

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



Том 16 № 2 2021

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

# ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

---

Vol.16 no. 2 2021

# SOUTH OF RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT

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

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

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

**Теймуров Абдулгамид Абулкасумович**, кафедра биологии и биоразнообразия, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

**Технический редактор**

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

Для ознакомления с целями и задачами, инструкциями по подготовке и подаче рукописи, подписке и другой информации, посетите:

<https://ecodag.elpub.ru/ugro/about>

**EDITORIAL BOARD****Editor-in-Chief**

**Alexander M. Shestopalov**, Head, Department of Experimental Modeling and Pathogenesis of Infectious Diseases & Head, Eurasian Center for Zoonotic Infections, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine Siberian branch, Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor (Novosibirsk, Russia)

**Deputy Editors-in-Chief**

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

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

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

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

**Scientific Editor**

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

**Editorial Executive Secretaries**

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

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

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

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

**Abdulgamid A. Teymurov**, Department of Biology and Biodiversity, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

**Technical Editor**

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

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

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ****Председатель**

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

**Сопредседатели**

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

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

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

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

**Члены редакционного совета**

**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**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ**

Щелканов Е.М.

Электризационная гипотеза отсутствия вшей (Anoplura Leach, 1815) у рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779).....6-16

Щелканов М.Ю., Щелканов Е.М., Москвина Т.В.

*Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp. (Anoplura: Echinophthiriidae) – новый вид-паразит северного морского котика (*Callorhinus ursinus* L., 1758) на о. Тюлений (Охотское море, Россия).....17-25

Дзуев Р.И., Хашкулова М.А., Канукова В.Н., Барагунова Е.А., Сабанова Р.К., Чепракова А.А., Дзагуров Б.А., Дзуев А.Р.

Особенности хромосомного набора представителей гладконосых летучих мышей Северного Кавказа.....26-38

Оздемиров А.А., Чижова Л.Н., Хожиков А.А., Суржикова Е.С.,

Догеев Г.Д., Абдулмагомедов С.Ш.

Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец дагестанской горной породы.....39-44

**ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ**

Ожерельева З.Е., Гуляева А.А.

Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам при искусственном промораживании.....45-54

**ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ**

Менькина Е.А., Шаповалова Н.Н., Воропаева А.А.

Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе обыкновенном.....55-64

**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

Петрищев В.П., Щербакова Е.А.

О формировании каркасной модели системы ООПТ в регионах Урало-Сибирского сектора степной и лесостепной зоны.....65-74

Чуян О.Г., Караулова Л.Н.

Взаимосвязь климатических факторов почвообразования с формированием химических и физико-химических свойств почвенного покрова в агроландшафтах Центрального Черноземья.....75-87

Трифонов Т.А., Чеснокова С.М., Савельев О.В.

Оценка уровня трофности и самоочищающей способности малого водотока по гидрохимическим показателям (на примере р. Рпень).....88-97

Сокольский А.Ф., Канбетов А.Ш., Попов Н.Н., Муташев Б.А., Рабазанов Н.И.

Современное экологическое состояние вод Каспийского моря при освоении нефтегазовых месторождений.....98-107

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Масютенко Н.П., Панкова Т.И., Кузнецов А.В., Масютенко М.Н.,

Брескина Г.М., Чуян Н.А.

Влияние биопрепаратов на разложение растительных остатков сельскохозяйственных культур в черноземе типичном.....108-118

**МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Плугатарь Ю.В., Чичканова Е.С., Яцкова Е.В., Шармагий А.К., Оберемок В.В.

Инновационный способ контроля численности *Diaspis echinocacti* Bouche при помощи ДНК-инсектицида на *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. в Никитском ботаническом саду.....119-128**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

Юсуфов Г.А., Теймуров А.А., Солтанмурадова З.И., Сайпулаева Б.Н., Борцов К.В.

Флористические районы Самурско-Чирахчайского междуречья и Джугфудага (Южный Дагестан) по анализу видового состава петрофитов.....129-136

**КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

137

**ECOLOGY OF ANIMALS***Shchelkanov E.M.*

Electrification hypothesis of the absence of lice (Anoplura Leach, 1815) on bats (Chiroptera Blumenbach, 1779).....6-16

*Shchelkanov M.Yu., Shchelkanov E.M., Moskvina T.V.**Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp. (Anoplura: Echinophthiriidae) – a new species of parasite of the Northern fur seal (*Callorhinus ursinus* L., 1758) at Tyuleniy Island, Okhotsk Sea, Russia.....17-25*Dzuyev R.I., Khashkulova M.A., Kanukova V.N., Baragunova E.A., Sabanova R.K.,**Cheprakova A.A., Dzagurov B.A., Dzuyev A.R.*

Features of the chromosome set of representatives of smooth-nosed bats of the North Caucasus.....26-38

*Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S.,**Dogeev G.D., Abdulmagomedov S.Sh.*

Polymorphism of genes CAST, GH, GDF9 of sheep of the Dagestan mountain breed.....39-44

**ECOLOGY OF PLANTS***Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A.*

Resistance of generative organs of sweet cherry to spring frosts after artificial freezing.....45-54

**ECOLOGY OF MICROORGANISMS***Menkina E.A., Shapovalova N.N., Voropayeva A.A.*

Number of ecological-trophic groups of microorganisms depending on technology of winter wheat cultivation on ordinary chernozem of the Central Caucasus.....55-64

**GEOECOLOGY***Petrishchev V.P., Shcherbakova E.A.*

On the formation of the framework model of the Specially Protected Natural Areas system in the regions within the Ural-Siberian sector of the steppe and forest-steppe zones.....65-74

*Chuyan O.G., Karaulova L.N.*

Interrelation of climatic factors of soil formation with the formation of chemical and physical-chemical properties of soil cover in agricultural landscapes of the Central Chernozem Region of Russia.....75-87

*Trifonova T.A., Chesnokova S.M., Savelev O.V.*

Evaluation of the trophic level and self-cleaning ability of small flows by hydrochemical indicators (through the example of the Rpen River).....88-97

*Sokolskiy A.F., Kanbetov A.Sh., Popov N.N., Mutashev B.A., Rabazanov N.I.*

Contemporary ecological state of waters of the Caspian Sea during development of oil and gas deposits.....98-107

**AGRICULTURAL ECOLOGY***Masyutenko N.P., Pankova T.I., Kuznetsov A.V., Masyutenko M.N.,**Breskina G.M., Chuyan N.A.*

Effect of biopreparations on the decomposition of plant residues of crops in typical chernozem.....108-118

**METHODS OF ENVIRONMENTAL STUDIES***Plugatar Yu.V., Chichkanova E.S., Yatskova E.V., Sharmagii A.K., Oberemok V.V.*An innovative method of *Diaspis echinocacti* Bouche control using DNA insecticide on *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. in the Nikitsky Botanical Garden, Crimea.....119-128**BRIEF REPORTS***Yusufov G.A., Teymurov A.A., Soltanmuradova Z.I., Saypulaeva B.N., Bortsov K.V.*

Floristic regions of the Samur-Chirakhchay interfluvium and Dzhufuldag (Southern Dagestan) according to analysis of petrophite species composition.....129-136

**CONTACT INFORMATION**

137

Обзорная статья / Review article  
УДК 599.4:595.751.2  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-6-16

## Электризационная гипотеза отсутствия вшей (Anoplura Leach, 1815) у рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779)

Егор М. Щелканов

Московский физико-технический институт, Московская область, Долгопрудный, Россия

### Контактное лицо

Егор М. Щелканов, студент Физтех-Школы биологической и медицинской физики Московского физико-технического института; 141700 Россия, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9. Тел. +79243215162  
Email [egorshchelkanov@mail.ru](mailto:egorshchelkanov@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

### Формат цитирования

Щелканов Е.М. Электризационная гипотеза отсутствия вшей (Anoplura Leach, 1815) у рукокрылых (Chiroptera Blumenbach, 1779) // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 6-16. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-6-16

Получена 11 декабря 2020 г.  
Прошла рецензирование 14 января 2021 г.  
Принята 19 января 2021 г.

### Резюме

**Цель** настоящей работы заключается в обосновании гипотезы о том, что отсутствие вшей у рукокрылых связано с электризацией поверхности их тела во время полета.

**Обсуждение.** В работе анализируется физический феномен электризации трением, трибоэлектрический ряд веществ с особым вниманием к объектам атмосферного электричества, правило Коэна, связывающее диэлектрические свойства вещества с его диэлектрической проницаемостью. Описаны электрические свойства атмосферы, включая возникновение разности потенциала между поверхностью Земли и ионосферой и механизм поддержания этого потенциала в результате подзарядки земной поверхности отрицательным электричеством грозами. Приведены результаты экспериментальных данных по формированию положительного электростатического заряда на поверхностных покровах насекомых и птиц. Выдвигается гипотеза о том, что шерсть и кожные перепонки рукокрылых тоже должны электризоваться положительно в процессе полета. Описываются причины, препятствующие обитанию вшей в электризованной шерсти рукокрылых. Предлагается объяснение наличия у рукокрылых развитых сальных желез как способа сброса электростатического заряда перед возвращением в убежище и раструбной структуры волосяной кутикулы как приспособления для удержания выделения потовых желез.

**Заключение.** Отсутствие вшей у рукокрылых является прямым следствием их адаптации к активному полету.

### Ключевые слова

Рукокрылые, Chiroptera, вши, Anoplura, электризация.

# Electrification hypothesis of the absence of lice (Anoplura Leach, 1815) on bats (Chiroptera Blumenbach, 1779)

**Egor M. Shchelkanov**

Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow region, Dolgoprudny, Russia

## Principal contact

Egor M. Shchelkanov, Student, Phys-Tech School of Biological and Medical Physics, Moscow Institute of Physics and Technology; 9 Institutsky Lane, Dolgoprudny, Moscow Region, Russia 141700. Tel. +79243215162

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

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

## How to cite this article

Shchelkanov E.M. Electrification hypothesis of the absence of lice (Anoplura Leach, 1815) on bats (Chiroptera Blumenbach, 1779). *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 6-16. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-6-16

Received 11 December 2020

Revised 14 January 2021

Accepted 19 January 2021

## Abstract

**Aim** of this work is to substantiate the hypothesis that the absence of lice in bats is associated with the electrification of the surface of their body during the flight.

**Discussion.** The paper analyzes the physical phenomenon of friction electrification, the triboelectric series of substances with special attention to the objects of atmospheric electricity, and the Cohen rule that relates the dielectric properties of a substance to its permittivity. The electrical properties of the atmosphere are described including the occurrence of a potential difference between the Earth's surface and the ionosphere and the mechanism of maintaining this potential as a result of charging the ground with negative electricity by thunderstorms. The results of experimental data on the formation of a positive electrostatic charge on the surface covers of insects and birds are presented. It is hypothesized that the hair and skin membranes of bats should also be positively electrified during flight. The reasons that prevent lice from living in electrified bat hair are described. It is proposed to explain the presence of developed sebaceous glands in bats as a way of discharging electrostatic charge before returning to the shelter and the bell structure of the hair cuticle as a device for retaining the secretion of sweat glands.

**Conclusion.** The absence of lice in bats is a direct consequence of their adaptation to active flight.

## Key Words

Bats, Chiroptera, lice, Anoplura, electrification.

## ВВЕДЕНИЕ

Вши – представители подотряда Anoplura Leach, 1815 отряда пухоедовых (Phthiraptera Haeckel, 1896) – являются облигатными эктопаразитами плацентарных млекопитающих (*Placentalia* Owen, 1837), периодически питающимися кровью своих хозяев и постоянно проживающих в их волосном покрове [1-3]. Вши вызывают педикулёз, вторичные бактериальные заражения в местах расчёсывания кожи, снижение иммунитета и аллергические реакции, а также являются переносчиками возбудителей опасных заболеваний человека – брюшного тифа (*Salmonella enterica* Le Minor et Popoff, 1987 var. *typhi*), сыпного тифа (*Rickettsia prowazekii* da Rocha-Lima, 1916), пятнистой лихорадки Скалистых Гор (*R. rickettsi* Brumpt, 1922), возвратного тифа (*Borrelia recurrentis* Bergey et al., 1925), Волынской или окопной лихорадки (*Bartonella quintana* Schmincke, 1917) [2] – и животных, например: свиная вошь (*Haematopinus suis* L., 1758) описана как вектор для поксвируса свиней (Chitovirales: Poxviridae, *Suipoxvirus*) [4] и вируса африканской чумы свиней (Asfuvirales: Asfiviridae, *Asfivirus*) [5]; лошадиная вошь (*Haemodipsus ventricosus* Denny, 1842) – возбудителя туляремии (*Francisella tularensis* Dorofeev, 1947) [4]; буйволиная вошь (*Haematopinus tuberculatus* Burmeister 1839) – анаплазмоза (*Anaplasma marginale* Theiler, 1910) [6] и т.д..

Паразитизм вшей является узкоспециализированным: каждый вид вшей паразитирует на одном или ограниченном количестве близких видов млекопитающих, хотя на данном виде млекопитающих могут паразитировать более одного вида вшей. Например, у человека (*Homo sapiens sapiens* L., 1758) встречаются два вида вшей – человеческая вошь (*Pediculus humanus* L., 1758) с двумя морфотипами (головная (*Pe. humanus capitis* De Geer, 1767) и платяная (*Pe. humanus corporis* L., 1758)) и лобковая вошь (*Phthirus pubis* L., 1758)<sup>1</sup> [2; 3]. У других высших приматов имеются свои виды этих паразитов: *Pe. schaeffi* Fahrenholz, 1910 – у шимпанзе (*Pan troglodytes* Blumenbach, 1775 и *P. paniscus* Schwarz, 1929); *Pt. gorillae* Ewing, 1927 – у горилл (*Gorilla gorilla* Savage et Wyman, 1847 и *G. beringei* Matschie, 1903) [7].

Считается, что у большинства видов плацентарных млекопитающих имеются специфические для него виды вшей. Для массовых видов млекопитающих вши хорошо известны и подробно описаны [1-4], для экзотических млекопитающих новые виды вшей продолжают открываться и в XXI веке [8-12]. Вши отсутствуют у млекопитающих, лишённых шерсти: китообразных<sup>2</sup> (Cetacea Brisson, 1762), сирен (*Sirenia* Illiger, 1811), панголинов (*Pholidota* Weber, 1904), хоботных<sup>3</sup> (*Proboscidea* Illiger, 1811), носорогов (Rhinocerotidae Gray, 1821) и гиппопотамов

(*Hippopotamus* L., 1758). Среди плацентарных млекопитающих, имеющих шерстистый покров, вши отсутствуют у неполнозубых (муравьедов и ленивцев) (*Pilosa* Flower, 1883), броненосцев<sup>4</sup> (*Cingulata* Illiger, 1811) и рукокрылых (*Chiroptera* Blumenbach, 1779). Широко известен тезис Ю.С. Балашова [13] о том, что «явно вторична утрата вшей наземными хищниками» (*Carnivora* Bowdich, 1821) – наиболее известное исключение среди них составляют псовые (*Canidae* Fischer G., 1817), на которых паразитируют вши из рода *Linognathus* (Enderlein, 1905). При этом водные хищники – настоящие (*Phocidae* Gray, 1821) и ушастые (*Otariidae* Gray, 1825) тюлени и моржи (*Odobenidae* Allen, 1880) – сохранили вшей из семейства Echinophthiriidae (Enderlein, 1904) несмотря на критические для насекомых условия обитания в морской воде [9; 14].

Простейшим объяснением отсутствия вшей у некоторых млекопитающих могло бы оказаться наличие особенностей их волосного покрова. Однако вши сумели адаптироваться к столь широкому биоразнообразию своих хозяев, на фоне которых изменение структуры волосной кутикулы не представляется критическим. Например, вши-эхинофтириды вообще развили способность прикрепляться даже к складкам и ворсинкам слизистой оболочки респираторного тракта ластоногих [9; 14]. По-видимому, объяснение отсутствия вшей следует искать в эволюции и образе жизни конкретных таксономических групп млекопитающих. В частности, данная работа посвящена обоснованию электризационной гипотезы отсутствия вшей у рукокрылых как следствия их способности к активному полёту.

## ОБСУЖДЕНИЕ

**Электризация тел трением** известно с глубокой древности – считается, что первым этот феномен описал ещё Фалес Милетский в VI веке до н.э. [15]: если потереть кусок янтаря о сухую шерсть<sup>5</sup>, то янтарь<sup>6</sup> зарядится отрицательно, а шерсть приобретет положительный заряд, проявляющийся потрескиванием и заметными в темноте искорками. Трение стекла о шелк придает первому положительный, а второму – отрицательный статический заряд. Электризованные тела способны притягивать к себе пыль, волоски шерсти, перья птиц, изменять течение струек воды и создавать множество иных эффектов, широко используемых для инициации интереса к физике на начальных этапах её изучения [16]. Много позже выясняется, что строгий физико-математический анализ уравнений электростатики для диэлектриков представляет собой нетривиальную задачу [17; 18].

Трение позволяет увеличить площадь тесного контакта между телами, несмотря на шероховатости их поверхностей. При сближении участков поверхностей до расстояния, сравнимого с характерным размером атома  $\sim 10^{-10}$  м (рис. 1) электроны могут переходить с поверхности одного тела на поверхность другого.

<sup>1</sup> Следует обратить внимание, что латинское название отряда пухоедовых пишется с четырьмя согласными в начале слова, а семейства Phthiridae Leach, 1815 и рода Phthirus Leach, 1815 – лишь с тремя. Это связано с опечаткой, допущенной в 1758 г. Карлом Линнеем [3]. В прошлом веке активно использовалось написание «Phthirus pubis», но в настоящее время используется валидное «Phthirus pubis».

<sup>2</sup> Так называемые «китовые вши» являются ракообразными (Crustacea Brünlich, 1772) из семейства Cyamidae Rafinesque, 1815.

<sup>3</sup> Так называемые «слоновые вши» (*Haematomyzus elephantis* Piaget, 1869), в строгом таксономическом смысле, таковыми не являются и относятся к другому подотряду пухоедовых – Rhynchophthirina Fahrenholz, 1936, которые имеют ротовой аппарат грызущего типа и питаются не кровью, а эпидермисом.

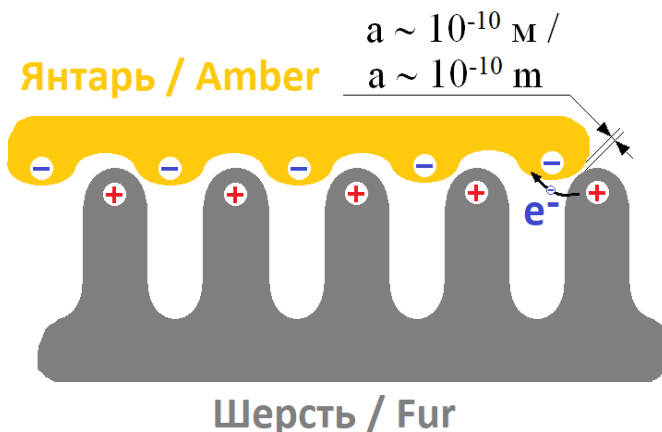
<sup>4</sup> Несмотря на то, что представители отряда броненосцев имеют дорсальный кожный панцирь, с вентральной стороны их тело покрыто шерстью.

<sup>5</sup> Аналогичный эксперимент, более доступный в современных условиях, – это потереть пластмассовую ручку о волосы на голове.

<sup>6</sup> Электрон, ἤλεκτρον, в переводе с древнегреческого означает «янтарь».

Вообще говоря, при достаточном упорстве можно электризовать трением любые тела, имеющие различное химическое строение (и даже одинаковое – если имеется различие в плотности или температуре). Однако наиболее эффективно электростатический заряд сохраняется на поверхности диэлектриков – веществ, в которых под действием электрического поля молекулы поляризуются, но электроны не переходят в

свободное состояние. В отличие от проводников, на поверхности которых свободные электроны формируют токи перетекания заряда в точках соприкосновения с другим телом, на поверхности диэлектриков сформированные трением заряды остаются в месте своего появления. В качестве электризуемых веществ могут выступать также жидкости и газы.



**Рисунок 1.** Эксперимент Фалеса Милетского: формирование электростатических зарядов при трении янтаря о шерсть

**Figure 1.** Thales of Miletus experiment: formation of electrostatic charges by rubbing amber against wool

**Трибоэлектрический<sup>7</sup> ряд** представляет собой перечень веществ, упорядоченный по возрастанию способности отнимать электроны и электризоваться отрицательно при трении о поверхность другого диэлектрика.

Автором первого опубликованного трибоэлектрического ряда стал шведский физик J.C. Wilcke [19]. Позже свои варианты предлагали и другие исследователи – наиболее известные из них представлены в табл. 1 [20-24].

**Правило Коэна**, названное в честь германского физика А. Коэна, впервые опубликовавшего его в 1898 г. [25], позволяет установить положение вещества в трибоэлектрическом ряду: вещество с большей диэлектрической проницаемостью в процессе электризации трением будет заряжаться положительно (т.е. будет являться донором электронов и в трибоэлектрических рядах, изображённых в табл. 1, находится выше).

Диэлектрическая проницаемость представляет собой безразмерный коэффициент связи векторов электрической индукции,  $D$ , и напряженности внешнего электрического поля,  $E$ :

$$\begin{aligned} D &= \epsilon \cdot E, & (1) \\ \epsilon &\geq 1 & (2) \end{aligned}$$

Значение  $\epsilon=1$  имеет место только для вакуума. Для чистого сухого воздуха  $\epsilon_{\text{возд}} \approx 1,0006$ , поэтому в подавляющем большинстве случаев полагают  $\epsilon_{\text{возд}} \approx 1$ . Атмосфера, имеющая в нижних слоях небольшое значение диэлектрической проницаемости,  $\epsilon_{\text{атм}} \approx 1,1$ , расположена, тем не менее, в верхней части трибоэлектрического ряда табл. 1 – это исключение объясняется сложным составом атмосферы (см. далее).

**Электрические свойства атмосферы** нуждаются в отдельном комментарии. Атмосфера и чистый сухой воздух находятся на противоположных концах трибоэлектрического ряда (табл. 1) вследствие наличия в атмосфере взвешенных частиц в форме пылинок и кристалликов солей (которые формируются после высыхания капель, сорванных ветром с поверхности естественных водоемов). Поскольку их диэлектрическая проницаемость очевидно больше  $\epsilon_{\text{возд}} \approx 1$ , то согласно правилу Коэна, они заряжаются положительно. Другим источником атмосферных ионов является естественное радиоактивное излучение земной коры, и для этого случая предсказать заранее ионный состав достаточно сложно. Однако прямые измерения показывают, что положительных ионов в атмосфере больше, чем отрицательных [17; 26].

