-4153>

### Формат цитирования

Бадмаева Е.Н., Деулин И.Ю., Гуляева М.А., Базаров Л.Д., Доржиев Ц.З., Джамалутдинов Д.М. Фенология гнездования гусеобразных в Байкальской Сибири // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 145-150. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-145-150

Получена 30 сентября 2019 г.  
Прошла рецензирование 2 декабря 2019 г.  
Принята 20 декабря 2019 г.

### Резюме

**Цель.** Обобщение данных по фенологии гнездования гусеобразных птиц на территории Байкальской Сибири – на примере собственно озера Байкал.

**Материал и методы.** При подготовке материалов использовались данные собственных наблюдений по результатам маршрутных пеших и автомобильных учетов и других авторов за весь известный период исследований птиц на Байкале, в т. ч. и по литературным данным. В работе использованы стандартные орнитологические визуальные методы учетов, регистраций и описаний.

**Результаты.** Экология гнездования гусеобразных достаточно изучена, но сведения по фенологии яйцекладки не обобщены. Сроки гнездования гусеобразных на Байкале, в частности, откладка яиц растянута во времени. Такая растянутость сроков откладки яиц – явление нормальное и вызвано гибелью кладок от подтопления и повторным гнездованием части уток, что приводит впоследствии, к более позднему подъему на крыло молодых птиц.

**Заключение.** Самые ранние кладки встречаются у кряквы и огаря с конца апреля, когда водоемы еще скованы льдом. Самые поздние – у свиязи, горбоносого турпана, длинноносого крохалея. Массовая яйцекладка всех видов идет в период с середины мая и до середины июня. В целом, период откладки яиц у гусеобразных Байкала занимает от 20 дней и до 3,1 месяца. Сроки и период откладки яиц зависит от региональных экологических условий, специфики экологии и биологии видов. Если яиц гусеобразных растянут, то период массовой откладки яиц достаточно компактен и укладывается в период 20-30 дней.

### Ключевые слова

Птицы Байкала, гусеобразные, фенология, сроки гнездования, сроки откладки яиц.

# Nestling Phenology of *Anseriformes* in the Baikal Siberia Region, Russia

Evgeniya N. Badmaeva<sup>1</sup>, Ilya Yu. Deulin<sup>2,3</sup> , Marina A. Gulyaeva<sup>3,4</sup>, Lopson D. Bazarov<sup>1</sup>, Tsydypzhap Z. Dorzhiev<sup>1,5</sup> and Jalalutdin M. Jamalutdinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup>Dagestan State University, Makhachkala, Russia

<sup>3</sup>Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>5</sup>Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia

## Principal Contact

Ilya Yu. Deulin, Master's degree student, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Dagestan, 367001 Russia; Laboratory Assistant, Laboratory for Modeling and Monitoring of Infectious Processes, Federal Research Centre of Fundamental and Translational Medicine; 2 Timakova St, Novosibirsk, 630117 Russia. Tel. +79137032888  
Email [diu1000@mail.ru](mailto:diu1000@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9470-4153>

## How to cite this article

Badmaeva E.N., Deulin I.Yu., Gulyaeva M.A., Bazarov L.D., Dorzhiev T.Z., Jamalutdinov J.M. Nestling phenology of *Anseriformes* in the Baikal Siberia region, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 145-150. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-145-150

Received 30 September 2019

Revised 2 December 2019

Accepted 20 December 2019

## Abstract

**Aim.** The goal was to aggregate data on the nesting phenology of the range of *Anseriformes* in the Baikal Siberia region – using the example of Lake Baikal itself.

**Material and methods.** In preparing the materials we used data from our own observations based on foot and car-based survey assessments and that of other authors for the entire known period of bird research on Lake Baikal, including data from the literature. Standard ornithological visual methods of accounting, registration and description are used.