Если предположить, что описанные выше механизмы формирования ионов в атмосфере являются единственными, то их концентрация уменьшалась бы с высотой. Однако классические эксперименты, проведенные австрийским физиком V.F. Hess в 1911-1913 гг., показали, что содержание положительных ионов растёт с высотой, и причина тому – высокоэнергетические частицы космических лучей. На высоте  $H_{\text{ион}} \approx 50$  км начинается ионосфера – сильно ионизированной космическими лучами слой атмосферы, имеющий положительный заряд. Поверхность Земли при этом заряжена отрицательно, и полная разность потенциалов между ионосферой и поверхностью планеты:  $U_{\text{ион-З}} \approx 400$  кВ [17; 18; 26]. Напряжённость электрического поля Земли у самой поверхности составляет  $E_3 \approx 130$  В/м. Зная радиус Земли ( $R_3 \approx 6371$  км), можно вычислить её площадь  $S_3$ :

$$S_3 = 4\pi R^2 \approx 5 \cdot 10^8 \text{ км}^2 \quad (3)$$

<sup>7</sup> Этимология этого термина восходит к древнегреческому слову τριβω – «натирать». Трибология – раздел физики, изучающий взаимодействие твёрдых деформируемых тел при их трении друг о друга.

**Таблица 1.** Наиболее известные трибоэлектрические ряды**Table 1.** The most well-known triboelectric series

| J.C. Wilcke<br>(1757) [19]                                                                               | P.S. Henry<br>(1953) [20]                | J.W. Ballou<br>(1954) [21]  | S.P. Hersh,<br>D.J. Montgomery,<br>(1955) [22] | G.S. Rose,<br>S.G. Ward<br>(1957) [23] | L. Loeb<br>(1958) [24]                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Положительный конец ряда (доноры электронов)* / Positive terminus of the range (donors of electrons)*    |                                          |                             |                                                |                                        |                                         |
| Стекло<br>Glass                                                                                          | Платина<br>Platinum                      | Овечья шерсть<br>Sheep wool | Овечья шерсть<br>Sheep wool                    | Этилцеллюлоза<br>Ethyl cellulose       | Атмосфера<br>Atmosphere                 |
| Волосы<br>человека<br>Human hair                                                                         | Бумага<br>Paper                          | Нейлон<br>Nylon             | Нейлон<br>Nylon                                | Казеин<br>Casein                       | Кожа<br>Skin                            |
| Овечья шерсть<br>Sheep wool                                                                              | Ацетилцеллюлоза<br>Cellulose acetate     | Шелк<br>Silk                | Вискоза<br>Viscose                             | Ацетилцеллюлоза<br>Cellulose acetate   | Кроличий мех<br>Rabbit fur              |
| Фланель<br>Flannel                                                                                       | Триацетилцеллюлоза<br>Triacetylcellulose | Вискоза<br>Viscose          | Шелк<br>Silk                                   | Стекло<br>Glass                        | Стекло<br>Glass                         |
| Слоновая кость<br>Ivory                                                                                  | Полиэтилен<br>Polyethylene               | Кожа<br>Skin                | Ацетатный шелк<br>Acetate silk                 | Сталь<br>Steel                         | Слюда<br>Mica                           |
| Перья птиц<br>Bird feathers                                                                              | Алюминий**<br>Aluminum**                 | Хлопок<br>Cotton            | Поливиниловый<br>спирт<br>Polyvinyl alcohol    | Полистирол<br>Polystyrene              | Волосы человека<br>Human hair           |
| Горный<br>хрусталь<br>Rock Crystal                                                                       | Полистирол<br>Polystyrene                | Стекло<br>Glass             | Дакрон<br>Dacron                               | Полиэтилен<br>Polyethylene             | Овечья шерсть<br>Sheep wool             |
| Шелк<br>Silk                                                                                             | Медь**<br>Cuprum**                       | Дакрон<br>Dacron            | Орлон<br>Orlon                                 | Фторопласт<br>Fluoroplastic            | Свинец**<br>Lead**                      |
| Дерево<br>Wood                                                                                           | Резина<br>Rubber                         | Орлон<br>Orlon              | Поливинилхлорид<br>Polyvinyl chloride          | Нитроцеллюлоза<br>Nitrocellulose       | Шелк<br>Silk                            |
| Янтарь<br>Amber                                                                                          |                                          | Полиэтилен<br>Polyethylene  | Полиэтилен<br>Polyethylene                     |                                        | Алюминий**<br>Aluminum**                |
|                                                                                                          |                                          | Саран<br>Saran              | Тефлон<br>Teflon                               |                                        | Бумага<br>Paper                         |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Хлопок<br>Cotton                        |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Сталь<br>Steel                          |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Дерево<br>Wood                          |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Янтарь<br>Amber                         |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Эбонит<br>Ebonite                       |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Медь**<br>Copper**                      |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Цинк**<br>Zinc**                        |
|                                                                                                          |                                          |                             |                                                |                                        | Чистый сухой<br>воздух<br>Clean dry air |
| Отрицательный конец ряда (акцепторы электронов)* / Negative terminus of the range (donors of acceptors)* |                                          |                             |                                                |                                        |                                         |

Примечание: \*Серым фоном выделены вещества, которые практически не электризуются и остаются нейтральными.

\*\*Алюминий, медь, свинец и цинк в реальных условиях покрыты оксидной плёнкой с диэлектрическими свойствами

Note: \*The gray background highlights substances that are practically not electrified and remain neutral. \*\*Aluminum, copper, lead and zinc coated with an oxide film with dielectric properties under real conditions

Произведение  $E_3 \cdot S_3$  даёт поток вектора  $E_3$  через поверхность планеты, и по теореме Гаусса можно вычислить<sup>8</sup> суммарный заряд  $Q_3$  [18, §5]:

$$E_3 \cdot S_3 = Q_3 / \epsilon_0, \quad (4)$$

где  $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная. Из (4),  $Q_3 \approx -6 \cdot 10^5$  Кл.

Благодаря атмосферным ионам (в большинстве своём – положительным), в гигантском конденсаторе планетарного масштаба (рис. 2.А) имеет место ток утечки от анода к катоду. Экспериментально установлено, что средняя плотность тока атмосферных

ионов составляет величину  $j_{атм} \approx 1$  пА/м<sup>2</sup> [18], а следовательно, характерное время  $t_p$ , через которое Земля потеряет свой заряд  $Q_3$ , оценивается из уравнения:

$$j_{атм} \cdot S_3 \cdot t_p = Q_3, \quad (5)$$

откуда  $t_p \approx 20$  мин – т.е. нейтрализация отрицательного заряда Земли током положительных атмосферных ионов должна произойти очень быстро, однако этого не происходит благодаря грозам и каплям дождя, которые постоянно поставляют на поверхность планеты отрицательные заряды: современные спутниковые данные свидетельствуют о том, что молнии на нашей планете случаются с частотой 44 сек<sup>-1</sup>, из них 75%

<sup>8</sup> Здесь и далее, формулы и вычисления соответствуют системе СИ.

происходят между грозowymi облаками, 25% достигают земной поверхности [27].

Нагретый водяной пар, поднимаясь, охлаждается и, достигает точки росы, начинает конденсироваться в капельки дистиллированной воды, обладающей хорошими диэлектрическими<sup>9</sup> свойствами:  $\epsilon_{\text{воды}} \approx 80$ . Если восходящие потоки воздуха долгое время отсутствуют, то в результате трения капелек о воздух, согласно правилу Козна, они приобретают положительный заряд и потому не могут активно сливаться друг с другом, и такие кучевые облака («облака хорошей погоды») долгое время не производят дождя (рис. 2.Б). При наличии восходящих воздушных потоков капельки воды увлекаются вверх, превращаются в кристаллики льда и скапливаются в верхней части темнеющей грозовой тучи на высоте 10–15 км, где температура опускается ниже  $-40^\circ\text{C}$ . Разрастаясь, кристаллики начинают спускаться вниз через восходящий поток капель воды. Диэлектрическая проницаемость льда  $\epsilon_{\text{льда}} \approx 73$  [27], т.е.  $\epsilon_{\text{льда}} < \epsilon_{\text{воды}}$ , поэтому спускающиеся кристаллики приобретают отрицательный заряд и, растаяв в нижней части дождево-кучевого облака на высоте  $H_{\text{обл}} \approx 1$  км, накапливают там отрицательный заряд. Кроме того, происходит дробление капель и кристалликов, в процессе чего более мелкие из них заряжаются положительно, а крупные отрицательно – это также способствует разделению зарядов и формированию потенциала  $U_{\text{обл}} \approx 1$  ГВ, представленному на рис. 2.В [17; 29].

Отрицательный заряд нижнего края грозового облака значительно превосходит отрицательный заряд Земли, поэтому в конденсаторе облако–Земля поверхность последней выступает в качестве положительной обкладки (рис. 2.В). Зная характерные размеры облака,  $S_{\text{обл}} \approx 5$  км [26; 29], можно рассчитать ёмкость такого конденсатора,  $C_{\text{обл}}$ :

$$C_{\text{обл}} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S_{\text{обл}} / H_{\text{обл}} \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ф} = 250 \text{ нФ}, \quad (6)$$

что на удивление немного (используемые в технике конденсаторы могут иметь ёмкость в 100–1000 раз больше). Однако заряд,  $Q_{\text{обл}}$ , и энергия,  $W_{\text{обл}}$ , «облачного конденсатора» получают значительными вследствие величины  $U_{\text{обл}}$ , а именно:

$$Q_{\text{обл}} = C_{\text{обл}} \cdot U_{\text{обл}} \approx 250 \text{ Кл}; \quad (7)$$

$$W_{\text{обл}} = Q_{\text{обл}} \cdot U_{\text{обл}} / 2 \approx 1,25 \cdot 10^{11} \text{ Дж} \quad (8)$$

Пробой «облачного конденсатора» и представляет собой грозу, что впервые установили американский физик В. Franklin (1750 г.), русские физики Г.В. Рихман (1752 г.) и М.В. Ломоносов (1752 г.) [15]. При этом молния – гигантский электрический искровой разряд, а гром – звуковая волна, порождаемая резким нагреванием и расширением воздуха на пути молнии.

**Сведения об электризации поверхностных покровов животных, способных к активному полёту**, имеются для двух из трёх рецетных классов, обладающих этим свойством: насекомых (Insecta L., 1758) и птиц (Aves L., 1758). Информация об электризации рукокрылых, на сегодняшний день, отсутствует.

Наиболее известным примером электризации насекомых во время полёта являются экспери-

ментальные исследования электростатического заряда медоносной пчелы (*Apis mellifera* L., 1758), которая в зависимости от метеоусловий приобретает положительный поверхностный заряд  $+1,0 \pm 0,1$  пКл [30–33]. Наивысшие значения электрического заряда отмечены у пчёл-сигнальщиц, возвратившихся в улей после длительного полёта, – до  $+80$  пКл [33; 34]. При этом внутри улья поверхность пчелы несёт либо отрицательный ( $-1,8 \pm 0,5$  пКл), либо слаболожительный заряд [32; 34]. Наличие положительного заряда столь характерно для этих насекомых, что многие цветковые растения специально накапливают на поверхности тычиночных ножек отрицательный заряд, чтобы тычинки эффективнее притягивались к телу пчелы и стряхивали на неё пыльцу [35].

Положительный электростатический заряд на поверхности летающих насекомых активно используется и для отлова вредителей сельскохозяйственных растений с помощью электроловушек, несущих отрицательный заряд [36; 37].

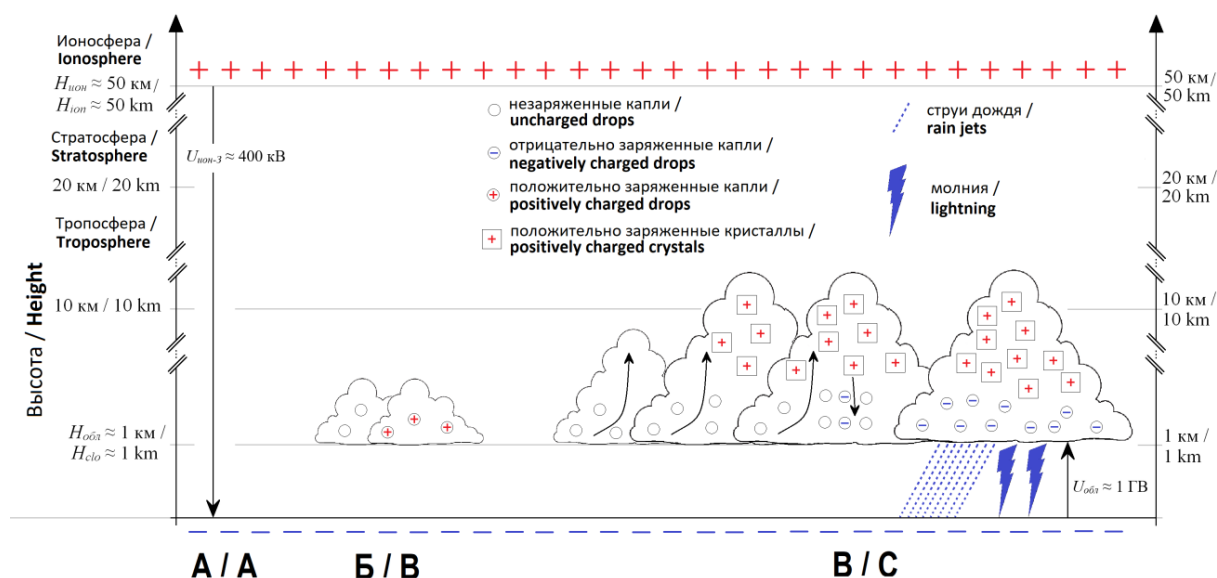
Экспериментальное изучение электризации птиц сопряжено со значительными трудностями, поскольку птицы намного крупнее насекомых, и заставить их сесть без заземления на электрометр достаточно проблематично. Тем не менее, для мелких птиц, таких, как колибри (*Trochilidae* Vigors, 1825), которые способны «зависать» в полёте, интенсивно работая крыльями, прямые измерения поверхностного электростатического заряда могут проводиться в небольших клетках. Подобного рода эксперименты показывают, что, например, на оперении колибри каллипта Анны (*Calypte anna* Lesson, 1829) в результате электризации накапливается значительный электрический заряд положительной полярности, до  $+800$  пКл [38]. Электризация оперения птиц играет роль в формировании радиоэха птиц, которое позволяет следить за миграциями птиц с помощью эхолокаторов [39; 40].

Механизм электризации насекомых и птиц, по-видимому, связан с потоком положительных атмосферных ионов (см. выше), набегающих на внешние покровы животных во время полета. Обладая более высокой подвижностью, эти ионы отнимают электроны, и поверхность тела животных заряжается положительно. Кроме того, перья и шерсть находятся ближе к положительному концу трибоэлектрического ряда, по сравнению с воздухом (табл. 1).

Летательные аппараты, представляют собой сложные технические системы, в которых различные части могут двигаться с различными скоростями (например, корпус и лопасти турбины двигателя), иметь разную температуру и электризоваться в силу различных физико-химических механизмов (особенно это касается истечения газов и частичек не до конца сгоревшего топлива из двигателя), что делает технические примеры непригодными аналогиями для целей настоящей работы.

**Электризация шерсти рукокрылых** составляет сущность электризационной гипотезы отсутствия у них вшей. Механизмы электризации предполагаются теми же, что и при электризации внешних покровов насекомых и птиц.

<sup>9</sup> В реальных условиях вода обладает проводимостью благодаря ионам растворенных в ней солей.



**Рисунок 2.** Электрические свойства атмосферы (см. объяснения в тексте): А – безоблачная погода; Б – бездождевые кучевые облака; В – дождево-кучевые (грозовые) облака  
**Figure 2.** Electrical properties of the atmosphere (see explanations in the text): А – cloudless weather; В – rainless cumulus clouds; С – rain-cumulus (thunderstorm) clouds

Размеры вшей 0,5-6,0 мм, диаметр волоса ~0,1 мм, поэтому для надежного закрепления вши необходим охват небольшой группы волос (пряди) лапками (рис. 3.А), захватывающими волосы серповидными коготками. В процессе электризации во время полета рукокрылого все волосы приобретают статический электрический заряд одного и того же положительного знака, в результате чего волосы начинают отталкиваться друг от друга, стремясь занять максимально отдаленное положение – это существенно затрудняет прикрепление насекомых к волосанному покрову (рис. 3.Б).

Электризация волосанного покрова приводит к улучшению аэродинамических свойств<sup>10</sup> животного: молекулы воздуха, обладающие диэлектрическими свойствами, стремятся «облепить» каждый волос, исключая возникновение турбулентности. Действительно, рассмотрим энергию  $W$  шара радиусом  $R$  с зарядом  $Q$  в среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Плотность энергии электрического поля,  $w$ :

$$w = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} \quad (9)$$

Напряженность электрического поля шара,  $E$ , при  $r > R$ :

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \quad (10)$$

отсюда можно рассчитать энергию шара  $W$ :

$$W = \iiint_{\xi > R} w d\xi = \frac{\epsilon \epsilon_0 Q^2}{2 \cdot 16\pi^2 \epsilon^2 \epsilon_0^2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \sin \theta d\theta \int_R^{+\infty} \frac{r^2 \sin \theta}{r^4} dr = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon\epsilon_0 R} \quad (11)$$

т.е. минимуму энергии соответствует конфигурация, когда заряженное тело окружено диэлектрической средой с как можно большей диэлектрической

проницаемостью, что и определяет притяжение диэлектрических частиц к заряженному объекту<sup>11</sup>.

Электростатический заряд скапливается и на кожных перепонках, которые занимают значительную часть тела рукокрылых. Искровые разряды, которые пробиваются между волосками и между волосками и кожными складками, доставляли бы большие неудобства насекомым. Хитиновый покров самих насекомых во время полета тоже электризуется, но накапливает иной заряд, поэтому искровой разряд имел бы место и между волосами и вшами. Это, само по себе, является объяснением отсутствия вшей у рукокрылых.

Поскольку рукокрылые являются коллективными животными, им важно сбрасывать свой электростатический заряд перед возвращением в колонию. Птицы «заземляют» свое тело при посадке на поверхность земли или водную поверхность. Насекомые избавляются от электростатического заряда после полета с помощью капелек жидкости, скапливающихся на поверхности растительности. Рукокрылые лишены такой возможности, поскольку их дневки и места зимовок находятся в пещерах или дуплах деревьев.

По-видимому, способом снятия электростатического заряда у рукокрылых является смачивание волосанного покрова и кожных перепонки обильными выделениями сальных желез<sup>12</sup>, которые у рукокрылых гипертрофированы развиты [41; 42]. У мешкокрылых летучих мышей, или футлярохвостых (*Emballonuridae* Gervais, 1856), на летательной перепонке имеются специальные железистые мешки, в

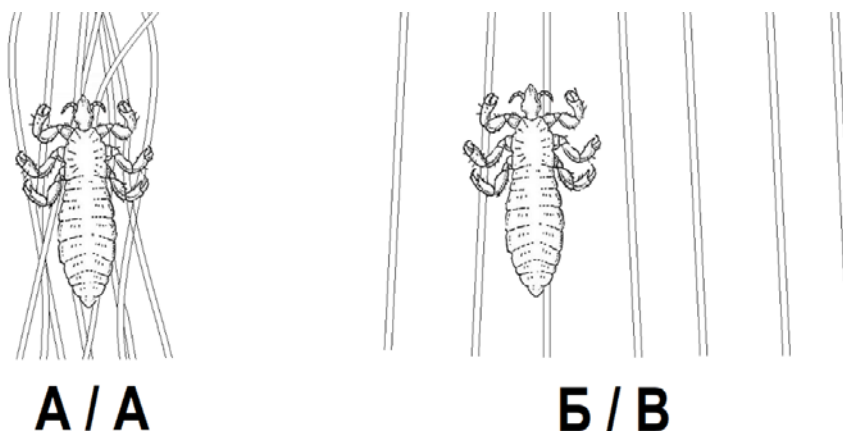
<sup>11</sup> Хорошо известный эксперимент, иллюстрирующий это положение: если потереть пластмассовую ручку о волосы, то она начнет притягивать к себе пыль и кусочки бумаги.

<sup>12</sup> Как известно, наиболее простым способом избавления от статического электричества является смачивание поверхности не дистиллированной водой, представляющей собой проводник. Например, электростатический заряд на одежде можно легко снять, проведя по ней влажной рукой.

которых скапливается жировой секрет, которым животные могут опрыскивать поверхность своего тела, чтобы избавиться от статистического заряда. Возможно, именно для удержания секрета на поверхности волосяного покрова кутикула рукокрылых имеет

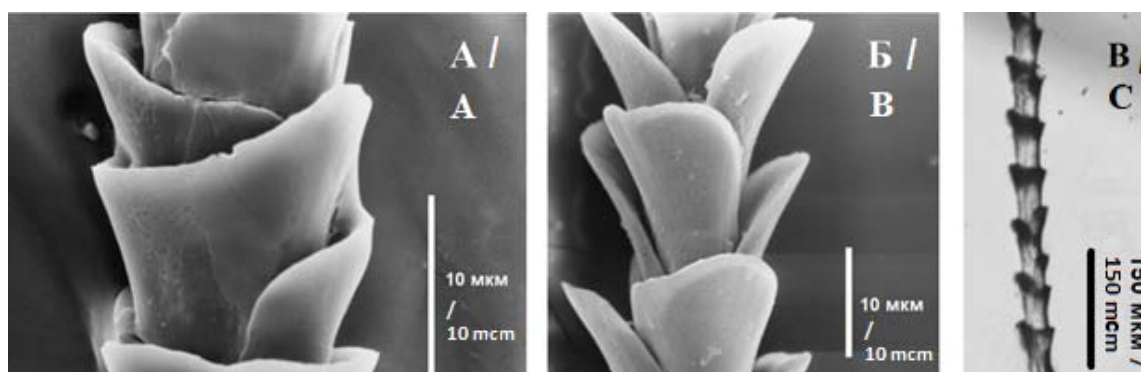
характерную раструбную форму (рис. 4), которая до сих пор не имела конструктивного объяснения [43-45].

Раструбный тип кутикулы, периодически обильно смачиваемой выделениями сальных желез, является дополнительным препятствием для обитания вшей на рукокрылых.



**Рисунок 3.** Прикрепление вшей к волосяному покрову хозяина: А – одновременно к нескольким волосам в пряди при отсутствии электризации; Б – к ограниченному числу волос при их электризации

**Figure 3.** Attachment of lice to the host's hair: A – simultaneously to several hairs of strand in the absence of electrification; B – to a limited number of hairs under their electrification



**Рисунок 4.** Кутикула волос рукокрылых (по данным [43-45]): А – малый мускусный крылан (*Ptenochirus minor* Yoshiyuki, 1979); Б – ангольская летучая собака (*Rousettus angolensis* Bocage, 1898); В – восточный нетопыр (*Pipistrellus abramus* Temminck, 1840)

**Figure 4.** Hair cuticle of bats (according to [43-45]): А – Lesser musky fruit bat (*Ptenochirus minor* Yoshiyuki, 1979); Б – Angolan rousette (*Rousettus angolensis* Bocage, 1898); В – Japanese common pipistrelle (*Pipistrellus abramus* Temminck, 1840)

В отличие от вшей, другие эктопаразиты рукокрылых – иксодовые клещи (*Ixodidae* Koch, 1844), аргасовые клещи (*Argasidae* Koch, 1844), гамазовые клещи (*Gamasina* Kramer, 1881), краснотелковые клещи (*Trombiculidae* Ewing, 1929), хейлетиелловые клещи (*Cheyletiellinae* Volgin, 1966), мухи-кровососки (*Nycteribiidae* Samouelle, 1819) – являются временными паразитами и большую часть времени могут проводить в естественных укрытиях своих прокормителей, а потому электризация не оказывает на них исключительного воздействия. Вдобавок, вши питаются всего несколько минут несколько раз в сутки, в то время период питания других эктопаразитов рукокрылых составляет более продолжительное время, и в течение этого периода паразиты связаны пищеварительным каналом с внутренней средой прокормителя, что приводит к выравниванию потенциалов паразита и прокормителя.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гипотеза об отсутствии вшей у рукокрылых вследствие электризации поверхности их тел во время полета не только согласуется с имеющимися в настоящее время физическими представлениями о трибоэлектрических явлениях и атмосферном электричестве, но и одновременно дает объяснение наличию у рукокрылых гипертрофировано развитых потовых желез и раструбной структуре волосяной кутикулы. Поверхностный электростатический заряд должен влиять на радиоэхо рукокрылых в полёте – учёт этого эффекта может открыть новые перспективы наблюдения за этими животными, ведущими активный ночной образ жизни, анализа их популяционной структуры и перемещений, что имеет не только зоологическое, но и эколого-вирусологическое значение, учитывая важную роль рукокрылых как природного резервуара большого количества вирусов.

**БЛАГОДАРНОСТЬ**

Данная статья является переработанной версией доклада по выбору на кафедре общей физики Московского физико-технического института – автор выражает искреннюю признательность всему коллективу кафедры (заведующий д.ф.-м.н., профессор А.В. Максимычев), и, в первую очередь, д.ф.-м.н. С.Л. Кленову и к.ф.-м.н. П.В. Попову.

**ACKNOWLEDGMENT**

This article is a revised version of a paper given to the Department of General Physics of the Moscow Institute of Physics and Technology – the author expresses his sincere gratitude to the entire staff of the Department (head Dr.Sc., Professor A.V. Maksimych, and, first of all, to Dr.Sc. S.L. Klenov and Ph.D. P.V. Popov).

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Балашов Ю.С. Паразито-хозяйные отношения членистоногих с наземными позвоночными. Ленинград: Наука, 1982. 320 с.
2. Лопатина Ю.В., Олифер В.В. Вши человека и их медицинское значение // РЭТ-инфо. 2006. N 4. С. 19-25.
3. Entomology. The Edinburgh Encyclopaedia. Vol. 9. D. Brewster (ed.) Edinburgh: Blackwood, 1815. 766 p.
4. Благоевский Д.И. Вши (Siphunculata) домашних животных. Москва–Ленинград: АН СССР, 1960. 87 с.
5. Saegerman C., Bonnet S., Bouhsira E., De Regge N., Fite J., Etoré F., Garigliany M.M., Jori F., Lempereur L., Le Potier M.F., Quillery E., Vergne T., Vial L. An expert opinion assessment of blood-feeding arthropods based on their capacity to transmit African swine fever virus in Metropolitan France // Transboundary Emerging Diseases. 2020. DOI: 10.1111/tbed.13769
6. Da Silva A.S., Lopes L.S., Diaz J.D., Tonin A.A., Stefani L.M., Araújo D.N. Lice outbreak in buffaloes: evidence of Anaplasma marginale transmission by sucking lice Haematopinus tuberculatus // Journal of Parasitology. 2013. V. 99. N 3. P. 546-477. DOI: 10.1645/GE-3260.1
7. Reed D.L., Light J.E., Allen J.M., Kirchman J.J. Pair of lice lost or parasites regained: the evolutionary history of anthropoid primate lice // BMC Biology. 2007. N 5. Article number: 7. DOI: 10.1186/1741-7007-5-7
8. Wang W., Weaver H.J., Song F., Durden L.A., Shao R. A new species of sucking louse *Hoplopleura villosissima* n.sp. (Psocodea: Phthiraptera: Hoplopleuridae) and a new host record of the spiny rat louse *Polyplax spinulosa* Burmeister, 1839 (Psocodea: Phthiraptera: Polyplacidae) from the long-haired rat *Rattus villosissimus* Waite (Rodentia: Muridae) in Australia // Parasites and Vectors. 2018. V. 11. N 1. Article number: 476. DOI: 10.1186/s13071-018-3037-8
9. Щелканов Е.М. Экология нового вида колющих вшей *Antarctophthirus nevelskoyi* на острове Тюлений в акватории Охотского моря // Материалы 61-ой Всероссийской научной конференции МФТИ «Биологическая и медицинская физика», Москва–Долгопрудный–Жуковский, Московская обл., Россия, 19-25 ноября, 2018. С. 52-54.
10. Durden L.A., Rausch R.L. *Haemodipsus brachylagi* n. sp. (Phthiraptera: Anoplura: Polyplacidae), a new sucking louse from the pygmy rabbit in Nevada // Journal of Parasitology. 2007. V. 93. N 2. P. 247-251. DOI: 10.1645/GE-1027R.1
11. Durden L.A., Eckerlin R.P. *Polyplax guatemalensis* sp. n. (Phthiraptera: Anoplura), a new sucking louse from *Peromyscus grandis*, a montane cloud forest rodent from Guatemala // Folia Parasitologica (Praha). 2001. V. 48. N 1. P. 69-72. DOI: 10.14411/fp.2001.010
12. Durden L.A., Gomez M.S. *Abrocomaphthirus chilensis* (Gomez), new combination (Phthiraptera-Anoplura), an ectoparasite of the Chilean rodent *Abrocoma bennetti* (Abrocomidae) // Parasite. 2000. V. 7. N 4. P. 331-332. DOI: 10.1051/parasite/2000074331
13. Балашов Ю.С. Специфичность паразито-хозяйных связей членистоногих с наземными позвоночными // Паразитология. 2001. Т. 35. N 6. С. 473-489.
14. Leidenberger S., Harding K., Härkönen T. Phocid seals, seal lice and heartworms: a terrestrial host-parasite system conveyed to the marine environment // Diseases of Aquatic Organisms. 2007. V. 77. P. 235-253. DOI: 10.3354/dao01823
15. Кудрявцев П.С. История физики. Т. 1. От древности до Менделеева. Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1956. 570 с.
16. Ашкинази Л.А. Что же такое электризация трением? // Квант. 1985. N 6. С. 16-19.
17. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм. Москва: Мир, 1977. 300 с.
18. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. Москва: Наука, 1977. 704 с.
19. Smithsonian Physical Tables. Washington, Smithsonian Institution, 1951. 322 p.
20. Henry P.S. Survey of generation and dissipation of static electricity // British Journal of Applied Physics. 1953. V. 4. Suppl. 2. P. S6-S10.
21. Ballou J.W. Static electricity in textiles // Textile Research Journal. 1954. V. 24. N 2. P. 146-155. DOI: 10.1177/004051755402400209
22. Hersh S.P., Montgomery D.J. Static electrification of filaments: Experimental techniques and results // Textile Research Journal. 1955. V. 25. N 4. P. 279-295. DOI: 10.1177/004051755502500401
23. Rose G.S., Ward S.G. Contact electrification across metal-dielectric and dielectric-dielectric interfaces // British Journal of Applied Physics. 1957. V. 8. N 13. P. 121-126.
24. Loeb L. Static electrification. Berlin: Springer-Verlag, 1958. 400 p.
25. Coehn A. Über ein Gesetz der Electricitätserregung // Annalen der Physik und Chemie. 1898. V. 64. P. 217-232.
26. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1949. 252 с.
27. Where Lightning Strikesю NASA Science. URL: [https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec\\_1/](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec_1/) (дата обращения: 29.12.2020)
28. Алексеев В.Р., Волков Н.В., Втюрин Б.И., Втюрина Е.А., Гросвальд М.Г., Донченко Р.В., Дюнин А.К., Канаев Л.А., Котляков В.М., Кренке А.Н., Лосев К.С., Перов В.Ф., Цуриков В.Л. Гляциологический словарь. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. 564 с.
29. Тарасов Л.В. Ветры и грозы в атмосфере Земли. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 280 с.
30. Erickson E.H. Surface electric potentials on worker honeybees leaving and entering the hive // Journal of Apicultural Research. 1975. V. 14. P. 141-147. DOI: 10.1080/00218839.1975.11099818
31. Vaknin Y., Gan-Mor S., Bechar A., Ronen B., Eiskowitch D. The role of electrostatic forces in pollination // Plant Systematics and Evolution. 2000. V. 222. P. 133-142. DOI: 10.1007/BF00984099
32. Еськов Е.К., Сапожников А.М. Об отношении пчёл к электрическому полю // Известия Академии наук СССР, серия Биологическая. 1979. N 3. С. 395-400.
33. Еськов Е.К. Этология медоносной пчелы. Москва: Колос, 1992. 336 с.

34. Еськов Е.К. Использование статического электричества в коммуникациях пчел // Пчеловодство. 2020. N 5. С. 14-17.
35. Clarke D., Morley E., Robert D. The bee, the flower, and the electric field: electric ecology and aerial electroreception // Journal of comparative physiology. A. Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology. 2017. V. 203. N 9. P. 737-748. DOI: 10.1007/s00359-017-1176-6
36. Kakutani K., Matsuda Y., Haneda K., Sekoguchi D., Nonomura T., Kimbara J., Osamura K., Kusakari S.-I., Toyoda H. An electric field screen prevents captured insects from escaping by depriving bioelectricity generated through insect movements // Journal of Electrostatics. 2012. V. 70. P. 207-211.
37. Kusakari S.I., Okada K., Shibao M., Toyoda H. High voltage electric fields have potential to create new physical pest control systems // Insects. 2020. V. 11. N 7. 447 p. DOI: 10.3390/insects11070447
38. Badger M., Ortega-Jimenez V.M., von Rabenau L., Smiley A., Dudley R. Electrostatic charge on flying Hummingbirds and its potential role in pollination // PLoS One. 2015. V. 10. N 9. e0138003. DOI: 10.1371/journal.pone.0138003
39. Мацюра А.В. Радиолокационные орнитологические наблюдения: краткий обзор стационарных и мобильных комплексов // Acta Biologica Sibirica. 2015. T. 1. N 3-4. С. 118-147.
40. Якоби В.Э., Небабин В.Г. Радиолокация птиц: методические и практические аспекты. Москва: Наука, 1986. 111 с.
41. Кузякин А.П. Летучие мыши (систематика, образ жизни и польза для сельского и лесного хозяйства). Москва: Государственное издательство «Советская наука», 1950. 444 с.
42. Курсков А.Н. Рукокрылые охотники. Москва: Лесная промышленность, 1978. 136 с.
43. Lee E., Choi T.Y., Woo D., Min M.S., Sugita S., Lee H. Species identification key of Korean mammal hair // Journal of Veterinary Medical Science. 2014. V. 76. N 5. P. 667-675. DOI: 10.1292/jvms.13-056
44. Чернова О.Ф. Архитектоника волос и её диагностическое значение. Теоретические основы современных методов экспертного исследования. Пособие для экспертов, следователей и судей. Москва: РФЦСЭ, 2003. 51 с.
45. Чернова О.Ф. Строение кутикулы остевых волос крыланов (Chiroptera, Pteropodidae) // Доклады Академии наук. 2002. T. 382. N 3. С. 425-429.
46. Da Silva A.S., Lopes L.S., Diaz J.D., Tonin A.A., Stefani L.M., Araújo D.N. Lice outbreak in buffaloes: evidence of Anaplasma marginale transmission by sucking lice Haematopinus tuberculatus. Journal of Parasitology, 2013, vol. 99, no. 3, pp. 546-477. DOI: 10.1645/GE-3260.1
47. Reed D.L., Light J.E., Allen J.M., Kirchman J.J. Pair of lice lost or parasites regained: the evolutionary history of anthropoid primate lice. BMC Biology, 2007, no. 5, Article number: 7. DOI: 10.1186/1741-7007-5-7
48. Wang W., Weaver H.J., Song F., Durden L.A., Shao R. A new species of sucking louse *Hoplopleura villosissima* n.sp. (Psocodea: Phthiraptera: Hoplopleuridae) and a new host record of the spiny rat louse *Polyplax spinulosa* Burmeister, 1839 (Psocodea: Phthiraptera: Polyplacidae) from the long-haired rat *Rattus villosissimus* Waite (Rodentia: Muridae) in Australia. Parasites and Vectors, 2018, vol. 11, no. 1, article number: 476. DOI: 10.1186/s13071-018-3037-8
49. Shchelkanov E.M. Ekologiya novogo vida kolyuchikh vshei Antartophtirus nevelskoyi na ostrove Tyulenii v akvatorii Okhotskogo morya [Ecology of a new species of prickly lice Antartophtirus nevelskoyi on the island of Seals in the Sea of Okhotsk]. Materialy 61-oi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii MFTI «Biologicheskaya i meditsinskaya fizika», Moskva-Dolgoprudnyi-Zhukovskii, Moskovskaya obl., Rossiya, 19-25 noyabrya, 2018 [Proceedings of the 61st All-Russian Scientific Conference of MIPT "Biological and Medical Physics", Moscow-Dolgoprudny-Zhukovsky, Moscow region, Russia, 19-25 November 2018]. Dolgoprudny, 2018, pp. 52-54. (In Russian)
50. Durden L.A., Rausch R.L. *Haemodipsus brachylagi* n. sp. (Phthiraptera: Anoplura: Polyplacidae), a new sucking louse from the pygmy rabbit in Nevada. Journal of Parasitology, 2007, vol. 93, no. 2, pp. 247-251. DOI: 10.1645/GE-1027R.1
51. Durden L.A., Eckerlin R.P. *Polyplax guatemalensis* sp. n. (Phthiraptera: Anoplura), a new sucking louse from *Peromyscus grandis*, a montane cloud forest rodent from Guatemala. Folia Parasitologica (Praha), 2001, vol. 48, no. 1, pp. 69-72. DOI: 10.14411/fp.2001.010
52. Durden L.A., Gomez M.S. *Abrocomaphthirus chilensis* (Gomez), new combination (Phthiraptera-Anoplura), an ectoparasite of the Chilean rodent *Abrocoma benettii* (Abrocomidae). Parasite, 2000, vol. 7, no. 4, pp. 331-332. DOI: 10.1051/parasite/2000074331
53. Balashov Yu.S. A specificity of host-parasite relations between arthropods and terrestrial vertebrates. Parazitologiya [Parasitology]. 2001, vol. 35, no. 6, pp. 473-289. (In Russian)
54. Leidenberger S., Harding K., Härkönen T. Phocid seals, seal lice and heartworms: a terrestrial host-parasite system conveyed to the marine environment. Diseases of Aquatic Organisms, 2007, vol. 77, pp. 235-253. DOI: 10.3354/dao01823
55. Kudryavtsev P.S. Istoriya fiziki. Ot drevnosti do Mendeleeva [The history of physics. From ancient times until Mendeleev]. Moscow, State Educational and Pedagogical Publishing House of the Ministry of Education of the RSFR, 1956, vol. 1, 570 p. (In Russian)
56. Ashkinazi L.A. What is friction electrification? Kvant [Quantum]. 1985, no. 6, pp. 16-19. (In Russian)
57. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feinmanovskie lektzii po fizike. Elektrichestvo i magnetizm [The Feynman lectures on physics. Electricity and Magnetism]. Moscow, Mir Publ., 1977, vol. 5, 300 p. (In Russian)
58. Sivukhin D.V. Obshchii kurs fiziki. Elektrichestvo [General Course of Physics. Electricity]. Moscow, Nauka Publ., 1977, vol. 3, 704 p. (In Russian)
59. Smithsonian Physical Tables. Washington, Smithsonian Institution, 1951, 322 p.

## REFERENCES

1. Balashov Yu.S. Parazito-khozyainnye otnosheniya chlenistonogikh s nazemnymi pozvonochnymi [Parasite-host relationships of arthropods with terrestrial vertebrates]. Leningrad, Nauka Publ., 1982, 320 p. (In Russian)
2. Lopatina Yu.V., Olifer V.V. Louse and their medical significance. RAT-info [RAT-info]. 2006, no. 4, pp. 19-25. (In Russian)
3. Brewster D., ed. Entomology. The Edinburgh Encyclopaedia. Edinburgh, Blackwood, 1815, vol. 9, 766 p.
4. Blagoveshtchensky D.I. Vshy (*Siphunculata*) domashnykh zhivotnykh [Louse (*Siphunculata*) of domestic animals]. Moscow-Leningrad, Academy of Sciences of Soviet Union Publ., 1960, 87 p. (In Russian)
5. Saegerman C., Bonnet S., Bouhsira E., De Regge N., Fite J., Etoré F., Garigliany M.M., Jori F., Lempereur L., Le Potier M.F., Quillery E., Vergne T., Vial L. An expert opinion assessment of blood-feeding arthropods based on their capacity to transmit African swine fever virus in Metropolitan France. Transboundary Emerging Diseases, 2020. DOI: 10.1111/tbed.13769

20. Henry P.S. Survey of generation and dissipation of static electricity. *British Journal of Applied Physics*. 1953, vol. 4, suppl. 2, pp. S6-S10.
21. Ballou J.W. Static electricity in textiles. *Textile Research Journal*, 1954, vol. 24, no. 2, pp. 146-155. DOI: 10.1177/004051755402400209
22. Hersh S.P., Montgomery D.J. Static electrification of filaments: Experimental techniques and results. *Textile Research Journal*, 1955, vol. 25, no. 4, pp. 279-295. DOI: 10.1177/004051755502500401
23. Rose G.S., Ward S.G. Contact electrification across metal-dielectric and dielectric-dielectric interfaces. *British Journal of Applied Physics*. 1957, vol. 8, no. 13, pp. 121-126.
24. Loeb L. Static electrification. Berlin, Springer-Verlag, 1958, 400 p.
25. Coehn A. Über ein Gesetz der Electricitätserregung. *Annalen der Physik und Chemie*. 1898, vol. 64, pp. 217-232.
26. Tverskoy P.N. *Atmosfernoe elektrichestvo* [Atmospheric electricity]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1949, 252 p. (In Russian)
27. Where Lightning Strikesю NASA Science. Available at: [https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec\\_1/](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec_1/) (accessed 29.12.2020)
28. Alekseev V.R., Volkov N.V., Vtyurin B.I., Vtyurina E.A., Grosval'd M.G., Donchenko R.V., Dyunin A.K., Kanaev L.A., Kotlyakov V.M., Krenke A.N., Losev K.S., Perov V.F., Tsurikov V.L. *Glyatsiologicheskii slovar* [Glaciological Dictionary]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1984, 564 p. (In Russian)
29. Tarasov L.V. *Vetry i grozy v atmosfere Zemli* [Winds and thunderstorms in the Earth's atmosphere]. Dolgoprudny, Intellect Publ., 2011, 280 p. (In Russian)
30. Erickson E.H. Surface electric potentials on worker honeybees leaving and entering the hive. *Journal of Apicultural Research*, 1975, vol. 14, pp. 141-147. DOI: 10.1080/00218839.1975.11099818
31. Vaknin Y., Gan-Mor S., Bechar A., Ronen B., Eisikowitch D. The role of electrostatic forces in pollination. *Plant Systematics and Evolution*, 2000, vol. 222, pp. 133-142. DOI: 10.1007/BF00984099
32. Es'kov E.K., Sapozhnikov A.M. On the relation of bees to the electric field. *Izvestiya Akademii nauk SSSR, seriya Biologicheskaya* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, series of Biological]. 1979, no. 3, pp. 395-400. (In Russian)
33. Es'kov E.K. *Etologiya medonosnoi pchely* [Ethology of the honey bee]. Moscow, Kolos Publ., 1992, 336 p. (In Russian)
34. Es'kov E.K. The use of static electricity in the communication of bees. *Pchelovodstvo* [Beekeeping]. 2020, no. 5, pp. 14-17. (In Russian)
35. Clarke D., Morley E., Robert D. The bee, the flower, and the electric field: electric ecology and aerial electroreception. *Journal of comparative physiology. A. Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*, 2017, vol. 203, no. 9, pp. 737-748. DOI: 10.1007/s00359-017-1176-6
36. Kakutani K., Matsuda Y., Haneda K., Sekoguchi D., Nonomura T., Kimbara J., Osamura K., Kusakari S.-I., Toyoda H. An electric field screen prevents captured insects from escaping by depriving bioelectricity generated through insect movements. *Journal of Electrostatics*. 2012, vol. 70, pp. 207-211.
37. Kusakari S.I., Okada K., Shibao M., Toyoda H. High voltage electric fields have potential to create new physical pest control systems. *Insects*, 2020, vol. 11, no. 7, p. 447. DOI: 10.3390/insects11070447
38. Badger M., Ortega-Jimenez V.M., von Rabenau L., Smiley A., Dudley R. Electrostatic charge on flying Hummingbirds and its potential role in pollination. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 9, p. e0138003. DOI: 10.1371/journal.pone.0138003
39. Matsuyura A.V. Radar ornithological observations: a brief overview of stationary and mobile complexes. *Acta Biologica Sibirica* [Acta Biologica Sibirica]. 2015, vol. 1, no. 3-4, pp. 118-147. (In Russian)
40. Yakobi V.E., Nebabin V.G. *Radiolokatsiya ptits: metodicheskie i prakticheskie aspekty* [Bird radar: methodological and practical aspects]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 111 p. (In Russian)
41. Kuzyakin A.P. *Letuchie myshi (sistematika, obraz zhizni i pol'za dlya sel'skogo i lesnogo khozyaistva)* [Bats (taxonomy, lifestyle and benefits for agriculture and forestry)]. Moscow, Sovetskaya Nauka Publ., 1950, 444 p. (In Russian)
42. Kurskov A.N. *Rukokrylye okhotniki* [Bat hunters]. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1978, 136 p. (In Russian)
43. Lee E., Choi T.Y., Woo D., Min M.S., Sugita S., Lee H. Species identification key of Korean mammal hair. *Journal of Veterinary Medical Science*, 2014, vol. 76, no. 5, pp. 667-675. DOI: 10.1292/jvms.13-056
44. Chernova O.F. *Arkhitektonika volos i ee diagnosticheskoe znachenie. Teoreticheskie osnovy sovremennykh metodov ekspertnogo issledovaniya. Posobie dlya ekspertov, sledovatelei i sudei* [Hair architectonics and its diagnostic significance. Theoretical foundations of modern methods of expert research. Handbook for experts, investigators and judges]. Moscow, RFCSE Publ., 2003, 51 p. (In Russian)
45. Chernova O.F. Structure of the cuticle of the fruit bat (Chiroptera, Pteropodidae) guard hairs. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences]. 2002, vol. 382, no. 3, pp. 425-429. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Егор М. Щелканов придумал идею статьи, работал с научной литературой, написал рукопись. Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Egor M. Shchelkanov conceived the idea of the study, worked with the scientific literature and wrote the article. The author is responsible for plagiarism and self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

#### ORCID

Егор М. Щелканов / Egor M. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

Оригинальная статья / Original article

УДК:576.8

DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-17-25

## ***Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp. (Anoplura: Echinophthiriidae) – новый вид-паразит северного морского котика (*Callorhinus ursinus* L., 1758) на о. Тюлений (Охотское море, Россия)**

**Михаил Ю. Щелканов<sup>1,2,3,4</sup>, Егор М. Щелканов<sup>2,5</sup>, Татьяна В. Москвина<sup>2,4</sup>**<sup>1</sup>Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия<sup>3</sup>Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского, Владивосток, Россия<sup>4</sup>НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова Роспотребнадзора, Владивосток, Россия<sup>5</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская область, Россия

### **Контактное лицо**

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

### **Формат цитирования**

Щелканов М.Ю., Щелканов Е.М., Москвина Т.В. *Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp. (Anoplura: Echinophthiriidae) – новый вид-паразит северного морского котика (*Callorhinus ursinus* L., 1758) на о. Тюлений (Охотское море, Россия) // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 17-25. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-17-25

Получена 26 октября 2020 г.