**Results.** The ecology of *Anseriformes* nesting has been sufficiently studied, but information on the oviposition phenology is not generalized. During the nesting periods of *Anseriformes* on Lake Baikal (in particular) the laying of eggs occurs over an extended time period. This prolongation egg-laying time is normal and is a response to the death of clutches from inundations as well as being a characteristic of some ducks which re-nest repeatedly. These subsequently lead to a later taking to flight of young birds.

**Conclusion.** The earliest clutches are found among mallard and ruddy shelduck from the end of April, when ponds are still ice-bound, while the latest are laid up to mid-July by the European widgeon, the white-winged scoter and the red-breasted merganser. Mass oviposition of all species occurs in the period from mid-May to mid-June. Overall, the egg-laying period of Lake Baikal *Anseriformes* lasts from 20 days to 3.1 months. The timing and period of egg-laying depends on regional environmental conditions and the specifics of individual species' ecology and biology. Although the general ovipositional time-frame of *Anseriformes* regionally is prolonged, the period of mass egg-laying is quite concentrated and occurs within a period of 20-30 days.

## Key Words

Baikal birds, *Anseriformes*, phenology, nesting dates, egg-laying dates.

## ВВЕДЕНИЕ

Гусеобразные являются одной из основных групп водно-болотных птиц Байкальской Сибири (бассейн озера Байкал в пределах России). Экология многих видов относительно хорошо изучена, выявлены разные стороны их экологии, в том числе характер и особенности размножения [1; 2]. Однако эти материалы остаются разрозненными и не обобщенными. Гнездовая фауна гусеобразных Байкальской Сибири (собственно Байкала) представлена 18 видами, что составляет 22,3% от всей водно-болотной фауны Байкальской Сибири [3]. Сроки начала гнездования и откладки яиц в регионе зафиксированы достаточно четко, но разница между датами откладки первых яиц и наиболее поздних кладок может быть существенной. Общую картину фенологии гнездования гусеобразных может дать сравнение по датам и их средним значениям.

*Цель настоящей работы* – обобщение данных по фенологии гнездования гусеобразных птиц на территории Байкальской Сибири.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При подготовке материалов использовались данные собственных наблюдений по результатам маршрутных пеших и автомобильных учетов и других авторов за весь известный период исследований птиц на Байкале, в т. ч. и по литературным данным. В работе использованы стандартные орнитологические визуальные методы учетов, регистраций и описаний.

В статье анализируются данные из литературных источников, в основном касающихся собственно Байкала, а также результаты наблюдений, выполненных авторами в период с 1975 г. по 2019 г.

Названия видов птиц приведены по классификации, принятой в сводке Е.А. Коблика и В.Ю. Архипова [4].

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работе были проанализированы данные по откладке яиц гусеобразными. Данный процесс включает в себя такие периоды как: начало откладки, период массовой откладки и самые поздние сроки откладки яиц. Указанные этапы зависят от различных факторов (погодных, антропогенных и т. д.) и могут смещаться, из года в год, от 3 до 14 суток. Для того, чтобы минимизировать указанное отклонение, сроки откладки яиц анализировались в рамках декады, позволив, таким образом, усреднить данные за многолетний период. При проведении исследования была отмечена разница в сроках, а также обозначен обобщенный период откладки яиц. Было показано, что, во II и III декадах мая начинается откладку большая часть видов гусеобразных.

Материалы по фенологии откладки яиц гнездящихся видов, которые относятся к отряду гусеобразных, были сгруппированы в пределах одного месяца на основании периода начала кладок в весенний сезон на территории Байкальской Сибири в соответствии с указанной классификацией (табл. 1).

Под Байкальской Сибирью подразумевается территории в Российской Федерации водного бассейна озера Байкал, часть Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края. Экологические условия региона значительно изменяются в зависимости от

района. Факт варьирующихся условий обусловлен расположением водного бассейна оз. Байкал, его влиянием на окружающую среду, а также горно-котловинный рельеф. Особенностью расположения оз. Байкал является нахождение в глубине Азиатского континента, которое включает в себя экотонную территорию степной и таежной природных зон, и расположено на стыке воздушных потоков с севера и юга, запада и востока.