Прошла рецензирование 4 декабря 2020 г.

Принята 19 января 2021 г.

### **Резюме**

**Цель.** Провести морфологическое исследование колючих вшей (Anoplura: Echinophthiriidae) рода *Antarctophthirus* Enderlein, 1906, снятых с северных морских котиков (*Callorhinus ursinus* L., 1758) на о. Тюлений (Охотское море, Россия).

**Материал и методы.** Колючие вши были собраны из носовых ходов щенков северного морского котика *C. ursinus* во время плановой эколого-вирусологической экспедиции на о. Тюлений в августе 2017 г. Четырнадцать образцов колючих вшей (11 самцов имаго, 1 самка имаго, 1 нимфа 2-го возраста, 1 нимфа 3-го возраста) хранились в 70%-ом этиловом спирте при комнатной температуре с момента сбора до начала исследования. Морфологические особенности насекомых были исследованы с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии и сопоставлены с имеющимися данными научной литературы.

**Результаты.** У обследованных образцов обнаружены уникальные паттерны расположения щетинок, что для представителей данного семейства является достаточным видовым признаком и позволяет идентифицировать новый вид колючих вшей.

**Заключение.** Описан новый вид колючих вшей – *Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp. – названный в честь знаменитого русского исследователя Дальнего Востока адмирала Геннадия Ивановича Невельского (1813-1876).

### **Ключевые слова**

Колючие вши, Echinophthiriidae, *Antarctophthirus*, *Antarctophthirus nevelskoyi*, северный морской котик, *Callorhinus ursinus*, остров Тюлений, Охотское море.

# ***Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp. (Anoplura: Echinophthiriidae) – a new species of parasite of the Northern fur seal (*Callorhinus ursinus* L., 1758) at Tyuleniy Island, Okhotsk Sea, Russia**

Mikhail Yu. Shchelkanov<sup>1,2,3,4</sup>, Egor M. Shchelkanov<sup>2,5</sup> and Tatyana V. Moskvina<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Centre of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

<sup>3</sup>A.V. Zhirmunsky National Scientific Centre of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

<sup>4</sup>G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Russian Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Vladivostok, Russia

<sup>5</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow region, Russia

## **Principal contact**

Mikhail Yu. Shchelkanov, Doctor of Sciences in Biology, Chief, Laboratory of Virology, Federal Scientific Centre of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 159/1 Pr Stoletiya Vladivostoku, Vladivostok, Russia 690022; Chief of the Laboratory of Microorganism Ecology, International Scientific and Educational Centre for Biological Security, School of Biomedicine, Far Eastern Federal University; 8 Sukhanova St, Vladivostok, Russia 690091; Lead Researcher, Laboratory of Marine Mammals, National Scientific Centre of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences; 17 Palchevskogo St, Vladivostok, Russia 690041; Head, G.P. Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare; 1 Selskaya St, Vladivostok, Russia 690087.  
Tel. +79245297109  
Email [adorob@mail.ru](mailto:adorob@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

## **How to cite this article**

Shchelkanov M.Yu., Shchelkanov E.M., Moskvina T.V. *Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp. (Anoplura: Echinophthiriidae) – a new species of parasite of the Northern fur seal (*Callorhinus ursinus* L., 1758) at Tyuleniy Island, Okhotsk Sea, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 17-25. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-17-25

Received 26 October 2020

Revised 4 December 2020

Accepted 19 January 2021

## **Abstract**

**Aim.** To perform a morphological study of seal lice (Anoplura: Echinophthiriidae) of the genus *Antarctophthirus* Enderlein, 1906 taken from Northern fur seals (*Callorhinus ursinus* L., 1758) at Tyuleniy Island, Okhotsk Sea, Russia).

**Material and Methods.** Seal lice were collected from the nasal passages of Northern fur seal *C. ursinus* pups during a scheduled ecological and virological expedition to Tyuleniy Island in August 2017. Fourteen samples of seal lice (11 imago males, 1 imago female, 1 nymph of the 2nd age, 1 nymph of the 3rd age) were stored in 70% ethanol at room temperature from the time of collection until the start of the study. Morphological features of the insects were studied using light and scanning electron microscopy and compared with the available data in the scientific literature.

**Results.** Unique patterns of the arrangement of spines were found in the examined samples that is a sufficient species feature for representatives of this family and allows the identification of a new species of seal lice.

**Conclusion.** A new species of seal lice, *Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp., was identified and described and named after the famous Russian explorer of the Far East, Admiral Gennady Ivanovich Nevelskoy (1813-1876).

## **Key Words**

Seal lice, Echinophthiriidae, *Antarctophthirus*, *Antarctophthirus nevelskoyi*, Northern fur seal, *Callorhinus ursinus*, Tyuleniy Island, Okhotsk Sea.

**ВВЕДЕНИЕ**

Семейство Echinophthiriidae Enderlein, 1904 включает в себя уникальные по уровню своей экологической пластичности виды вшей (*Phthiraptera* Naeckel, 1896; *Anoplura* Leach, 1815), паразитирующих на ластоногих – морских млекопитающих: ушастых (*Otariidae* Gray, 1825) и настоящих (*Phocidae* Gray, 1821) тюленях и моржах (*Odobenidae* Allen, 1880) – а также на речных выдрах (*Lutra lutra* L., 1758). Представители этого семейства имеют синонимичное название «колющие вши», поскольку их тело (особенно бокаловидное брюшко) покрыто чешуевидными уплощенными щетинками, напоминающими шипы – в них задерживаются пузырьки воздуха. Предпочтительное место прикрепления эхинофтирид – носовые ходы прокормителей: поскольку ластоногие рефлекторно схлопывают ноздри при нырянии, колющие вши оказываются в безопасной воздушной полости [1; 2]. Колющие вши представляют собой один из трёх известных примеров адаптации насекомых к обитанию в морской воде [2].

К настоящему времени описано 13 видов колющих вшей, сгруппированных в 5 родов: *Antarctophthirus* Enderlein, 1906 (7 видов), *Echinophthirus* Giebel, 1871 (1), *Latagophthirus* Kim et Emerson, 1974 (1), *Lepidophthirus* Enderlein, 1904 (2), *Proechinophthirus* Ewing, 1923 (2). Род *Antarctophthirus* является наиболее разнообразными и включает *A. callorhini* Osborn, 1899, обнаруженного на северном морском котике (*Callorhinus ursinus* L., 1758); *A. carlinii* Leonardi et al, 2014 – на тюлене Уэдделла (*Leptonychotes weddelli* Gill, 1872); *A. lobodontis* Enderlein, 1906 – на тюлене-крабоеде (*Lobodon carcinophagus* Hombron et Jacquinot, 1842); *A. mawsoni* Harrison, 1937 – на тюлене Росса (*Ommatophoca rossii* Gray, 1844); *A. microchir* Trouessart et Neumann, 1888 – на сивуче (*Eumetopias jubatus* Schreber, 1776), калифорнийском морском льве (*Zalophus californicus* Lesson, 1828), южном морском льве (*Otaria bryonia* Peron, 1816), новозеландском морском льве (*Phocarctos hookeri* Peters, 1866), австралийском морском льве (*Neophoca cinerea* Peron, 1816); *A. ogmorhini* Enderlein, 1909 – на морском леопарде (*Hydrurga leptonyx* Blainville, 1820), тюлене Уэдделла (*Leptonychotes weddelli* Gill, 1872); *A. trichechi* Bohemann, 1865 – на морже (*Odobenus rosmarus* L., 1758) [1; 2].

В данной работе дано описание имаго (самца и самки) и нимф первого и второго возраста нового вида колющих вшей, обнаруженных у северных морских котиков на о. Тюлений (Охотское море, Россия). Новый вид получил название *Antarctophthirus nevelskoyi*.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Колющие вши были собраны из носовых полостей северных морских котиков во время плановой эколого-вирусологической экспедиции на о. Тюлений в акватории Охотского моря близ сахалинского м. Терпения в августе 2017 г. Щенки северного морского котика были отловлены спящими, фиксировались в неподвижном состоянии руками двух исследователей, и колющие вши осторожно отбирались со слизистой оболочки носовых ходов энтомологическим пинцетом с предварительно скруглёнными браншами, чтобы не нанести механических повреждений животным. В данном исследовании были использованы 14 особей

паразитических насекомых (11 самцов имаго, 1 самка имаго, 1 нимфа 2-го возраста, 1 нимфа 3-го возраста), снятые с 4 щенков *C. ursinus*. Сразу после сбора насекомые были помещены в 70%-ый этиловый спирт, где и хранились вплоть до использования в эксперименте. Собранные образцы были депонированы в Дальневосточный Банк биологических материалов (FEBBM – Far Eastern Bank of biological materials), функционирующий на базе лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Владивосток, Россия) [3].

Перед применением метода световой микроскопии образцы обрабатывали 20%-ым водным раствором гидроксида калия (KOH) в течение 24 ч, после чего KOH удаляли и заменяли сначала дистиллированной водой на 30 мин, а затем 10%-ым водным раствором уксусной кислоты, которая нейтрализовала оставшуюся щелочь, останавливая мацерацию, и предотвращает повреждение тканей. Образцы были обезвожены в батарее спиртов 70%, 80%, 90% и 96% (по 30 мин для каждого раствора). После обезвоживания спирт заменяли чистым гвоздичным маслом в течение 24 ч. После этого насекомых помещали на предметное стекло с несколькими каплями канадского бальзама и выравнивали покровным стеклом. Фотографии и измерения были выполнены с использованием программного обеспечения Axio Vision. Рисунок взрослых особей был составлен из серии фотографий. Размеры самцов имаго (11 особей) представлены в формате: среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение; размеры самок имаго и нимф представлены без стандартного отклонения (по 1 особи).

Для сканирующей электронной микроскопии образцы (3 имаго и 2 нимфы) были обезвожены в батарее спиртов 70%, 80%, 90% и 96% (по 30 мин для каждого раствора) и покрыты золотым напылением. Образцы исследовали в растровом электронном микроскопе S-4100 Центра коллективного пользования Национального научного Центра морской биологии ДВО РАН (Владивосток, Россия).

Для определения родовой и видовой принадлежности эхинофтирид использовалась номенклатура щетинок, предложенная К.С. Kim и Н.В. Ludwig [4] в редакции М.С. Leonardi et al. [5]: чешуйками считались уплощенные, шипиками – заостренные щетинки, волосками – длинные щетинки, для которых длина по меньшей мере вдвое превышает ширину [4-6].

**ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты анализа морфологии тела и паттернов расположения щетинок (см. далее), насекомых, собранных в носовых ходах северных морских котиков на о. Тюлений, позволяют классифицировать их как новый вид рода *Antarctophthirus*.

**Каталожная карточка нового вида:**

Название вида: *Antarctophthirus nevelskoyi* n.sp..

Видовая идентификация: Щелканов М.Ю., Щелканов Е.М., Москвина Т.В.

Коллекционеры: Щелканов М.Ю., Щелканов Е.М.

Типовой хозяин: северный морской котик (*Callorhinus ursinus* L., 1758).

Локализация на теле хозяина: полость носа.

**Известный ареал:** остров Тюлений (48° 29' с.ш., 144° 38' в.д.) в акватории Охотского моря, в 12 км к юго-западу от сахалинского м. Терпения (Российская Федерация).

**Типовой материал:** голотип (самец имаго) FEBBM-711; аллотип (самка имаго) FEBBM-712; паратипы: FEBBM-713 (N<sub>2</sub> – нимфа 2-го возраста), FEBBM-714 (N<sub>3</sub> – нимфа 3-го возраста).

**Этимология:** вид назван в честь знаменитого русского исследователя Дальнего Востока адмирала Геннадия Ивановича Невельского (1813-1876), который первым доказал, что Сахалин действительно является островом.

#### Описание самца имаго (голотип FEBBM-711)

**Длина тела:** 2,79±0,50 мм. Голова несколько больше в длину (0,43±0,04 мм), чем в ширину (0,40±0,07 мм); передний край сильно склеротизирован; верхняя губа соединена с длинными аподемами; постантеннальный отросток хорошо развитый, с двумя длинными спинными волосками. Четыре вентрально-задних маргинальных шипика одинакового размера. Четыре одинаковых по размеру дорсальных супраантеннальных шипика на голове образуют трапецевидный узор. Пять сутуральных головных шипиков; третий шипик немного длиннее остальных. На заднем крае головы волоски образуют щеточку с пятью маргинальными и шестью основными волосками. Усики пятичлениковые. Базальный сегмент имеет короткий шипик, апикальный сегмент маленький, на его конце располагаются 4 сенсория.

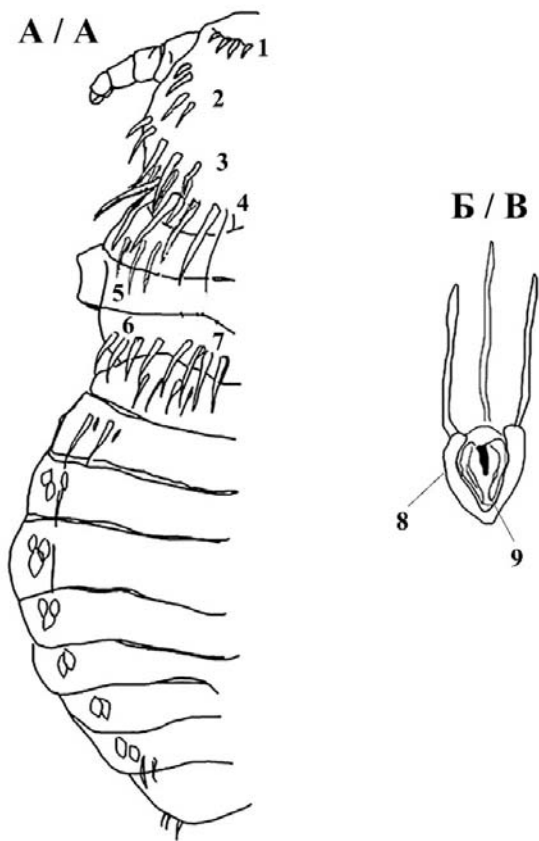
**Грудь:** трапецевидной формы, длина 0,57±0,11 мм, ширина 0,64±0,05 мм (т.е. длиннее головы и примерно вдвое шире). Вентральная сторона покрыта

множеством щетинок разной длины как сверху, так и снизу; имеется по три шипика под каждым тазиком. На дорсальной части располагаются четыре длинных дорсальных волоска – метаторакса; три дорсальных центральных волоска и четыре дорсальных маргинальных брюшных волоска (рис. 1). Фрагмы хорошо развиты, среднегрудная фрагма непрерывная, заднегрудная фрагма развита и практически достигает среднегрудной части.

**Конечности:** передняя пара ног маленькая и слабая (что типично для рода *Antarctophthirus*); очень большие и сильные средние и задние ноги похожи по форме и размеру.

**Брюшко:** большое (длина 1,78±0,51 мм, ширина: 1,24±0,16 мм), овальной формы без отчетливых тергитов и стернитов. Паратергальные пластинки не развиты. Присутствует шесть дыхалец. Задний край брюшка слегка удлинённый, покрыт однородными длинными щетинками. Всего на брюшке девять рядов щетинок разной формы и размера. Чешуевидные щетинки занимают большую часть брюшка (3-9 рядов) (рис. 2). Вентральные центральные брюшные щетинки, дорсальные центральные брюшные щетинки, дорсальные боковые брюшные щетинки и вентральные боковые брюшные щетинки видоизменяются в чешуйки, шипики и волоски, покрывающие все брюшко.

**Гениталии:** базальная пластинка относительно длинная, в месте прикрепления шире, с продольным килем посередине. Парамеры короткие, с V-образным удлинённым псевдопенисом, слегка сморщенным на конце. Отростки псевдопениса сочленяются с основаниями парамер (рис. 1).



**Рисунок 1.** Морфология имаго дорсально (А) и гениталий самца (Б): дорсальные передние маргинальные головные шипики (1); супраантеннальные головные шипики (2); сутуральный головные шипики (3); задние маргинальные и центральные волоски (4); дорсальные центральные грудные волоски (5); дорсальные волоски метаторакса (заднегруды) (6); дорсальные абдоминальные маргинальные волоски (7); парамеры (8); псевдопенис (9)

**Figure 1.** Dorsal imago view (A) and male genitalia (B): dorsal anterior marginal head spines (1); supraantennal head spines (2); sutural head spines (3); posterior marginal and principal hairs (4); dorsal principal thoracic hairs (5); dorsal metathoracic long hairs (6); dorsal marginal abdominal hairs (7); parameres (8); pseudopenis (9)



**Рисунок 2.** Сканирующая электронная микроскопия самца (дорсально)

**Figure 2.** Scanning electron microscopy of male (dorsal)

#### **Описание самки имаго (аллотип FEBBM-712)**

Голова (длина 0,44 мм, ширина 0,36 мм), грудь (длина 0,45 мм, ширина 0,51 мм), брюшко (длина 2,26 мм, ширина 1,72 мм) как у самцов, за исключением гениталий и связанных с ними характеристик; брюшко более округлое.

**Гениталии:** без отчетливой генитальной пластинки, гонопод или сперматеки. Половое отверстие окружено несколькими щетинками.

#### **Описание нимфы 2-го возраста (паратип FEBBM-713)**

**Общая длина тела:** 1,69 мм. Голова по ширине (0,34 мм) несколько больше длины (0,29 мм); передний край закруглен, постантеннальный отросток развит и несет 2 боковые щетинки. Усики четырехчлениковые, конечный членик в два раза длиннее ширины, с двумя сенсориями на вершине.

**Грудь:** все фрагменты хорошо развиты с дорсальной стороны и не соединены, ноталяная ямка отчетливая, окружена склеритами. Каждый членик дорсально и вентрально покрыт разбросанными щетинками разной длины. Ноги как у взрослых. Брюшко овальной формы покрыто отдельными щетинками разной длины. Всего имеется шесть дыхалец с закрывающим аппаратом (рис. 3).

#### **Описание нимфы 3-го возраста (паратип FEBBM-714)**

**Общая длина тела:** 1,87 мм. Общий план строения такой же, как и у нимфы 2-го возраста (рис. 4).

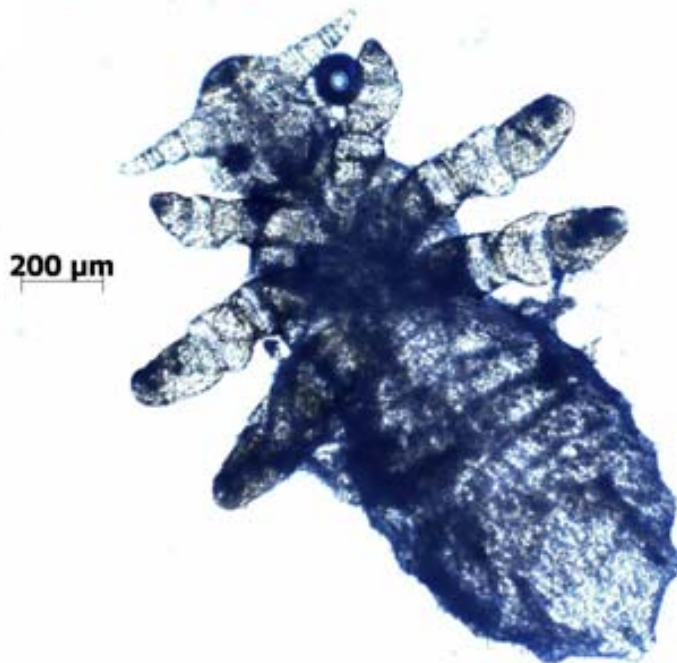
Н. Osborn (1899) дал первое описание *A. callorhini*, паразитирующих на северном морском котике на о-вах Прибылова близ побережья Аляски [7].

Первоначальное описание было основано на нескольких экземплярах имаго, а стадии нимфы описаны не были. Позже G.F. Ferris (1934) повторно описал этот вид и представил иллюстрации взрослых самцов и самок, собранных на североамериканском побережье Тихого океана [8]. Преимагинальные стадии были впервые описаны К.С. Kim (1971) на о. Святого Павла (о-ва Прибылова) и на побережье Аляски [9]. Колочие вши о. Тюлений до сих пор описаны не были.

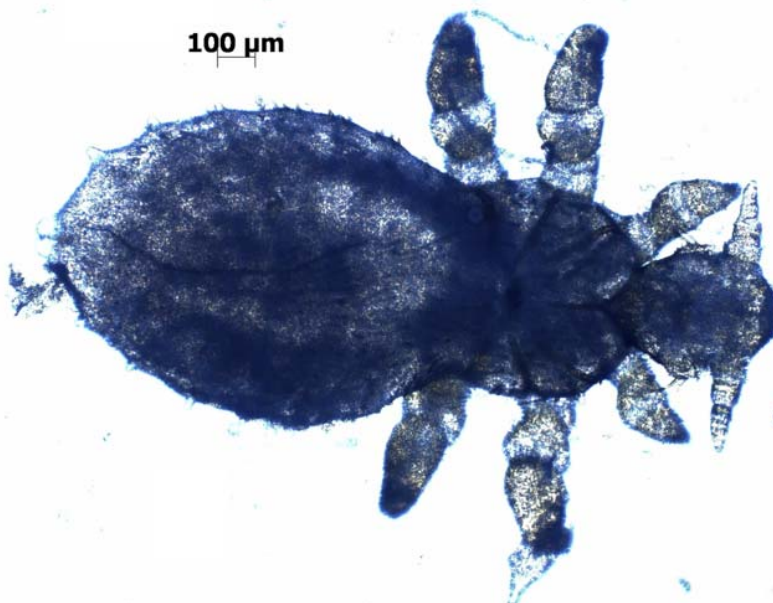
Остров Тюлений, расположенный в акватории Охотского моря близ сахалинского м. Терпения, представляет собой небольшой (600 × 90 м) безводный остров, абразионный останец, на склонах и возвышенной части которого расположена крупная гнездовая колония морских птиц, а на пляжах у подножия скалистой части – крупнейшее в северной Пасифике лежбище ластоногих. Остров Тюлений сыграл заметную роль в развитии отечественной арбовирусологии [10-13]. В популяциях иксодовых клещей *Ixodes uriae* White, 1852, паразитирующих в гнёздах морских птиц, главным образом, – кайр (*Uria* Brisson, 1760) – циркулирует несколько вирусов: Тюлений (Flaviviridae, *Flavivirus*) [14], Сахалин (Nairoviridae, *Orthonairovirus*) [15], Парамушир (Nairoviridae, *Orthonairovirus*) [15-17], Залив Терпения (Phenuiviridae, *Phlebovirus*) [18], Командоры (Phenuiviridae, *Phlebovirus*) [19], Рыкутама (Phenuiviridae, *Phlebovirus*) [15], Охотский (Reoviridae, *Orbivirus*) [20], Анива (Reoviridae, *Orbivirus*) [20]. В конце 1980-х гг. эколого-вирусологические экспедиции на о. Тюлений прекратились и возобновились лишь четверть века спустя [13]. К этому времени стали понятны

молекулярные механизмы потенциальной опасности некоторых из перечисленных арбовирусов для млекопитающих [16; 17]. Один из вариантов адаптации арбовирусов, связанных с *I. uriae*, к организму млекопитающих заключается в оседании этих вирусов с пылью на лежбища ластоногих. Обследование

респираторного тракта выявило наличие большого количества колючих вшей (для которых также нельзя исключать участие в поддержании циркуляции арбовирусов), морфологический анализ которых и привёл к выделению нового вида – *A. nevelskoyi* – описанного в данной работе.



**Рисунок 3.** Нимфа 2-го возраста ( $N_2$ ) вентрально  
**Figure 3.** Nymph of 2nd age ( $N_2$ ) ventral



**Рисунок 4.** Нимфа 3-го возраста ( $N_3$ ) дорсально  
**Figure 4.** Nymph of 3rd age ( $N_3$ ) dorsal

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

*A. nevelskoyi* близок к *A. callorhini*, однако набор признаков четко разделяет указанные виды: длина и расположение шипов и щетинок на голове, количество волосков в грудной клетке, количество рядов щетинок на спинном брюшке, форма гениталий самца отчетливая. Форма и локализация головных щетинок у *A. microchir* немного схожи, но у *A. microchir* грудные спинные чешуйки образуют перевернутый  $\Omega$ -образ [5], который отсутствует у *A. nevelskoyi*. Виды из рода *Antarctophthirus* можно отличить в основном по уникальному расположению щетинок и шипиков на голове и брюшке. Интересно, что только в двух исследованиях отмечается количество сенсоров терминального сегмента усиков (для *A. microchir* и *A. callorhini*, соответственно), однако эта особенность может быть полезна для видовой дифференциации.

Сложившаяся система идентификации видов рода *Antarctophthirus* на основе морфологических признаков нуждается в верификации с помощью молекулярно-генетических методов.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

- Leonardi M.S., Palma R. Review of the current knowledge of the systematics and ecology of Echinophthiriidae (Phthiraptera: Anoplura) // Zootaxa. 2013. V. 3630. N 3. P. 445-466. DOI: 10.11646/zootaxa.3630.3.3
- Щелканов М.Ю., Катин И.О., Бурухина Е.Г., Починок И.В., Щелканов Е.М., Волков Ю.Г., Шестопалов А.М., Галкина И.В. Колющие вши (Echinophthiridae) как переносчики инвазивных и инфекционных заболеваний ластоногих // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 3. С. 20-32.
- Щелканов М.Ю., Галкина И.В., Фоменко П.В., Арамилев С.В., Суровый А.Л., Журавлёв Ю.Н. Дальневосточный банк биологических материалов (ДВ ББМ) от крупных кошачьих (Pantherinae) как инструмент совершенствования практики правоприменения статей 226.1 и 258.1 Уголовного Кодекса Российской Федерации // Всероссийский криминологический журнал. 2017. Т. 11. N 1. С. 146-153. DOI: 10.17150/25004255.2017.11(1).146-153
- Kim K.C., Ludwig H.W. The family classification of Anoplura // Systematic Entomology. 1978. V. 3. Iss. 3. P. 249-284. DOI: 10.1111/j.1365-3113.1978.tb00120.x
- Leonardi M.S., Crespo E.A., Raga J.A., Fernandez M. Redescription of *Antarctophthirus microchir* (Anoplura: Echinophthiriidae) from the South American sea lion, *Otaria flavescens*, from Patagonia, Argentina // Journal of Parasitology. 2009. V. 95. N 5. P. 1086-1092. DOI: 10.1645/GE-2050.1
- Leonardi M.S., Bobinac M., Negrete J. Redescription of *Antarctophthirus lobodontis* (Anoplura: Echinophthiriidae) from the crabeater seal and identification key for Antarctic lice // Polar Biology. 2016. V. 39. N 4. P. 671-676. DOI: 10.1007/s00300-015-1822-9
- Osborn H. IX. Acarina. Insects of the Pribilof Islands. In Jordan D S (eds) The Fur Seals and Fur Seal Islands of the Northern Pacific Ocean. Part 3. Special papers relating to the fur seal and to the natural history of the Pribilof Islands. Washington, D.C., 1899. P. 553-554.
- Ferris G.F. Contributions toward a monograph of the sucking lice. Pt. 7. Stanford University publications. University series. Biological science. 1934, no. 2, pp. 473-526.
- Kim K.C. The Sucking Lice (Anoplura: Echinophthiriidae) of the Northern Fur Seal; Descriptions and Morphological Adaptation // Annals of the Entomological Society of America. 1971. V. 64. Iss. 1. P. 280-292. DOI: 10.1093/aesa/64.1.280
- Львов Д.К., Дерябин П.Г., Аристова В.А., Бутенко А.М., Галкина И.В., Громашевский В.Л., Давыдова А.А., Колобухина Л.В., Львов С.Д., Щелканов М.Ю. Атлас распространения возбудителей природноочаговых вирусных инфекций на территории Российской Федерации. Москва: МЗ РФ, 2001. 192 с.
- Руководство по вирусологии. Вирусы и вирусные инфекции человека и животных. Москва: МИА, 2013. 1200 с.
- Lvov D.K., Shchelkanov M.Y., Alkhovsky S.V., Deryabin P.G. Zoonotic viruses of Northern Eurasia. Taxonomy and Ecology. Academic Press, 2015, 452 p.
- Щелканов М.Ю., Галкина И.В., Ананьев В.Ю., Самарский С.С., Лиенхо С.Ю., Дедков В.Г., Сафонова М.В., Орехов В.Е., Щелканов Е.М., Алексеев А.Ю., Шестопалов А.М., Питрук Д.Л., Серков В.М. Экологическая обстановка на о. Тюлений в акватории Охотского моря (2015 г.): популяционные взаимодействия между ластоногими, птицами, иксодовыми клещами и вирусами // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 1. С. 30-43. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-30-43
- Львов Д.К., Альховский С.В., Щелканов М.Ю., Щетинин А.М., Дерябин П.Г., Самохвалов Е.И., Гительман А.К., Ботиков А.Г. Генетическая характеристика вирусов из антигенного комплекса Тюлений (Flaviviridae, Flavivirus): Тюлений (TYUV – Tyuleniy virus), изолированного из облигатных эктопаразитов колониальных птиц – клещей Ixodes (Ceratiixodes) uriae White, 1852, собранных в высоких широтах Северной Евразии, – и Кама (KAMV – Kama virus), изолированного из клещей Ixodes lividus Roch, 1844, собранных в норовых колониях птиц в средней части Русской равнины // Вопросы вирусологии. 2014. Т. 59. N 1. С. 18-24.
- Львов Д.К., Альховский С.В., Щелканов М.Ю., Щетинин А.М., Дерябин П.Г., Аристова В.А., Гительман А.К., Самохвалов Е.И., Ботиков А.Г. Генетическая характеристика вирусов Сахалин (SAKV – Sakhalin virus), Парамушир (PMRV – Paramushir virus) (Bunyaviridae, Nairovirus, группа Сахалин) и Рукутама (RUKV – Rukutama virus) (Bunyaviridae, Phlebovirus, группа Укуниими), изолированных от облигатных паразитов колониальных морских птиц клещей Ixodes (Ceratiixodes) uriae, White 1852 и I. signatus Birulya, 1895 в бассейнах Охотского и Берингова морей // Вопросы вирусологии. 2014. Т. 59. N 3. С. 11-17.
- Shchelkanov M.Yu., Dedkov V.G., Khafizov K.F., Safonova M.V., Matsvay A.D., Speranskaya A.S., Ayginin A.A., Shchelkanov E.M., Dolgova A.S., Kakareka N.N., Pimkina E.V., Galkina I.V., Shipulin G.A. Molecular-genetic identification of two Paramushir virus (Bunyavirales, Nairoviridae, Orthonairovirus) strains isolated on the Tyuleniy Island in the Okhotsk Sea // Materials of the 1-st International Conference “North-East Asia Biodiversity”, Vladivostok, Russia, 17-21 September, 2018. P. 74-75.
- Safonova M.V., Shchelkanov M.Yu., Khafizov K.F., Matsvay A.D., Ayginin A.A., Dolgova A.S., Shchelkanov E.M.,

Pimkina E.V., Speranskaya A.S., Galkina I.V., Dedkov V.G. Sequencing and genetic characterization of two strains Paramushir virus obtained from the Tyuleniy Island in the Okhotsk Sea (2015) // *Ticks and Tick-borne Diseases*. 2019. V. 10. Iss. 2. P. 269-279. DOI: 10.1016/j.ttbdis.2018.11.004

18. Львов Д.К., Альховский С.В., Щелканов М.Ю., Щетинин А.М., Дерябин П.Г., Гительман А.К., Самохвалов Е.И., Ботиков А.Г. Генетическая характеристика штаммов вируса Залив Терпения (ZTV – Zaliiv Terpeniya virus) (Bunyaviridae, Phlebovirus, антигенный комплекс Укуниеми), изолированного в высоких широтах Северной Евразии из облигатных эктопаразитов чистиковых птиц (Alcidae Leach, 1820) – клещей Ixodes (Ceratixodes) uriae White, 1852 и от комаров Culex modestus Ficalbi, 1889 в субтропиках Закавказья // *Вопросы вирусологии*. 2014. Т. 59. N 1. С. 12-18.

19. Альховский С.В., Львов Д.К., Щелканов М.Ю., Щетинин А.М., Дерябин П.Г., Ботиков А.Г., Гительман А.К., Самохвалов Е.И. Генетическая характеристика нового вируса Командоры (Komandory virus, KOMV; Bunyaviridae, Phlebovirus), изолированного из клещей Ixodes uriae (Acari: Ixodidae), собранных в гнездовых кайр Uria aalge на Командорских островах в Беринговом море // *Вопросы вирусологии*. 2013. Т. 58. N 6. С. 18-22.

20. Львов Д.К., Альховский С.В., Щелканов М.Ю., Гительман А.К., Дерябин П.Г., Щетинин А.М., Самохвалов Е.И., Ботиков А.Г. Молекулярно-генетическая характеристика вирусов Охотский (OKHV – Okhotskiy virus) и Анива (ANIV – Aniva virus) (Reoviridae, Orbivirus), изолированных в высоких широтах Северной Евразии из облигатных эктопаразитов чистиковых птиц (Alcidae Leach, 1820) – клещей Ixodes (Ceratixodes) uriae White, 1852 // *Вопросы вирусологии*. 2014. Т. 59. N 2. С. 22-28.

## REFERENCES

1. Leonardi M.S., Palma R. Review of the current knowledge of the systematics and ecology of Echinophthiridae (Phthiraptera: Anoplura). *Zootaxa*, 2013, vol. 3630, no. 3, pp. 445-466. DOI: 10.11646/zootaxa.3630.3.3

2. Shchelkanov M.Yu., Katin I.O., Burukhina E.G., Pochinok I.V., Shchelkanov E.M., Volkov Yu.G., Shestopalov A.M., Galkina I.V. Seal louse (Echinophthiridae) as vectors for invasive and infectious disease agents of pinnipeds. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2017, vol. 12, no. 3, pp. 20-32. (In Russian)

3. Shchelkanov M.Yu., Galkina I.V., Fomenko P.V., Aramilev S.V., Surovyi A.L., Zhuravlev Yu.N. Far Eastern bank of biological materials (FE BBM) from big cats (Pantherinae) as an improvement tool of the practice of law-enforcement of 226.1 and 258.1 articles in the criminal code of Russian Federation. *Russian Journal of Criminology*, 2017, vol. 11, no. 1, pp. 146-153. (In Russian) DOI: 10.17150/25004255.2017.11(1).146-153

4. Kim K.C., Ludwig H.W. The family classification of Anoplura. *Systematic Entomology*, 1978, vol. 3, iss. 3, pp. 249-284. DOI: 10.1111/j.1365-3113.1978.tb00120.x

5. Leonardi M.S., Crespo E.A., Raga J.A., Fernandez M. Redescription of *Antarctophthirus microchir* (Anoplura: Echinophthiridae) from the South American sea lion, *Otaria flavescens*, from Patagonia, Argentina. *Journal of Parasitology*, 2009, vol. 95, no. 5, pp. 1086-1092. DOI: 10.1645/GE-2050.1

6. Leonardi M.S., Bobinac M., Negrete J. Redescription of *Antarctophthirus lobodontis* (Anoplura: Echinophthiridae) from the crabeater seal and identification key for Antarctic lice. *Polar Biology*, 2016, vol. 39, no. 4, pp. 671-676. DOI: 10.1007/s00300-015-1822-9

7. Osborn H. IX. Acarina. Insects of the Pribilof Islands. In Jordan D.S. (eds) *The Fur Seals and Fur Seal Islands of the Northern Pacific Ocean. Part 3. Special papers relating to the fur seal and to the natural history of the Pribilof Islands*. Washington, D.C., 1899, pp. 553-554.

8. Ferris G.F. Contributions toward a monograph of the sucking lice. Pt. 7. Stanford University publications. University series. Biological science. 1934, no. 2, pp. 473-526.

9. Kim K.C. The Sucking Lice (Anoplura: Echinophthiridae) of the Northern Fur Seal; Descriptions and Morphological Adaptation. *Annals of the Entomological Society of America*, 1971, vol. 64, iss. 1, pp. 280-292. DOI: 10.1093/aesa/64.1.280

10. Lvov D.K., Deryabin P.G., Aristova V.A., Butenko A.M., Galkina I.V., Gromashevsky V.L., Davydova A.A., Kolobukhina L.V., Lvov S.D., Shchelkanov M.Yu. *Atlas rasprostraneniya vzbuditelei prirodnoochagovykh virusnykh infektsii na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Atlas of distribution of natural foci virus infections on the territory of Russian Federation]. Moscow, Russian Ministry of Public Health Publ., 2001, 192 p. (In Russian)

11. *Rukovodstvo po virusologii. Virusy i virusnye infektsii cheloveka i zhivotnykh* [Guide for Virology. Viruses and virus infections of humans and animals]. Moscow, MIA Publ., 2013, 1200 p.

12. Lvov D.K., Shchelkanov M.Y., Alkhovsky S.V., Deryabin P.G. Zoonotic viruses of Northern Eurasia. Taxonomy and Ecology. Academic Press, 2015, 452 p.

13. Shchelkanov M.Yu., Galkina I.V., Ananev V.Yu., Samarsky S.S., Lienho V.Yu., Dedkov V.G., Safonova M.V., Orekhov V.E., Shchelkanov E.M., Alekseev A.Yu., Shestopalov A.M., Pitruk D.L., Serkov V.M. Ecological situation on the Tyuleniy Island in the Okhotsk Sea (2015): population interactions between pinnipeds, birds, Ixodidae ticks and viruses. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 30-43. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-30-43

14. Lvov D.K., Alkhovsky S.V., Shchelkanov M.Yu., Shchetin A.M., Deryabin P.G., Samokhvalov E.I., Gitelman A.K., Botikov A.G. Genetic characterization of viruses from the antigenic complex Tyuleniy (Flaviviridae, Flavivirus): Tyuleniy virus (TYUV) isolated from ectoparasites of colonial seabirds – Ixodes (Ceratixodes) uriae White, 1852 ticks collected in the high latitudes of Northern Eurasia – and Kama virus (KAMV) isolated from the Ixodes lividus Roch, 1844 collected in the digging colonies of the middle part of Russian Plane. *Voprosy Virusologii* [Problems in Virology]. 2014, vol. 59, no. 1, pp. 18-24. (In Russian)

15. Lvov D.K., Alkhovsky S.V., Shchelkanov M.Yu., Shchetin A.M., Deryabin P.G., Aristova V.A., Gitelman A.K., Samokhvalov E.I., Botikov A.G. Genetic characterization of the Sakhalin virus (SAKV), Paramushir virus (PMRV) (Sakhalin group, Nairovirus, Bunyaviridae), and Rukutama virus (RUKV) (Uukuniemi group, Phlebovirus, Bunyaviridae) isolated from the obligate parasites of the colonial sea-birds ticks Ixodes (Ceratixodes) uriae White, 1852 and I. signatus Birulya, 1895 in the water area of Sea of the Okhotsk and Bering Sea. *Voprosy Virusologii*

[Problems in Virology]. 2014, vol. 59, no. 3, pp. 11-17. (In Russian)

16. Shchelkanov M.Yu., Dedkov V.G., Khafizov K.F., Safonova M.V., Matsvay A.D., Speranskaya A.S., Ayginin A.A., Shchelkanov E.M., Dolgova A.S., Kakareka N.N., Pimkina E.V., Galkina I.V., Shipulin G.A. Molecular-genetic identification of two Paramushir virus (Bunyavirales, Nairoviridae, Orthonairovirus) strains isolated on the Tyuleny Island in the Okhotsk Sea. Materials of the 1-st International Conference "North-East Asia Biodiversity", Vladivostok, Russia, 17-21 September, 2018, pp. 74-75.
17. Safonova M.V., Shchelkanov M.Yu., Khafizov K.F., Matsvay A.D., Ayginin A.A., Dolgova A.S., Shchelkanov E.M., Pimkina E.V., Speranskaya A.S., Galkina I.V., Dedkov V.G. Sequencing and genetic characterization of two strains Paramushir virus obtained from the Tyuleny Island in the Okhotsk Sea (2015). *Ticks and Tick-borne Diseases*, 2019, vol. 10, iss. 2, pp. 269-279. DOI: 10.1016/j.ttbdis.2018.11.004
18. Lvov D.K., Alkhovsky S.V., Shchelkanov M.Yu., Shchetinin A.M., Deryabin P.G., Gitelman A.K., Samokhvalov E.I., Botikov A.G. Genetic characterization of the Zaliv Terpeniya virus (ZTV, Bunyaviridae, Phlebovirus,

- Uukuniemi serogroup) strains isolated from the ticks Ixodes (Ceratiixodes) uriae White, 1852, obligate parasites of the Alcidae birds, in high latitudes of Northern Eurasia and the mosquitoes Culex modestus Ficalbi, 1899 in subtropics Transcaucasus. *Voprosy Virusologii [Problems in Virology]*. 2014, vol. 59, no. 1, pp. 12-18. (In Russian)
19. Alkhovsky S.V., Lvov D.K., Shchelkanov M. Yu., Shchetinin A.M., Deryabin P.G., Botikov A.G., Gitelman A.K., Samokhvalov E.I. Genetic characterization of new Komandory virus (KOMV; Bunyaviridae, Phlebovirus) isolated from the ticks Ixodes uriae collected in guillemot (Uria aalge) nesting sites on Komandorski islands, the Bering Sea. *Voprosy Virusologii [Problems in Virology]*. 2013, vol. 58, no. 6, pp. 18-22. (In Russian)
20. Lvov D.K., Alkhovsky S.V., Shchelkanov M.Yu., Shchetinin A.M., Deryabin P.G., Gitelman A.K., Samokhvalov E.I., Botikov A.G. Molecular-genetic characterization of the Okhotskiy virus (OKHV) and Aniva virus (ANIV) (Orbivirus, Reoviridae) isolated from the ticks Ixodes (Ceratiixodes) uriae White, 1852 in high latitudes of the Northern Eurasia. *Voprosy Virusologii [Problems in Virology]*. 2014, vol. 59, no. 2, pp. 22-28. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Михаил Ю. Щелканов собирал материал, описывал видовое разнообразие, руководил процессом написания статьи. Егор М. Щелканов собирал материал, описывал видовое разнообразие. Татьяна В. Москвина обрабатывала материал, описывала видовое разнообразие, написала статью. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Mikhail Yu. Shchelkanov collected material, undertook species description and general supervised of the article writing process. Egor M. Shchelkanov collected material, undertook species description and laid out the text. Tatyana V. Moskvina prepared material, undertook species description and wrote the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Михаил Ю. Щелканов / Mikhail Yu. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Егор М. Щелканов / Egor M. Shchelkanov <https://orcid.org/0000-0003-0202-958X>

Татьяна В. Москвина / Tatyana V. Moskvina <https://orcid.org/0000-0002-9517-7495>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 574.1  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-26-38

## Особенности хромосомного набора представителей гладконосых летучих мышей Северного Кавказа

Руслан И. Дзуев<sup>1</sup>, Милана А. Хашкулова<sup>1</sup>, Валентина Н. Канукова<sup>1</sup>, Елена А. Барагунова<sup>1</sup>,  
Раиса К. Сабанова<sup>1</sup>, Анна А. Чепракова<sup>1</sup>, Борис А. Дзагуров<sup>2</sup>, Азамат Р. Дзуев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский госуниверситет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

<sup>2</sup>Горский государственный аграрный университет, Владикавказ, Россия

### Контактное лицо

Милана А. Хашкулова, заведующий музеем живой природы НОЦ «Ботанический сад», Кабардино-Балкарский государственный университет; 360004 Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, д. 173.  
Тел. +79674281406  
Email [xashkulovam@bk.ru](mailto:xashkulovam@bk.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6030-2922>

### Формат цитирования

Дзуев Р.И., Хашкулова М.А., Канукова В.Н., Барагунова Е.А., Сабанова Р.К., Чепракова А.А., Дзагуров Б.А., Дзуев А.Р. Особенности хромосомного набора представителей гладконосых летучих мышей Северного Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 26-38. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-26-38

Получена 19 июня 2020 г.  
Прошла рецензирование 3 августа 2020 г.  
Принята 21 сентября 2020 г.