В Байкальской Сибири преобладает резко континентальный климат. Отчетливо выраженные сезоны года, отличающиеся от общепринятых календарных сроков. В разные года наблюдаются отличия в их продолжительности. Различия в сезонности хорошо прослеживаются в зависимости от исследуемых районов и тесно связаны с высотными поясами горных хребтов [5; 6].

Гнездовой сезон представителей отряда Гусеобразные включает как весенний, так и летний периоды. Весенний сезон – короткий и составляет около 35-45 дней. Наблюдаются переходы температуры через +5 и -10°C. Наступление весны в различных районах варьируется до 20 дней, в горной местности – дольше. Такая особенность влияет на сроки прилета мигрирующих птиц и на начало яйцекладки в различные районы данного региона. Как правило, в Баргузинской котловине, центральных и южных районах Байкальской Сибири к третьей декаде мая, устанавливается летний сезон. Стоит отметить, что на северных территориях региона и в горной местности он наступает позднее. В основном лето продолжается от 3 до 4 месяцев в зависимости от района. В данном сезоне отмечается переход среднесуточной температуры через +10°C, с юга на север исследуемого региона его продолжительность сокращается. Возможны возвраты холодов и поздние заморозки.

*Сроки миграций.* Передовые особи – представители отряда Гусеобразные, начинают прилетать на места гнездования в апреле. В зависимости от вида, прилет может наблюдаться еще около месяца с момента прилета первых особей. Как правило, через 5-15 дней после появления первых мигрантов наступает массовый прилет. Продолжительность прилета составляет – 10-15 дней, после чего наблюдается постепенное угасание. Появление первых мигрантов видов гусеобразных по времени совпадает со вскрытием рек и озер, а также обводнением территории, что наглядно прослеживается в Прибайкалье и бассейне оз. Байкал. В этих районах разница в сроках прилета, например уток, достигает 15-25 дней и зависит от территории гнездования [1; 7], и определяется фенологическими особенностями – появлением благоприятных условий для обитания птиц в направлении с юга на север. Кроме этого фактора, определяющего миграционные сроки и начало периода гнездования гусеобразных и других представителей авиафауны имеются и иные. На миграционное поведение птиц влияют, например, специфика биологии видов, расстояние до мест зимовок, и многое другое.

Период гнездования, в частности, сроки откладки яиц – очень тонкий момент экологии птиц. Он зави-

сит от многих факторов и в то же время – это достаточно четкий видовой признак. Известна четкая выраженная зависимость сроков размножения в разных районах Байкала. Первыми яйцекладку начинают кряквы, а заканчивают на юге озера серые утки, на Среднем и Северном Байкале – хохлатые чернети. Так, на Среднем Байкале разрыв между первым яйцом у кряквы чернети хохлатой составляет 18 дней, а на севере озера – только 12 (15-27 мая) [1]. Таким образом, с продвижением на север сроки откладки яиц сдвигаются на поздние сроки и несколько сжимаются.

Самыми ранними видами, приступающими к яйцекладке, являются пять видов: огарь, кряква, шилохвость, широконоска и гоголь. Из них самыми первыми

приступают к откладке яиц наиболее ранние мигранты региона – огарь и кряква – с конца III декады апреля, когда еще водоемы скованы льдом и снег не сошел с гнездовых стаций. Далее, с I декады мая начинают откладывать яйца ранние особи шилохвости, широконоски и гоголя. Часто ранние кладки характерны до массового прилета остальных особей данного вида.

Сроки гнездования гусеобразных на Байкале, в частности, откладка яиц растянута во времени (табл. 1). Такая растянутость сроков откладки яиц – явление нормальное и вызвано гибелью кладок от подтопления и повторным гнездованием части уток, что приводит впоследствии к более позднему подъему на крыло молодых птиц.