### Резюме

**Цель** работы – изучить хромосомный набор некоторых представителей гладконосых летучих мышей Северного Кавказа.

**Материал и методы.** Для реализации цели работы использовались различные методы исследования – метод высушенных препаратов (основной метод получения хромосомных препаратов), метод построения кариограмм и идиограмм.

**Результаты.** Приведен сравнительный анализ кариологических данных 11 видов гладконосых летучих мышей Северного Кавказа, уточнены кариологические характеристики видов, принятых в последних сводках по фауне России и Кавказа. Обнаружено сходство G- полос в крупных пар мета- и субметацентрических хромосом у *Myotis blythi*, *Myotis mystacinus*, *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus kuhli*, *Vespertilio murinus* с таковыми полосками в мелких и средних акроцентрических хромосомах у *Eptesicus serotinus*, что может свидетельствовать об эволюции кариотипа первых видов путем робертсоновской транслокации, т.е. соединениями акроцентрических хромосом *Eptesicus serotinus* в различных сочетаниях. При сопоставлении кариотипов семейства Vespertilionidae обнаружено, что кариотип *Eptesicus serotinus* «архаичный» (2n=50, NFa=48). С помощью кариологических данных составлены схемы филогенетических взаимоотношений родов в семействе Vespertilionidae, которые в определенной степени отличаются от схем, составленных систематиками для представителей этого семейства.

**Выводы.** На основании полученных результатов можно заключить, что кариотип *Eptesicus serotinus* является наиболее примитивным среди представителей отряда рукокрылых. Первостепенную роль в эволюции данной группы играли робертсоновские перестройки и перичентрические инверсии (уменьшение NFa и 2n от 50 до 38).

### Ключевые слова

Гладконосые летучие мыши, кариотип, аутосома, гетерохромосома, дифференциальная окраска, эволюция, Кавказ.

# Features of the chromosome set of representatives of smooth-nosed bats of the North Caucasus

Ruslan I. Dzuyev<sup>1</sup>, Milana A. Khashkulova<sup>1</sup>, Valentina N. Kanukova<sup>1</sup>, Elena A. Baragunova<sup>1</sup>, Raissa K. Sabanova<sup>1</sup>, Anna A. Cheprakova<sup>1</sup>, Boris A. Dzagurov<sup>2</sup> and Azamat R. Dzuyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>H.M. Berbekov Kabardino-Balkar State University, Nalchik, Russia

<sup>2</sup>Gorskiy State Agrarian University, Vladikavkaz, Russia

## Principal contact

Milana A. Khashkulova, Head, Museum of Wildlife, Botanical Garden Scientific-Educational Centre, Kabardino-Balkar State University; 173 Chernyshevsky St, Nalchik, Russia 360004. Tel. +79674281406  
E-mail [Xashkulovam@bk.ru](mailto:Xashkulovam@bk.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6030-2922>

## How to cite this article

Dzuyev R.I., Khashkulova M.A., Kanukova V.N., Baragunova E.A., Sabanova R.K., Cheprakova A.A., Dzagurov B.A., Dzuyev A.R. Features of the chromosome set of representatives of smooth-nosed bats of the North Caucasus. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 26-38. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-26-38

Received 19 June 2020

Revised 3 August 2020

Accepted 21 September 2020

## Abstract

**Aim.** The aim of this work was to study the chromosome set of some representatives of smooth-nosed bats of the North Caucasus.

**Material and Methods.** Various research methods were used to achieve this goal, including that of dried preparations (the main method for obtaining chromosomal preparations) and that of constructing karyograms.

**Results.** A comparative analysis of the karyological data of 11 species of smooth-nosed bats of the North Caucasus was undertaken and the karyological characteristics of the species accepted in the latest reports on the fauna of Russia and the Caucasus were clarified. The similarity of G - bands in large pairs of meta- and submetacentric chromosomes in *Myotis blythi*, *Myotis mystacinus*, *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus kuhli* and *Vesperugo murinus* with bands in small and medium-sized acrocentric chromosomes such as in *Eptesicus serotinus* may indicate the evolution of the karyotype of the first species by Robertsonian translocation, i.e. compounds of acrocentric chromosomes of *Eptesicus serotinus* in various combinations. When comparing karyotypes in the family Vespertilionidae, it was found that the karyotype of *Eptesicus serotinus* is "archaic" (2n=50, Nfa=48). With the help of karyological data, the authors composed schemes of phylogenetic relationships of genera in the family Vespertilionidae, which differ to a certain extent from the schemes compiled by taxonomists for representatives of this family.

**Conclusions.** Based on the results obtained, we can conclude that the karyotype of *Eptesicus serotinus* is the most primitive among the representatives of the order of bats. The primary role in the evolution of this group was played by Robertsonian rearrangements and pericentric inversions (reduction of Nfa and 2n from 50 to 38).

## Key Words

Smooth-nosed bats, karyotype, autosome, heterochromosome, differential coloration, evolution, Caucasus.

## ВВЕДЕНИЕ

Семейство Vespertilionidae отряда Chiroptera является одним из наиболее полно изученных в кариологическом аспекте. Исследование хромосомного набора представителей этого отряда было начато в 40-х годах прошлого столетия Р. Бовеем [1].

Следующий этап изучения кариотипа рукокрылых связан с именами американских исследователей Osborne [2], Р. Бакер и Д. Паттон [3], итальянских кариологов Капанна и Кивителли [4]. Они изучали до 28 видов из рода ночниц (*Myotis*) этого семейства. На территории бывшего Союза первые кариологические работы по цитогенетике рукокрылых содержатся в материалах II Всесоюзного совещания по млекопитающим «Млекопитающие (эволюция, кариология, фаунистика и систематика)», Новосибирск, 1969. В этом капитальном труде приводится описание кариотипов 12 видов гладконосых летучих мышей [5; 6]. В условиях Азербайджанской республики сравнительная кариология 8 видов рукокрылых проведена М.Д. Фаттаевым [7].

Сопоставление кариологических характеристик видов отряда Chiroptera показало большую роль перестроек робертсоновского типа в эволюции кариотипов этой группы млекопитающих. Было высказано предположение о существовании в хромосомных наборах видов этого отряда «морфологически идентичных» элементов (маленькие субметацентрики и акроцентрики с ахроматиновой зоной), что может служить указанием на общность происхождения [4; 8].

Исследование западноевропейских, среднеазиатских и кавказских обыкновенных летучих мышей, [2; 4; 7; 9; 10] показало консервативность кариотипов на родовом уровне, на основании чего было сделано заключение, что сходство кариотипов может являться надежным критерием для определения родовой принадлежности видов.

Следует отметить, что большинство кариологически исследованных Vespertilionidae относится к северо-американским видам [8; 11]. Не столь обширно число кариологически изученных обыкновенных летучих мышей Старого Света [5-6; 8;

12]. Кроме того, часть видов изучена с использованием неэффективных (старых) цитогенетических методов [1; 13], что в ряде случаев делает затруднительным сопоставление этих данных с результатами современных исследований.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В пределах Северного Кавказа нами исследованы следующие виды: *Myotis blythii* Thomas, (12♂♂ и 10♀♀), *Myotis mystacinus* Kuhl. (7♂♂ и 4♀♀), *Miniopterus schreibersi* Kuhl., (2♂♂ и 3♀♀), *Plecotus macrobullaris* Kuzyakin (2♂♂ и 3♀♀), *Barbastella leucomelas* Cretz. (2♂♂ и 3♀♀), *Pipistrellus kuhlii* Kuhl (8♂♂ и 5♀♀), *Pipistrellus pipistrellus* Schreb. (7♂♂ и 8♀♀), *Nyctalus noctula* Schreb. (5♂♂ и 4♀♀), *Eptesicus serotinus* Schreb. (5♂♂ и 3♀♀) и *Vespertilio murinus* L. (3♂♂ и 3♀♀).

**Ночница остроухая.** *Myotis blythii* Thomas. (2n=44, NFa=52). (рис. 1, 2). Аутосомы представлены тремя парами крупных метацентрических хромосом, одной парой мелких субметацентриков, 15 парами равномерно убывающих по размерам акроцентриков и двумя парами точкообразных хромосом, одна пара из которых обнаруживает метацентрическую структуру. Половые хромосомы заметно гетероморфные и хорошо идентифицируются, особенно X-хромосома. Она представлена средним метацентриком, по величине занимающим промежуточное положение между 3-й и 4-й парами аутосом. У – хромосома – мелкий акроцентрик, по величине приравняваемый к 15-16-й парам набора. Кариотип номинального подвида был описан ранее Р. Маттеем и Р. Бовеем [1; 13], наши данные почти полностью совпадают с первоописанием. Однако при сопоставлении результатов кариологического анализа обнаружилось расхождение между нашими данными и сообщением С. И. Раджабли и др. [5], в отношении морфологии мелкой субметацентрической хромосомы. При полном совпадении значений хромосомных индексов по остальным хромосомам набора по данным вышеприведенных авторов, 17 пара представлена не субметацентриками, а метацентрическими.

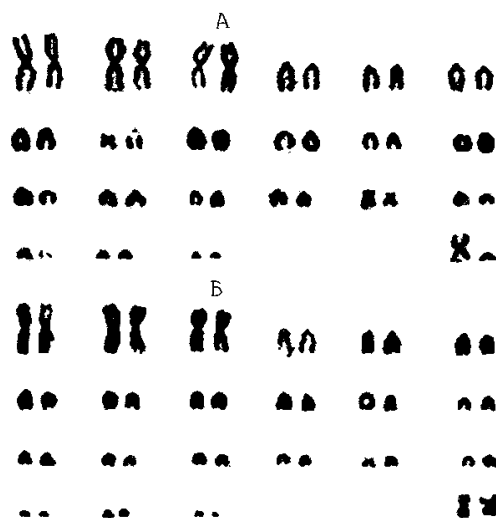


Рисунок 1. Кариотип ночницы остроухой (рутинная окраска): А – самец, Б – самка

Figure 1. Karyotype of the lesser mouse-eared bat (*Myotis blythii*) (routine staining): А – male, Б – female



**Рисунок 2.** Кариограмма и идиограмма дифференциально окрашенных хромосом ночницы остроухой  
**Figure 2.** Karyogram and idiogram of differentially stained chromosomes of the lesser mouse-eared bat (*Myotis blythii*)

**Ночница усатая.** *Myotis mystacinus* Kuhl. ( $2n=44$ ,  $NFa=50$ ) (рис. 3, 4). В аутосомном наборе имеется три пары крупных метацентрических хромосом, одна пара мелких субметацентрических хромосом, занимающие по размерам промежуточное положение между 16-й и 18-й парами аутосом и 17-й пар акроцентрических хромосом, постепенно убывающих по величине до точкообразных. Одна пара акроцентрических хромосом (8 пара) обнаруживает наличие ахроматиновой зоны около центромеры. X-хромосома – метацентрик средней величины и Y-хромосома – мелкий акроцентрик, несколько превышающий по размерам две последние пары аутосом. Кариотип номинального подвида *M. m. mystacinus* описан R. Bovey [1].

Хромосомный набор этого вида на территории бывшего Союза (Южная Туркмения) впервые исследован С.И. Раджабли с соавторами [5]. Необходимо отметить, что хромосомный набор номинального подвида в целом идентичен с таковым по результатам наших исследований у северокавказских зверьков. За исключением того, что по данным Р. Бовея [1] Y-хромосома – это точечный элемент, мелкий акроцентрик.

**Ушан горнокавказский.** *Plecotus macrobullaris* Kuzyakin. ( $2n=32$ ,  $NFa=52$ ) (рис. 5). Хромосомный набор этого редкого вида на Северном Кавказе нами впервые описан из трех разобщенных точек. Аутосомный набор

представлен 9-ю парами крупных и средних метацентрических хромосом, одной парой мелких метацентриков, четвертая 3-мя парами мелких акроцентриков и пятая включает две пары микрохромосом, одна из которых имеет метацентрическую структуру.

Гетерохромосомный комплекс представлен: X-хромосома – крупный субметацентрик, схожий с первой парой аутосом, а Y-хромосома – мелкий акроцентрик, по размерам занимающий место между 11-й и 12-ой парами аутосом.

**Широкоушка азиатская.** *Barbastella leucomelas* Gray. ( $2n=32$ ,  $NFa=50$ ) (рис. 6). Хромосомный набор у всех изученных зверьков и во всех исследованных точках содержит 32 хромосомы, а основное число плеч хромосом равно 54. Аутосомный набор представлен четырьмя морфологическими группами: первая представлена 9 парами крупных мета- и субметацентрических хромосом, вторая – одной парой мелких метацентриков, третья – тремя парами мелких акроцентриков и четвертая – двумя парами мелких точкообразных хромосом.

Половые хромосомы представлены: X-хромосома – средний субметацентрик, а Y-хромосома – мелкий акроцентрик.

Кариотип этого вида впервые изучен для фауны Азербайджанской республики М.Д. Фаттаевым [7]. По данным этого автора во всех популяциях на территории Азербайджана диплоидное число хромосом равно 32, при  $NFa=50$ .

Как видно, кариотип этого вида не обнаруживает оптически видимого полиморфизма как по числу хромосом, так и по морфологии аутосом и гетерохромосом во всех пунктах (кавказской части ареала) и у всех исследованных зверьков.

**Нетопырь средиземноморский.** *Pipistrellus kuhlii* Kuhl. ( $2n=44$ ,  $NFa=50$ ) (рис. 7). По числу и морфологии

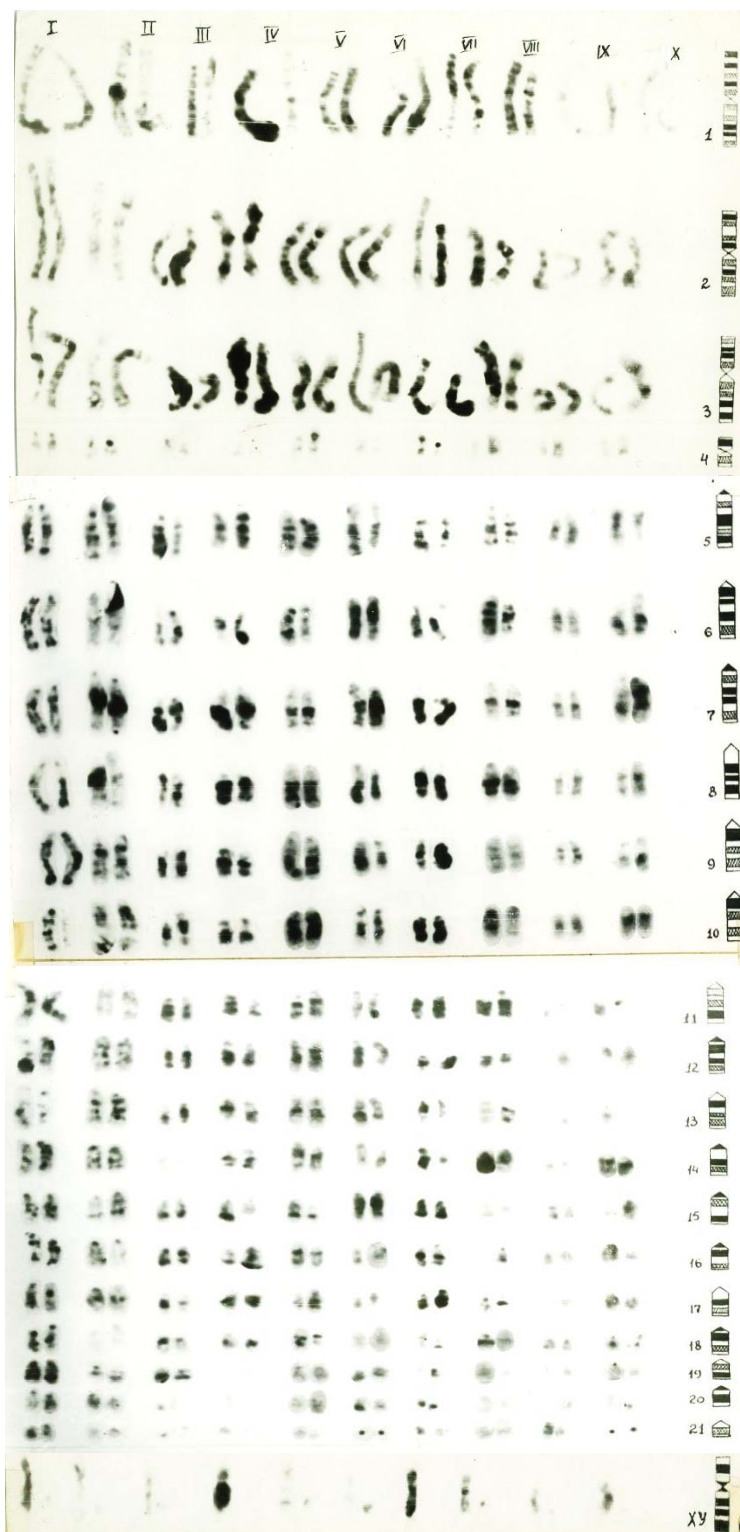
хромосом обнаруживает полное сходство с представителями рода *Myotis*, за исключением того, что среди акроцентрических хромосом имеется две пары с ахроматиновой зоной около центромеры. Одна из них представлена средними акроцентриками и может быть идентична паре, описанной для *Myotis mystacinus*. Вторая же пара акроцентриков с ахроматиновой зоной очень мала по величине и на кариограмме за ней следуют лишь точкообразные элементы. Кариотипы рода *Pipistrellus* на Северном Кавказе исследованы впервые.

**Нетопырь-карлик.** *Pipistrellus pipistrellus* Schreb. ( $2n=42$ ,  $NFa=50$ ) (рис. 9). В аутосомном наборе содержится 3 пары крупных метацентрических хромосом, две пары маленьких субметацентрических хромосом и 15 пар постепенно убывающих по величине акроцентриков. Одна из двух пар субметацентрических хромосом весьма мала по размерам и может быть описана к группе точкообразных хромосом других *Vespertilionidae*. Аналогичная субметацентрическая хромосома была описана у *Myotis* [5-7; 9]. X-хромосома представлена средним метацентриком, по размерам, приравняваемым к 10-й паре аутосом; Y-хромосома – самый мелкий акроцентрик набора. Среди акроцентрических хромосом набора не обнаружено пары с ахроматиновой зоной, присутствующей в кариотипах других видов этого рода [2; 7; 8; 10]. Кариотип номинального подвида впервые был описан Р. Бовеем [1], который указывал на наличие 4 крупных метацентрических пар в аутосомном наборе, и не отмечал присутствие в кариотипе этого вида мелких субметацентриков. Видимо, расхождение между нашими данными и данными Р. Бовея в отношении кариотипа этого вида может быть связано с несовершенством кариологических методик начального периода цитогенетических исследований млекопитающих.



**Рисунок 3.** Кариотип ночницы усатой (рутинная окраска): А – самец, Б – самка

**Figure 3.** Karyotype of the mustached bat (*Myotis mystacinus*) (routine staining): A – male, B – female



**Рисунок 4.** Кариограмма и идиограмма дифференциально окрашенных хромосом ночницы усатой  
**Figure 4.** Karyogram and idiogram of differentially stained chromosomes of the mustached bat

**Вечерница рыжая.** *Nyctalus noctula* Schreb. ( $2n=42$ ,  $NFa=50$ ) (рис. 10). В аутосомном наборе содержится 4 пары крупных метацентрических, две пары мелких субметацентриков, 12 пар, постепенно убывающих по величине, акроцентриков и 2 пары микрохромосом. Одна пара акроцентрических хромосом (средняя по величине) обнаруживает наличие ахроматиновой зоны около центромеры. X-хромосома – крупный

метацентрик, а Y-хромосома – средний субметацентрик. Кариотип номинального подвида был описан ранее Б. Дулич с соавторами [12].

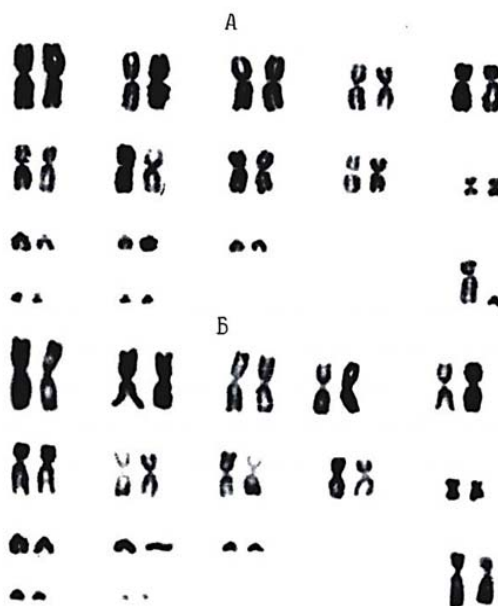
**Кожан поздний.** *Eptesicus serotinus* Schreb. ( $2n=50$ ,  $NFa=46$ ) (рис. 11, 12). Аутосомный набор содержит 24 пары акроцентрических хромосом, образующий постепенно убывающий по размерам ряд, три

последние пары, которого являются точкообразными. Одна пара точкообразных хромосом (первая или вторая) имеет хорошо заметную ахроматиновую зону около центромеры.

Гетерохромосомный комплекс представлен: X-хромосома – крупный субметацентрик, по размерам приравняемый к первой паре аутосом. Y-хромосома – мелкий акроцентрик, по величине занимающий последнее место среди аутосом. Кариотип этого вида был описан впервые на территории Южной Прибалтики (с. Баканас) Н.Н. Воронцовым с соавторами [2].

**Кожан двухцветный.** *Vespertilio murinus* L. ( $2n=38$ ,  $NFa=50$ ) (рис. 13). Аутосомный набор представлен

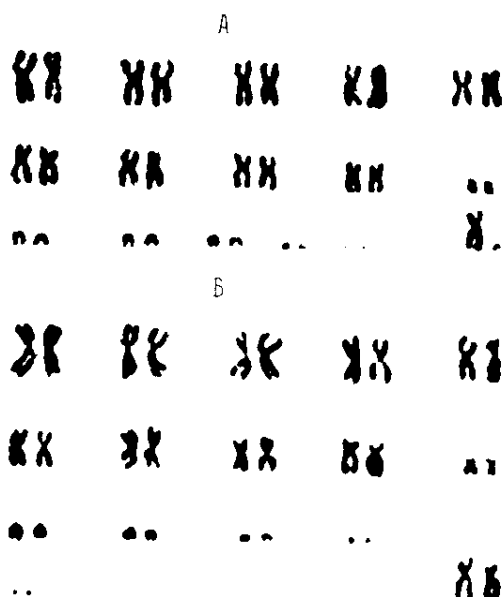
тремя морфологическими группами: первая включает 6 пар крупных мета- и субметацентрических хромосом, вторая – 9 парами акроцентрических, составляющих плавно убывающий ряд, а третья группа включает две пары микрохромосом, морфологию которых под световым микроскопом не удастся рассмотреть. 7-ая пара аутосом (acroцентрические хромосомы) имеет четко выраженную ахроматиновую зону в области центромеры. X-хромосома представлена метацентриком средних размеров, а Y-хромосома – точкообразный акроцентрический элемент. Первописание кариотипа этого вида на территории бывшего Союза происходит из Южного Приморья, г. Уссурийск [2].



**Рисунок 5.** Кариотип ушана горнокавказского (рутинная окраска): А – самец, Б – самка

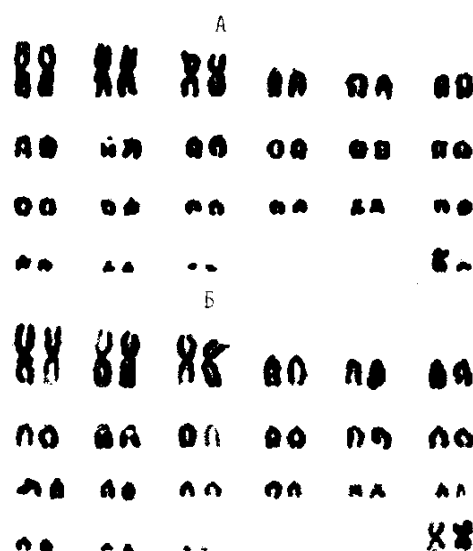
**Figure 5.** Karyotype of the mountain Caucasus long-eared bat (*Plecotus macrobullaris*) (routine staining):

A – male, B – female

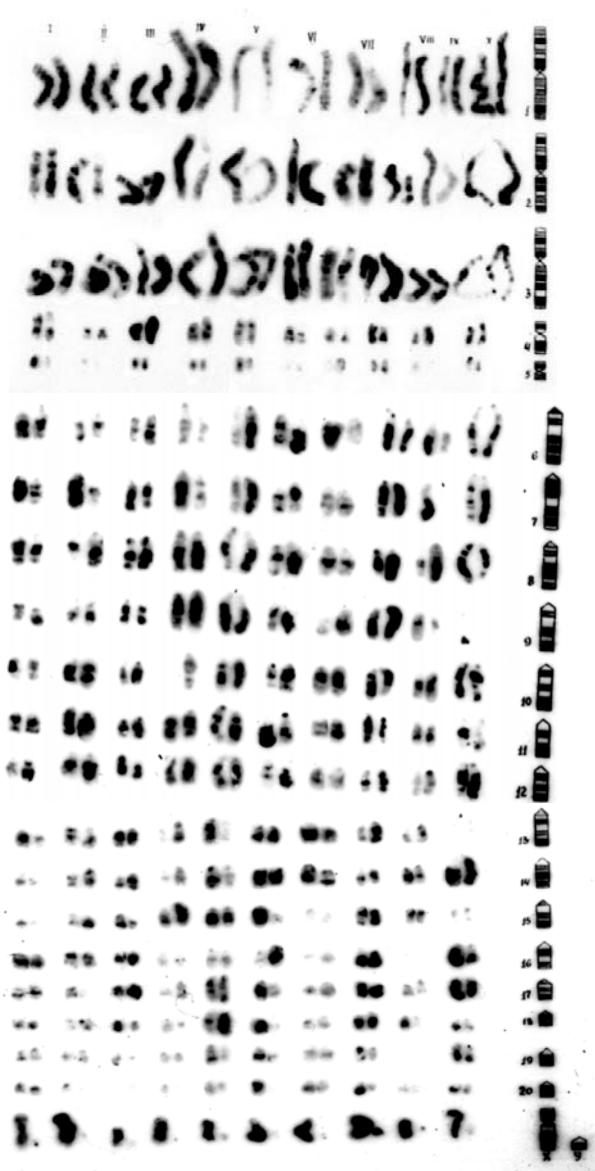


**Рисунок 6.** Хромосомный набор широкоушки азиатской (рутинная окраска). А – самец, Б – самка

**Figure 6.** Chromosome set of the Asian barbastelle (*Barbastella leucomelas*) (routine staining). A – male, B – female



**Рисунок 7.** Хромосомный набор нетопыря средиземноморского (рутинная окраска): А – самец, Б – самка  
**Figure 7.** Chromosome set of the Kuhl's pipistrelle (*Pipistrellus kuhli*) (routine staining): А – male, Б – female

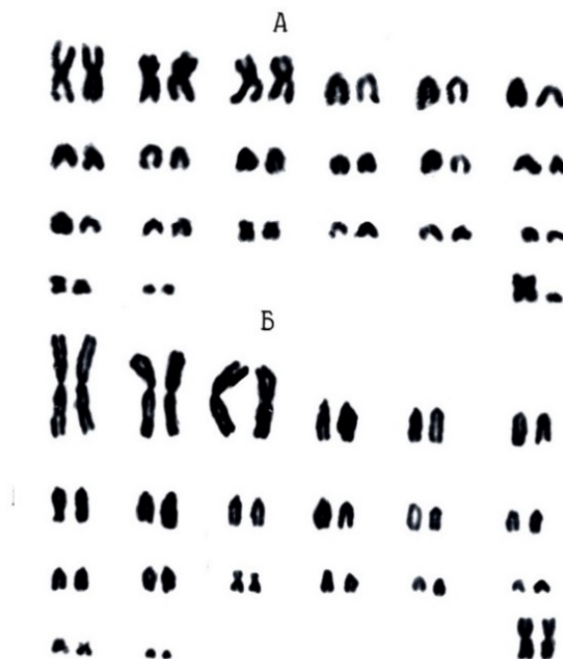


**Рисунок 8.** Кариограмма и идиограмма дифференциально окрашенных хромосом нетопыря средиземноморского  
**Figure 8.** Karyogram and idiogram of differentially stained chromosomes of the Kuhl's pipistrelle (*Pipistrellus kuhli*)

Для выявления происхождения крупных мета- и субметацентрических хромосом и периферической инверсии мы проанализировали картины G-полос хромосом, представителей родов *Myotis*, *Pipistrellus* и *Eptesicus*.

Как отмечено выше, кариотипы ночницы остроухой, нетопыря средиземноморского состоят из 44 хромосом (см. рис. 2 и 7): первая пара – центромера окрашена бледно. На более длинном плече имеется 5 темноокрашенных позитивных полос, а на втором – 2

широкие и одна узкая полоса. Теломера окрашена бледно; вторая пара – центромера бледно окрашена. На каждом плече имеются 3 негативные полосы. Теломера бледно окрашена; третья пара – центромера окрашена интенсивно. В более или менее коротком плече видны 2 широкие позитивные полосы. В длинном плече около центромеры расположена темноокрашенная позитивная полоса, ближе к теломере бледно окрашенная полоса. Все остальные хромосомы изученных видов идентифицируются также четко.



**Рисунок 9.** Кариотип нетопыря-карлика (рутинная окраска): А – самец, Б – самка

**Figure 9.** Karyotype of the common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*) (routine staining): А – male, Б – female



**Рисунок 10.** Кариотип вечерницы рыжей (рутинная окраска): А – самец, Б – самка

**Figure 10.** Karyotype of the common noctule (*Nyctalus noctula*) (routine staining): А – male, Б – female

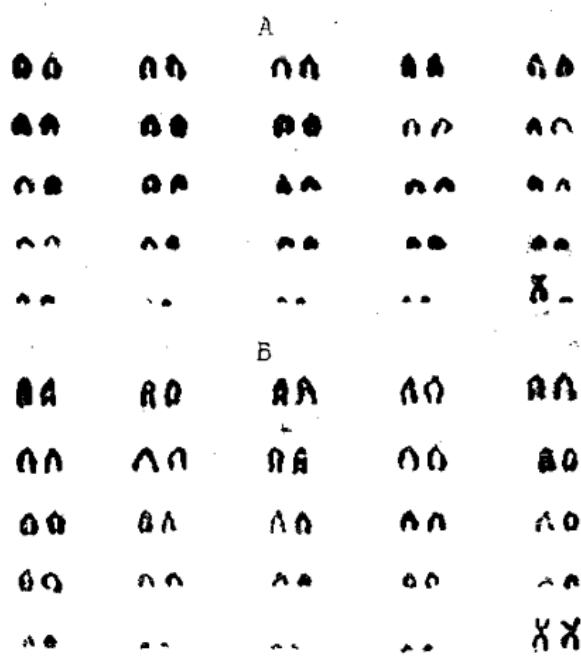
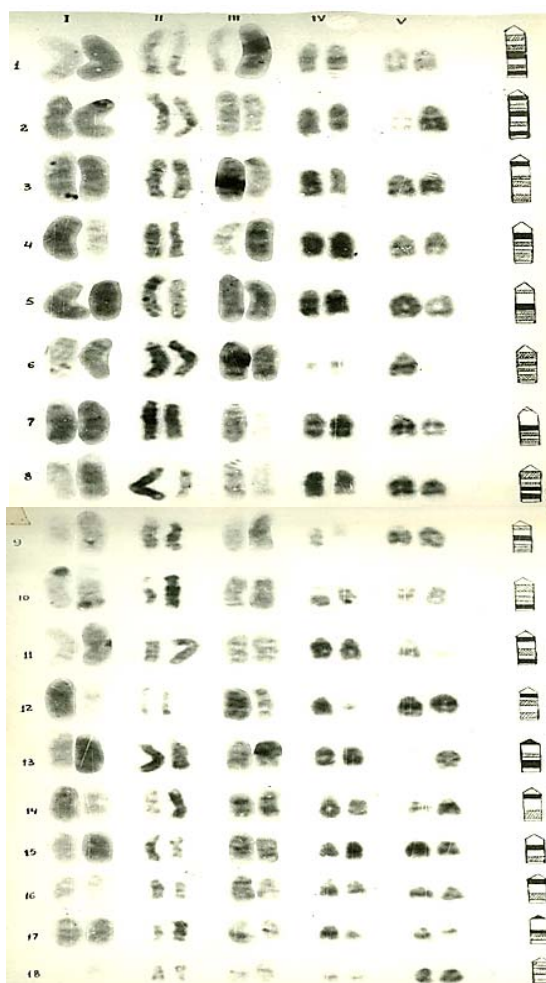
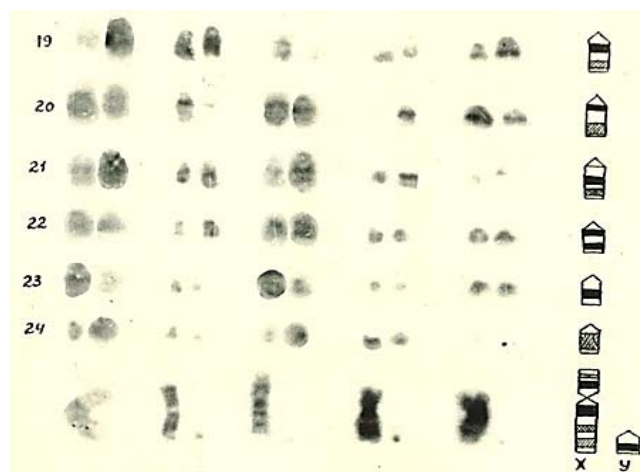


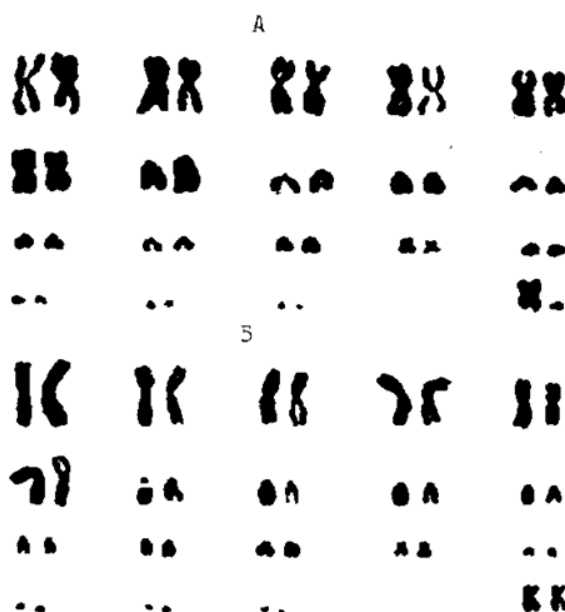
Рисунок 11. Кариотип кожана позднего (рутинная окраска): А – самец, Б – самка

Figure 11. Karyotype of the serotine bat (*Eptesicus serotinus*) (routine staining): A – male, B – female





**Рисунок 12.** Кариограмма и идиограмма дифференциально окрашенных хромосом кожана позднего  
**Figure 12.** Karyogram and ideogram of differentially stained serotine bat (*Eptesicus serotinus*) chromosomes



**Рисунок 13.** Кариотип кожана двухцветного (рутинная окраска): А – самец, Б – самка  
**Figure 13.** Karyotype of the parti-coloured bat (*Vespertilio murinus*) (routine staining): А – male, Б – female

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как отмечено выше, кариотип *Eptesicus serotinus* представлен 24-я парами акроцентриков. Х-хромосома – средний субметацентрик, Y-хромосома – мелкий акроцентрик (рис. 11).

Сравнивая кариотипы изученных нами видов гладконосых летучих мышей, мы попытались выявить наиболее объективные пути их эволюции. В семействе Vespertilionidae, видимо, *Eptesicus serotinus* имеет наиболее примитивный кариотип, близкий к предковому ( $2n=50$ ,  $NFa=48$ ). По выявленной гомологии дифференциально окрашенных хромосом можно предполагать, что все остальные кариотипы представителей этого семейства произошли от предкового, в котором, все хромосомы являются акроцентриками.

Сравнивая дифференциально окрашенные хромосомы кариотипов Vespertilionidae и кожана позднего показало, что мета- и субметацентрики *Myotis blythi*, *Pipistrellus kuhli* и *Pipistrellus pipistrellus* могли

возникнуть путем робертсоновской перестройки из акроцентрических хромосом *Eptesicus serotinus*. Первая пара крупных метацентриков у этих видов, по-видимому, образовались в результате соединения шестой и седьмой пар акроцентриков *Eptesicus serotinus*.

Вторая пара крупных метацентриков у *Myotis blythi*, видимо, образовалась путем соединения 9-ой и 15-ой пар акроцентриков *Eptesicus serotinus*. Третья пара крупных субметацентриков этих видов могла образоваться в результате соединения 17-ой и 21-ой пар акроцентриков позднего кожана.

Вторая пара крупных метацентриков *Pipistrellus kuhli* и *Pipistrellus pipistrellus*, вероятно, произошла от соединения четвертой и седьмой пар акроцентриков.

Как отмечают многие отечественные и зарубежные исследователи [2; 4; 5; 7; 9], по форме хромосом кариотип *Eptesicus serotinus* является наиболее примитивным среди представителей отряда рукокрылые.

**ВЫВОДЫ**

На основании полученных данных может быть сделан ряд выводов о цитогенетической эволюции Vespertilionidae:

1. Кариотип *Eptesicus serotinus* крайне близок к примитивному, что противоречит объединению этого вида с представителями рода *Vespertilio*, как предлагают А.П. Кузякин [14], Н.А. Бобринский и др. [15], и подтверждает точку зрения Н.Н. Воронцова и др. [2], М.Д. Фаттаева [7], Ф.А. Темботовой [16].
2. Для родов *Myotis* и *Pipistrellus* установлен консерватизм кариотипа на родовом уровне.
3. В пределах Vespertilionidae прослеживается постоянство морфологии некоторых хромосом (X, Y и аутосом). Робертсоновские перестройки играли первостепенную роль в эволюции данной группы, наряду с этим имели место и другие механизмы – перичентрические инверсии (уменьшение NFa и 2n от 50 до 38).

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Bovey R. Les chromosomes des Chiropteres et des Insectivores // Rev. Suisse de zool. 1949. V. 56. P. 371-468. DOI: 10.5962/bhl.part.117900
2. Воронцов Н.Н., Раджабли С.И., Волобуев В.Т. Сравнительная кариология летучих мышей семейства Vespertilionidae (Chiroptera). Млекопитающие (эволюция, кариология, фаунистика, систематика). Новосибирск, 1969. С. 15-18.
3. Baker R.J., Patton J.L. Karyotypes and karyotypic variation of North American vespertilionid bats // Journal of Mammalogy. 1967. V. 48. Iss. 2. P. 270-286. DOI: 10.2307/1378031
4. Capanna E., Civitelli M.V. Chromosomal mechanisms in the evolution of chiropteran karyotype. Chromosomal tables of Chiroptera // Caryologia. 1970. V. 23. Iss. 1. P. 79-111. DOI: 10.1080/00087114.1970.10796365
5. Раджабли С.И., Воронцов Н.Н., Волобуев В.Т. Хромосомы трех видов летучих мышей рода *Myotis* // Млекопитающие (эволюция, кариология, фаунистика, систематика). Новосибирск, 1969. С. 12-13.
6. Стрелков П.П., Волобуев В.Т. Идентичность кариотипов в роде *Myotis* // Млекопитающие (эволюция, кариология, фаунистика, систематика). Новосибирск, 1969. С. 14-15.
7. Фаттаев М.Д. Сравнительная кариология некоторых рукокрылых Азербайджана (цитотаксономический и эволюционный аспекты). Автореф. дис. канд. биол. наук. Баку, 1978. 25 с.
8. Capanna E., Givitelli M.V. Chromosomes di aclun spesidi microchiroterteri itallani // Boll. Zool., 1964. V. 31 (2). P. 21-30.
9. Дзуев Р.И. Закономерности хромосомной изменчивости млекопитающих Кавказа. Докт. дисс. Екатеринбург, 1995. С. 3-577.
10. Дзуев Р.И. Хромосомные наборы млекопитающих Кавказа. Нальчик: Эльбрус, 1998. 256 с.
11. Hsu T.C., Benirschke K. An atlas of mammalian chromosomes. Berlin – Heidelberg and N.-York, 1968. V. 2. P. 1-196. DOI: 10.1007/978-1-4615-6424-9
12. Dulic B., Soldatovic B., Rimsa D. La formule chromosomique de la Noctula, *Nyctalus noctula* Schreber (Mammalia, Chiroptera) // Experientia. 1967. V. 23. P. 945-946. DOI: 10.1007/BF02136239

13. Matthey R. Les chromosomes des Euthériens rétrospective et Nouvelles données // Mammalia. 1976. V. 40. Iss. 3. P. 453-466. DOI: 10.1515/mamm.1976.40.3.453
14. Кузякин А.П. Летучие мыши. М.: Советская наука, 1950. 443 с.
15. Бобринский Н.А., Кузнецов Б.А., Кузякин А.П. Определитель млекопитающих СССР. М.: Просвещение, 1965. С. 381.
16. Темботова Ф.А. Млекопитающие Кавказа и омывающих его морей. Определитель. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2015. 352 с.