**Таблица 1.** Сроки гнездования представителей отряда *Anseriformes* на территории Байкальской Сибири  
**Table 1.** Nesting period of *Anseriformes* species in the Baikal Siberia region

№	Вид Species	Сроки откладки яиц (многолетние средние значения) Egg-laying time (multi-year averages)			
		Начало Beginning	Массовая откладка Mass egg laying	Конец End	Общий период Entire period
1	Огарь <i>Tadorna ferruginea</i> Pallas, 1764	III.04	I-II.05 (20 дней)	III.05	40
2	Кряква <i>Anas platyrhynchos</i> Linnaeus, 1758	III.04	II-III.05 (20 дней)	III.07	100
3	Шилохвость <i>Anas acuta</i> Linnaeus, 1758	I.05	II.05 (10 дней)	III.06	60
4	Широконоска <i>Anas clypeata</i> Linnaeus, 1758	I.05	II.05-I.06 (30 дней)	I.06	40
5	Гоголь <i>Vicsephala clangula</i> Linnaeus, 1758	I.05	–	–	–
6	Черная кряква <i>Anas zonorhyncha</i> Swinhoe, 1866	II.05	III.05-I.06 (30 дней)	II.06	40
7	Чирок-трескун <i>Anas querquedula</i> Linnaeus, 1758	II.05	I-II.06 (20 дней)	I.07	60
8	Красноголовый нырок <i>Aythya ferina</i> Linnaeus, 1758	II.05	II.05-I.06 (30 дней)	III.06	50
9	Хохлатая чернеть <i>Aythya fuligula</i> Linnaeus, 1758	II.05	I-II.06 (20 дней)	III.06	50
10	Лебедь-кликун <i>Cygnus cygnus</i> Linnaeus, 1758	III.05	–	I.06	20
11	Касатка <i>Anas falcata</i> Georgi, 1775	III.05	–	III.06	40
12	Серая утка <i>Anas strepera</i> Linnaeus, 1758	III.05	III.05-II.06 (30 дней)	I.07	50
13	Чирок-свистунок <i>Anas crecca</i> Linnaeus, 1758	III.05	–	I.06	20
14	Большой крохаль <i>Mergus merganser</i> Linnaeus, 1758	III.05	–	–	–
15	Свизь <i>Anas penelope</i> Linnaeus, 1758	I.06	–	III.06	30
14	Горбоносый турпан <i>Melanitta deglandi</i> Bonaparte, 1850	I.06	III.06 (10 дней)	II.07	50
15	Длинноносый крохаль <i>Mergus serrator</i> Linnaeus, 1758	III.06	–	I.07	20
16	Луток <i>Mergus albellus</i> Linnaeus, 1758	–	–	–	–
17	Каменушка <i>Histrionicus histrionicus</i> Linnaeus, 1758	–	–	–	–

Примечание: По Скрябину, 1975; Фефелову и др., 2001; собственные данные и др.  
Note: According to Skryabina, 1975; Fefeloba et al, 2001; personal data, etc.

Интервал между их прилётом и началом размножения в разные годы составляет от 9 до 16 суток. В тёплые и ранние вёсны первые яйца кряквы и огаря появляются 20-22 апреля, когда местность, как может показаться, абсолютно непригодна для размножения [8]. Пик массовых кладок этих пяти видов приходится на I и II декады мая. В дельте Селенги в это время встречаются уже достаточно хорошо насиженные кладки. Яйцекладка их продолжается вплоть до июня и занимает период от 40 до 70 дней. Причем, часто у них могут быть повторные кладки вследствие гибели первых. Процент гибели первых кладок может достигать 70%, заставляя рано-прилетевшие пары крякв и огарей возобновлять кладки до 2-3 раз, повышая вклад в сохранение популяции [9; 10].

Далее во II и III декадах мая приступают к откладке яиц 9 видов: черная кряква, чирок-трескун, красноголовый нырок, хохлатая чернеть, лебедь-кликун, касатка, серая утка, чирок-свистунок, большой крохаль. Массово они приступают к яйцекладке в III декаде мая и I декадах июня. Встречаются и повторные кладки.

Самыми последними к откладке яиц, по собранным данным, приступают свиязь, горбоносый турпан, длинноносый крохаль – в течение июня и до II декады июля. Сроки их массовой откладки яиц неизвестны ввиду недостаточности сведений. По двум гнездящимся видам (луток и каменушка) сведения о гнездовании скудны и описаны по единичным находкам гнезд.

Периоды массовой откладки яиц у всех видов гусеобразных достаточно компактны во времени и составляют от 10 до 30 дней, причем пик ее приходится на период со II декады мая и до середины июня.

Общий период откладки яиц представителями отряда Гусеобразные в регионе составляет в среднем 100 дней. Данная особенность может быть напрямую связана с наличием у части уток повторных кладок при гибели первых в результате подтопления. Так, самый долгий период откладки яиц у кряквы (6,6%) за счет повторных поздних кладок – 100 дней или 3,1 месяц.

Два месяца (60 дней) период откладки яиц составляет у двух видов (13,3% от гнездящихся гусеобразных) – у шилохвости и чирка-трескунка. До 50 дней занимает период откладки яиц у четырех следующих видов (26,6%): красноголового нырка и хохлатой чернети, серой утки и горбоносого турпана. До 40 дней – у 4 видов (26,6%): огаря, широконоски, черной кряквы и касатки. Ровно в течение 30 дней откладка яиц наблюдается у одного вида – свиязи (6,6%) и меньше месяца – 20 дней – у трех видов (20%): лебедя-кликун, у чирка-свистунка, длинноносого крохалья.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно констатировать, что период откладки яиц гусеобразных в Байкальской Сибири достаточно растянут и занимает от 3,1 месяца и до 20 дней. Половина гнездящейся фауны гусеобразных птиц откладывает яйца в период 40-50 дней. Сроки и период откладки яиц зависит от региональных экологических условий, специфики экологии и биологии видов. Как правило, гибнут самые ранние и самые поздние кладки. Последовательность яйцекладки не полностью сов-

падает с очередностью прилета. Например, чирок-свистунок прибывает в регион достаточно рано – в I-II декаде апреля, но к откладке яиц приступает только ко II декаде мая, что связано с требованиями к условиям гнездования. Если общий период откладки яиц гусеобразных растянут, то период массовой откладки яиц достаточно компактен и укладывается в 20-30 дней. Кроме того, у различных видов уток по мере продвижения к северу разрыв между прилетом и началом кладок сокращается в разной степени. Это явление можно объяснить условиями более длительного светового дня, ускоряющего созревание половых продуктов.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 19-54-55004 и МАГАТЭ (Контракт № 22563), Гранта Президента РФ МК-6831.2018.4 (075-02-2018-1022).

## ACKNOWLEDGEMENT

The reported study was funded by the RFBR through Research Project № 19-54-55004 and IAEA (Research Contract № 22563), by the Grant of the President of the Russian Federation МК-6831.2018.4 (075-02-2018-1022).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрябин Н.Г. Водоплавающие птицы Байкала. Иркутск, 1975. 244 с.
2. Феллов И.В., Тупицын И.И., Подковыров В.А., Журавлев В.Е. Птицы дельты Селенги. Иркутск, 2001. 320 с.
3. Доржиев Ц.З., Бадмаева Е.Н. Неворобьиные Non-Passeriformes птицы Республики Бурятия: аннотированный список // Природа Внутренней Азии – Nature of Inner Asia, 2016. Вып. 1. С. 7-60. DOI: 10.18101/2542-0623-2016-1-7-60
4. Коблик Е.А., Архипов В.Ю. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР: Списки видов // Зоологические исследования. 2014. N 14. 171 с.
5. Жуков В.М. Климат. Предбайкалье и Забайкалье. М.: Наука, 1965. С. 91-126.
6. Сницаренко Н.И. Климатическая характеристика основных сезонов года. Климат Улан-Удэ. Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 133-139.
7. Доржиев Ц.З., Бадмаева Е.Н. Фенология пребывания и сезонная изменчивость фауны неворобьиных птиц Non-Passeriformes Байкальской Сибири // Природа Внутренней Азии – Nature of Inner Asia. 2017. N 1(2). С. 7-36. DOI: 10.18101/2542-0623-2017-1-7-36
8. Мельников Ю.И., Мельников М.Ю. О ранних сроках гнездования водоплавающих птиц лесостепных районов Прибайкалья // Русский орнитологический журнал. 2000. Экспресс-выпуск 91. С. 16-19.
9. Феллов И.В., Шинкаренко А.В., Подковыров В.А. Динамика популяций уток в дельте Селенги // Русский орнитологический журнал. 1995. N 4. С. 45-53.
10. Мельников Ю.И. Компенсационное воспроизводство и его роль в популяционной динамике водоплавающих птиц // 9-й Международный симпозиум по экологии водоплавающих птиц (WSG-IWRB Conf.). Хайдусобосло: 1992. С. 21-22.

## REFERENCES

1. Skryabin N.G. *Vodoplavayushchie ptitsy Baikala* [Waterfowl of Baikal]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 1975, 244 p. (In Russian)
2. Fefelov I.V., Tupitsyn I.I., Podkovyrov V.A., Zhuravlev V.E. *Ptitsy del'ty Selengi* [Birds of Selenga River Delta]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 2001, 320 p. (In Russian)
3. Dorzhiev Ts.Z., Badmaeva E.N. Non-Passeriformes of the Republic of Buryatia: Annotated List. *Nature of Inner Asia*, 2016, vol. 1, pp. 7-60. (In Russian) DOI: 10.18101/2542-0623-2016-1-7-60
4. Koblik E.A., Arkhipov V.Yu. [Avifauna of the States of Northern Eurasia (former USSR) Checklists]. In: *Zoologicheskie issledovaniya* [Zoological research]. Moscow, KMK Publ., 2014, 171 p. (In Russian)
5. Zhukov V.M. *Klimat. Predbaikal'e i Zabaikal'e* [Climate. Prebaikalia and Transbaikalia]. Moscow, Nauka Publ., 1965, pp. 91-126. (In Russian)
6. Snitsarenko N.I. *Klimaticheskaya kharakteristika osnovnykh sezonov goda. Klimat Ulan-Ude* [Climatic characteristics of the main seasons of the year. Climate Ulan-Ude].

- Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1983, pp. 133-139. (In Russian)
7. Dorzhiev Ts.Z., Badmaeva E. N. Phenology of stay and seasonal variability of the non-passeriformes fauna of Non-Passeriformes of Baikal Siberia. *Nature of Inner Asia*, 2017, no. 1(2), pp. 7-36. (In Russian) DOI: 10.18101/2542-0623-2017-1-7-36
8. Melnikov Yu.I., Melnikov M.Yu. About early breeding periods of waterfowl of forest-steppe regions of the Baikal region. *Russkii ornitologicheskii zhurnal* [Russian journal of ornithology]. 2000, Ekspres-vypusk 91, pp. 16-19. (In Russian)
9. Fefelov I.V., Shinkarenko A.V., Podkovyrov V.A. Dynamics of duck populations in the Selenga Delta. *Russkii ornitologicheskii zhurnal* [Russian journal of ornithology]. 1995, no. 4, pp. 45-53. (In Russian)
10. Mel'nikov Yu.I. Compensative reproduction and its role in population dynamics of waterfowl. In: *9 Mezhdunarodnyi simpozium po ekologii vodoplavayushchikh ptits (WSG-IWRB Conf.)* [9th International Waterfowl Ecology Symposium (WSG-IWRB Conf.)]. Hajduszoboszlo, 1992, pp. 21-22. (In Russian)

## КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Цыдыпжап З. Доржиев провел наблюдения, собрал данные в районе Байкальской Сибири, провел анализ литературных данных. Евгения Н. Бадмаева участвовала в наблюдениях, сборе данных в районе Байкальской Сибири, провела анализ литературных данных. Илья Ю. Деулин участвовал в сборе данных в районе дельты р. Селенга, анализировал литературные данные, корректировал рукопись. Марина А. Гуляева корректировала рукопись до подачи в редакцию. Лопсон Д. Базаров и Джамалутдин М. Джамалутдинов участвовал в сборе данных, анализировал литературные данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tsydyzhpap Z. Dorzhiev made observations, collected data in the Baikal Siberia region, and analyzed literature data. Evgeniya N. Badmaeva participated in observations, data collection in the Baikal Siberia region, conducted an analysis of literary data. Ilya Yu. Deulin participated in data collection in the Selenga River delta, analyzed the literature data and revised the manuscript. Marina A. Gulyaeva corrected the manuscript prior to submission to the Editor. Lopson D. Bazarov and Jalalutdin M. Jamalutdinov participated in the collection of data in the the Selenga River delta region and analyzed the literature data. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

## NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

## ORCID

Евгения Н. Бадмаева / Evgeniya N. Badmaeva <https://orcid.org/0000-0002-9940-1191>

Илья Ю. Деулин / Ilya Yu. Deulin <https://orcid.org/0000-0001-9470-4153>

Марина А. Гуляева / Marina A. Gulyaeva <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

Лопсон Д. Базаров / Lopson D. Bazarov <https://orcid.org/0000-0002-9482-1015>

Цыдыпжап З. Доржиев / Tsydyzhpap Z. Dorzhiev <https://orcid.org/0000-0003-3103-6818>

Джамалутдин М. Джамалутдинов / Jalalutdin M. Jamalutdinov <https://orcid.org/0000-0002-9617-2717>

**С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»**

можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

**По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:**

**Гусейнова Надира Орджоникидзева**, к.б.н., доцент, e-mail: [dagecolog@mail.ru](mailto:dagecolog@mail.ru),  
моб. тел. +79285375323

**Иванушенко Юлия Юрьевна**, магистр экологии, e-mail: [dagecolog@mail.ru](mailto:dagecolog@mail.ru)

**Адрес редакции:** 367001, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21, ООО «Институт прикладной экологии»,  
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, e-mail: [dagecolog@mail.ru](mailto:dagecolog@mail.ru), tel. +79285375323

**Yuliya Yu. Ivanushenko**, master of ecology, e-mail: [dagecolog@mail.ru](mailto: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 РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

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)

Зарубежная подписка оформляется через фирмы-партнеры ЗАО «МК-периодика»

по адресу: 129110, Москва, ул. Гиляровского, 39, ЗАО «МК-периодика»;

Тел.: (495) 281-91-37; 281-97-63; Факс (495) 281-37-98. E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

Internet: <http://www.periodical.ru>

To effect subscription it is necessary to address to one of the partners of JSC «MK-periodica»  
in your country or to JSC «MK-periodica» directly.

Address: Russia, 129110, Moscow, 39, Gilyarovskiy St., JSC «MK-periodica».

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Оригинал-макет подготовлен в ООО «Институт прикладной экологии».

Подписано в печать 10.03.2020.

Объем 18,87. Тираж 100. Заказ № 52.

Формат 70x90%. Печать офсетная.

Бумага офсетная № 1.

Тиражировано в типографии ИПЭ РД

г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21