**REFERENCES**

1. Bovey R. Les chromosomes des Chiropteres et des Insectivores. Rev. Suisse de zool., 1949, vol. 56, pp. 371-468. DOI: 10.5962/bhl.part.117900
2. Vorontsov N.N., Radzhabli S.I., Volobuev V.T. [Comparative karyology of bats of the family Vespertilionidae (Chiroptera)]. In: *Mlekipitayushchie (evolyutsiya, kariologiya, faunistika, sistematika)* [Mammals (evolution, karyology, faunistics, taxonomy)]. Novosibirsk, 1969, pp. 15-18. (In Russian)
3. Baker R.J., Patton J.L. Karyotypes and karyotypic variation of North American vespertilionid bats. *Journal of Mammalogy*, 1967, vol. 48, iss. 2, pp. 270-286. DOI: 10.2307/1378031
4. Capanna E., Civitelli M.V. Chromosomal mechanisms in the evolution of chiropteran karyotype. Chromosomal tables of Chiroptera. *Caryologia*, 1970, vol. 23, iss. 1, pp. 79-111. DOI: 10.1080/00087114.1970.10796365
5. Rajabli S.I., Vorontsov N.N., Volobuev V.T. [Chromosomes of three species of bats of the genus *Myotis*]. In: *Mlekipitayushchie (evolyutsiya, kariologiya, faunistika, sistematika)* [Mammals (evolution, karyology, faunistics, taxonomy)]. Novosibirsk, 1969, pp. 12-13. (In Russian)
6. Strelkov P.P., Volobuev V.T. [Identity of karyotypes in the genus *Myotis*]. In: *Mlekipitayushchie (evolyutsiya, kariologiya, faunistika, sistematika)* [Mammals (evolution, karyology, faunistics, taxonomy)]. Novosibirsk, 1969, pp. 14-15. (In Russian)
7. Fattaev M.D. *Sravnitel'naya kariologiya nekotorykh rukokrylykh Azerbaidzhana (tsitotaksonomicheskii i evolyutsionnyi aspekty)*. Avtoref. dis. kand. biol. nauk [Comparative karyology of some bats of Azerbaijan (cytotaxonomic and evolutionary aspects). Abstract of the dissertation of the candidate of biological sciences]. Baku, 1978, 25 p. (In Russian)
8. Capanna E., Givitelli M.V. Chromosomes di aclun spesidi microchiroterteri itallani. *Boll. Zool.*, 1964, vol. 31 (2), pp. 21-30.
9. Dzuev R.I. *Zakonovernosti khromosomnoi izmenchivosti mlekipitayushchikh Kavkaza*. Dokt. diss. [Regularities of chromosomal variability of mammals of the Caucasus. Doctoral dissertation]. Yekaterinburg, 1995, pp. 3-577. (In Russian)
10. Dzuev R.I. *Khromosomnye nabory mlekipitayushchikh Kavkaza* [Chromosomal ponit mammalia de Caucasus]. Nalchik, Elbrus Publ., 1998, 256 p. (In Russian)
11. Hsu T.C., Benirschke K. An atlas of mammalian chromosomes. Berlin – Heidelberg and N.-York, 1968, vol. 2, pp. 1-196. DOI: 10.1007/978-1-4615-6424-9
12. Dulic B., Soldatovic B., Rimsa D. La formule chromosomique de la Noctula, *Nyctalus noctula* Schreber

(Mammalia, Chiroptera). *Experientia*, 1967, vol. 23, pp. 945-946. DOI: 10.1007/BF02136239

13. Matthey R. Les chromosomes des Euthériens rétrospective et Nouvelles données. *Mammalia*, 1976, vol. 40, iss. 3, pp. 453-466. DOI: 10.1515/mamm.1976.40.3.453

14. Kuzyakin A.P. *Letuchie myshi* [Bats]. Moscow, Sovetskaya Nauka Publ., 1950, 443 p. (In Russian)

15. Bobrinskii N.A., Kuznetsov B.A., Kuzyakin A.P.

*Opredelitel' mlekopitayushchikh SSSR* [Determinant of mammals of the USSR]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1965, 381p. (In Russian)

16. Tembotova F.A. *Mlekopitayushchie Kavkaza i omyvayushchikh ego morei. Opredelitel'* [Mammals of the Caucasus and its surrounding seas]. Moscow, KMK Publ., 2015, 352 p. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Руслан И. Дзуев и Милана А. Хашкулова собрали материал, проанализировали данные и написали рукопись. Азамат Р. Дзуев, Анна А. Чепракова, Елена А. Барагунова и Борис А. Дзагуров внесли существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, в получение, анализ данных и их интерпретацию. Валентина Н. Канукова и Раиса К. Сабанова корректировали окончательный вариант статьи и существенно переработали ее важное интеллектуальное содержание. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ruslan I. Dzuyev and Milana A. Khashkulova collected the material, analysed the data and wrote the manuscript. Azamat R. Dzuyev, Anna A. Cheprakova, Elena A. Baragunova and Boris A. Dzagurov made significant contributions to the concept and design of the research, data acquisition and analysis and their interpretation. Valentina N. Kanukova and Raisa K. Sabanova carried out correction of the final version of the article and significant processing of its important intellectual content. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Руслан И. Дзуев / Ruslan I. Dzuyev <https://orcid.org/0000-0003-1851-9719>

Милана А. Хашкулова / Milana A. Khashkulova <https://orcid.org/0000-0001-6030-2922>

Валентина Н. Канукова / Valentina N. Kanukova <https://orcid.org/0000-0001-6039-1056>

Елена А. Барагунова / Elena A. Baragunova <https://orcid.org/0000-0003-0005-6955>

Раиса К. Сабанова / Raisa K. Sabanova <https://orcid.org/0000-0003-1411-7085>

Анна А. Чепракова / Anna A. Cheprakova <https://orcid.org/0000-0002-8575-2687>

Борис А. Дзагуров / Boris A. Dzagurov <https://orcid.org/0000-0001-7370-8729>

Азамат Р. Дзуев / Azamat R. Dzuyev <https://orcid.org/0000-0002-1405-2114>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 636.32/.38  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-39-44

## Полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* овец дагестанской горной породы

Алимсолтан А. Оздемиров<sup>1</sup>, Людмила Н. Чинова<sup>2</sup>, Абдусалам А. Хожиков<sup>1</sup>,  
Евгения С. Суржикова<sup>2</sup>, Гасан Д. Догеев<sup>1</sup>, Сулейман Ш. Абдулмагомедов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный аграрный научный центр, Махачкала, Россия

<sup>2</sup>Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

### Контактное лицо

Людмила Н. Чинова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, г. Михайловск, ул. Никитина, 49. Тел. +78652717218  
Email [immunogenetika@yandex.ru](mailto:immunogenetika@yandex.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4029-0482>

### Формат цитирования

Оздемиров А.А., Чинова Л.Н., Хожиков А.А., Суржикова Е.С., Догеев Г.Д., Абдулмагомедов С.Ш. Полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* овец дагестанской горной породы // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 39-44.  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-39-44

Получена 20 мая 2020 г.  
Прошла рецензирование 7 сентября 2020 г.  
Принята 21 сентября 2020 г.

### Резюме

**Цель.** Изучение полиморфизма генов кальпастина – *CAST*, соматотропина – *GH*, дифференциального фактора роста – *GDF9* овец дагестанской горной породы.

**Материал и методы.** Исследования по генетическому типированию овец дагестанской горной породы по генам *CAST*, *GH*, *GDF9* проводились в условиях хозяйств отгонного животноводства по Республике Дагестан, лаборатории Генетики и селекции ФГБНУ «ФАНЦ РД», аккредитованной лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий ВНИИОК-филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» методом ПЦР-ПДРФ (полимеразно-цепная реакция – полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) на четырехканальном программируемом термоциклере «Терцик» фирмы «ДНК-технология» (Россия) с использованием специфических праймеров, синтезированных в научно-производственной лаборатории «СИНТОЛ» (Москва).

**Результаты.** Проведением ПЦР-ПДРФ выявлены породоспецифические аллели с разной частотой встречаемости, составившей: в локусе гена *CAST* – аллеля *CAST<sup>N</sup>* – 0,03; аллеля *CAST<sup>M</sup>* – 0,97; в локусе гена *GH* – аллеля *GH<sup>A</sup>* – 100,0, аллеля *GH<sup>B</sup>* – 0; в локусе гена *GDF9* – аллеля *GDF9<sup>A</sup>* – 0,25, аллеля *GDF9<sup>G</sup>* – 0,75, что обусловило частоту встречаемости гомо-, гетерозиготных генотипов: *CAST<sup>NN</sup>*, *CAST<sup>MM</sup>* и *CAST<sup>NM</sup>* – 93,0; 0 и 7,0%; *GH<sup>AA</sup>*, *GH<sup>BB</sup>* и *GH<sup>AB</sup>* – 100,0 и 0%; *GDF9<sup>AA</sup>*, *GDF9<sup>GG</sup>* и *GDF9<sup>AG</sup>* – 16,0, 66,0 и 19,0% соответственно.

**Заключение.** Выявленная закономерность может рассматриваться как экологический фактор, оптимизирующий адаптивно-приспособительные функции организма овец, с одной стороны, эволюционно-селекционный процесс, способствующий созданию в популяции специфического, уклада генетических структур, с другой. Делается предположение, что полученная информация может служить началом более углубленного изучения уникального генофонда овец дагестанской горной породы для дальнейшего ее совершенствования. Предложены варианты генетических маркерных профилей родительских пар для накопления в племенных стадах, разводимых в разных эколого-географических зонах, генотипов носителей селекционно-значимых генетических структур.

### Ключевые слова

Эколого-географические факторы, адаптация, полиморфизм, гены *CAST*, *GH*, *GDF9*, генетическая изменчивость, овцы.

# Polymorphism of genes CAST, GH, GDF9 of sheep of the Dagestan mountain breed

Alimsoltan A. Ozdemirov<sup>1</sup>, Lyudmila N. Chizhova<sup>2</sup>, Abdusalam A. Khozhokov<sup>1</sup>,  
Evgeniya S. Surzhikova<sup>2</sup>, Gasan D. Dogeev<sup>1</sup> and Suleiman Sh. Abdulmagomedov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Agricultural Research Centre of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

<sup>2</sup>North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Mikhailovsk, Russia

## Principal contact

Lyudmila N. Chizhova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor and Chief Researcher, Laboratory of Immunogenetics and DNA Technologies, North Caucasus Federal Agricultural Research Centre; 49 Nikonova St, Mikhailovsk, Russia 356241.

Tel. +78652717218

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

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4029-0482>

## How to cite this article

Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S., Dogeev G.D., Abdulmagomedov S.Sh. Polymorphism of genes CAST, GH, GDF9 of sheep of the Dagestan mountain breed. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 39-44. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-39-44

Received 20 May 2020

Revised 7 September 2020

Accepted 21 September 2020

## Abstract

**Aim.** To study the polymorphism of the genes calpastatin (CAST), somatotropin (GH) and differential growth factor (GDF9) of sheep of the Dagestan mountain breed.

**Material and Methods.** Studies on the genetic typing of Dagestan mountain sheep according to CAST, GH and GDF9 genes were carried out in conditions of distant pasture farming in the Republic of Dagestan by the Genetics and Breeding Laboratory of the Federal Agrarian Scientific Centre of the Republic of Dagestan, an accredited laboratory of immunogenetics and DNA technologies of the All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding and a branch of the North Caucasus Federal Scientific Agrarian Centre. These investigations were undertaken by the PCR-RFLP method (polymyrase chain reaction – restriction fragment length polymorphism) on a Tersik four-channel programmable thermal cycler from DNA-Technologia (Russia) using specific primers synthesized in the SYNTHOL research and production laboratory (Moscow).

**Results.** Carrying out PCR-RFLP revealed breed-specific alleles with different frequency of occurrence, which was: in the locus of the CAST gene – allele CAST<sup>N</sup> – 0.03; allele CAST<sup>M</sup> – 0.97; at the GH gene locus – GH<sup>A</sup> allele – 100.0, GH<sup>B</sup> allele – 0; in the locus of the GDF9 gene – the GDF9<sup>A</sup> allele – 0.25, the GDF9<sup>G</sup> allele – 0.75, which determined the frequency of occurrence of the homo- and heterozygous genotypes: CAST<sup>NN</sup>, CAST<sup>MM</sup> and CAST<sup>NM</sup> – 93.0; 0 and 7.0%; GH<sup>AA</sup>, GH<sup>BB</sup> and GH<sup>AB</sup> – 100.0 and 0%; GDF9<sup>AA</sup>, GDF9<sup>GG</sup> and GDF9<sup>AG</sup> – 16.0, 66.0 and 19.0%, respectively.

**Conclusion.** The regularity revealed can be considered as an ecological factor that optimizes the adaptive functions of the sheep's organism, on the one hand, an evolutionary selection process that contributes to the creation of a specific way of genetic structures in the population, on the other. The assumption is made that the information obtained can serve as the beginning of a more in-depth study of the unique gene pool of sheep of the Dagestan rock breed for its further improvement. Variants of genetic marker profiles of parental pairs are proposed for accumulation in breeding herds bred in different ecological-geographical zones and genotypes of carriers of selection-significant genetic structures.

## Key Words

Ecological and geographical factors, adaptation, polymorphism, CAST, GH, GDF9 genes, genetic variability, sheep.

**ВВЕДЕНИЕ**

Овцеводство, как одно из древнейших специализированных направлений сельского хозяйства, является лидером по разнообразию производимой продукции, обеспечивающей сырьём целый ряд отраслей перерабатывающей промышленности, а для таких регионов, как Северный Кавказ – основным источником питания, обихода, а также участвует в исполнении этнических обрядов [1; 2].

Все овцеголовье (75,0%) с началом весны каждый год перегоняется на летние высокогорные пастбища. Животные, находясь более двух месяцев в пути, преодолевают большие расстояния (200-350 км в один конец), пересекают разные эколого-географические пояса, различающиеся по природно-климатическим, экологическим характеристикам [3].

Крепкий костяк, твердость копытного рога позволяют поголовью комфортно чувствовать себя при отгонно-пастбищном содержании, имея при этом высокое качество руна с белой, густой, мягкой тонкой (20-25 микрон) шерстью с выходом чистого волокна – 50,0%. Убойный выход мяса (баранчики в 7-8 мес.) достигает 48,0%. Кроме того, овцам исследуемой породы свойственно молоко с повышенной концентрацией жира (7,0-8,0%) и белка, позволяющее изготавливать высококачественную сырную продукцию. Примечательно то, что плодовитость маток составляет в среднем 125,0% ягнят с ежедневным привесом 250 грамм, вес которых к 6-ти месячному возрасту составляет 30,0-35,0 кг. Овцы этой породы пользуются широким спросом у населения [4].

В настоящее время, из-за ряда причин, в основном экономических, происходит снижение рентабельности развития овцеводческой отрасли, как в РФ, так и в республике, приводящей к утрате многих локальных местных пород, а также потере генетического разнообразия [5-7]. Поэтому особую актуальность приобретает сохранение имеющегося

генофонда отечественных пород с одной стороны, их генетическое совершенствование, с другой [8-10].

Поскольку мерой генетической изменчивости популяции является полиморфизм, в основе которого лежат такие биологические фундаментальные процессы как адаптация, эволюция, непосредственно связанные с селекционными процессами, и, позволяющие определить механизмы приспособления к условиям среды обитания и, на основании этого, сделать возможным целенаправленные селекционные воздействия [11], то целью настоящего исследования стало изучение полиморфизма генов кальпастина – *CAST*, соматотропина – *GH*, дифференциального фактора роста – *GDF9* овец дагестанской горной породы, разводимой в Республике Дагестан.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования генетического типирования овец дагестанской горной породы по генам *CAST*, *GH*, *GDF9* проводились в условиях хозяйств отгонного животноводства по Республике Дагестан, лаборатории Генетики и селекции ФГБНУ «ФАНЦ РД», аккредитованной лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий ВНИИОК-филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» методом ПЦР-ПДРФ (полимеразно-цепная реакция – полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) на четырехканальном программируемом термоблокере «Терцик» фирмы «ДНК-технология» (Россия) с использованием специфических праймеров, синтезированных в научно-производственной лаборатории «СИНТОЛ» (Москва) [12] (табл. 1).

В качестве биоматериала была использована ДНК овец дагестанской горной породы с использованием наборов для выделения ДНК «*Diatom<sup>tm</sup>DNA Prep100*» по методике, которая была представлена изготовителем (IsoGeneLab, Москва). В целях ПЦР диагностики использовались комплексы наборов «*GenePakPCRCore*», (IsoGeneLab, Москва).

**Таблица 1.** Характеристика аллельных вариантов**Table 1.** Characterization of allelic variants

| Ген<br>Gene | Нуклеотидные<br>последовательности<br>Nucleotide Sequences           | Т°С, отжига<br>T°C<br>annealing | Амплифик,<br>(п.н.)<br>Amplificati,<br>(p.n.) | Эндонук-леаза<br>Endonuclease | Генотипы<br>Genotypes |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| <b>CAST</b> | F:5'-tggggcccaatgacgccatcgatg -3'<br>R:5'-gggtggagcacttctgatcacc -3' | 62                              | 422                                           | MspI                          | MM/MN/NN              |
| <b>GH</b>   | F:5'-ggaggcaggaaggatgaa -3'<br>R:5'-ccaaggaggagagacaga -3'           | 60                              | 277                                           | HaeIII                        | AA/AB/BB              |
| <b>GDF9</b> | F:5'-gaagactggtatggggaatg-3'<br>R:5'-ccaatctgctctacacacct -3'        | 63                              | 462                                           | BstHH1                        | AA/AG/GG              |

В агарозном геле (2,0-4,0%), длина и значение фрагментов рестрикции, в присутствии 10,0 мкл 10,0% бромистого этидия, определялось методом гель-электрофореза при УФ-свете.

**ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты и анализ ПЦР диагностики показывает то, что полиморфизм гена *CAST* представлен аллелью *CAST<sup>N</sup>* с очень низкой (0,03) и аллелью *CAST<sup>M</sup>* высокой

(0,97) частотой встречаемости. Полученные данные стали основой для высокой (93,0%) частоты встречаемости гомозиготного генотипа *CAST<sup>MM</sup>*, и не обнаружения аналога – *CAST<sup>NN</sup>*. При этом частота встречаемости генотипа *CAST<sup>MN</sup>* имела показатель – 7,0% (табл. 2).

Характерной особенностью изучаемой популяции овец стало отсутствие полиморфизма гена *GH*. Присутствие аллеля *GH<sup>A</sup>* (100,0) при полном

отсутствии (0) аллеля  $GH^B$  создало ситуацию

0,25; 18,0; 16,0 и 66,0% соответственно, характерны для полиморфизма гена  $GDF9$ .

Такие аллели как  $GDF9^G$ ,  $GDF9^A$  и генотипы  $GDF9^{AA}$ ,  $GDF9^{AG}$  и  $GDF9^{GG}$  с разной частотой встречаемости: 0,75;

**Таблица 2.** Особенности аллельного профиля некоторых генов у овец дагестанской горной породы

**Table 2.** Features of the allelic profile of some genes in sheep of the Dagestan mountain breed

| Ген-маркер<br>Gene marker | Генотип<br>Genotype | n  | Частота встречаемости<br>Frequency of occurrence |                            |
|---------------------------|---------------------|----|--------------------------------------------------|----------------------------|
|                           |                     |    | генотипа, %<br>genotype, %                       | аллеля<br>allele           |
| CAST                      | MM                  | 41 | 93,0                                             | M 0,97±0,03<br>N 0,03±0,02 |
|                           | NN*                 | 0  | 0                                                |                            |
|                           | MN                  | 3  | 7,0                                              |                            |
| GH                        | AA                  | 44 | 100,0                                            | A 1,0<br>B 0               |
|                           | BB*                 | 0  | 0                                                |                            |
|                           | AB                  | 0  | 0                                                |                            |
| GDF9                      | AA*                 | 7  | 16,0                                             | A 0,25±0,04<br>G 0,75±0,05 |
|                           | GG                  | 29 | 66,0                                             |                            |
|                           | AG                  | 8  | 18,0                                             |                            |

Примечание: ген кальпастанин ( $CAST^{NN}$ ) – контролирует качество мяса; гормон роста ( $GH^{BB}$ ) и ген дифференциальный фактор роста ( $GDF9^{AA}$ ) – контролирует рост, развитие, мясную продуктивность.

Note: gene calpastatin ( $CAST^{NN}$ ) – controls the quality of meat; growth hormone ( $GH^{BB}$ ) and differential growth factor gene ( $GDF9^{AA}$ ) – controls growth, development, meat productivity.

Проведенный анализ, в сравнительном аспекте, генетической структуры подопытной популяции овец, выявляет достаточно большую степень гомозиготности (Ca) гена  $GH$  и гена  $CAST$ , составившей 100,0% – в локусе гена  $GH$  и 94,2% – в локусе гена  $CAST$ . Такие факторы как невысокое количество желательных аллелей (Na),

незначительное количество, или полное отсутствие гетерозигот в локусах генов  $GH$  и  $CAST$ , уровней ожидаемой (Hex) и наблюдаемой (Hobs) гетерозиготности, низкие показатели генетической изменчивости (V), говорят о нарушении генетического равновесия (табл. 3).

**Таблица 3.** Особенности генетической структуры овец дагестанской горной породы

**Table 3.** Features of the genetic structure of sheep of the Dagestan mountain breed

| Ген / Gene | Показатель / Indicator |      |      |       |       |            |
|------------|------------------------|------|------|-------|-------|------------|
|            | Ca, %                  | Na   | V, % | Hobs  | Hex   | TГ         |
| CAST       | 94,2                   | 1,06 | 3,8  | 0,073 | 0,062 | +0,011 Ф>Т |
| GH         | 100,0                  | 0    | 0    | 0     | 0     | -0,11 Ф<Т  |
| GDF9       | 62,5                   | 1,60 | 35,5 | 0,222 | 0,601 | -0,379 Ф<Т |

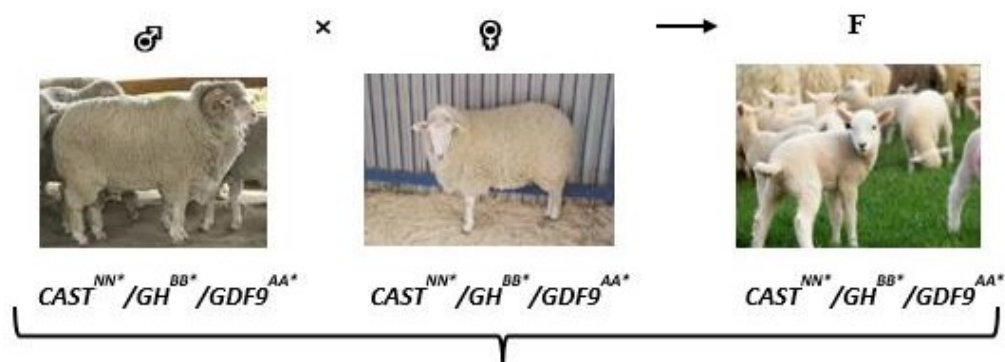
Относительно гена  $GDF9$ , можно наблюдать степень его гомозиготности (Ca), в пределах 62,5%, число эффективно-действующих аллелей (Na) – 1,60, уровни генетической изменчивости (V) – 35,5, наблюдаемой (Hobs) и теоретически ожидаемой (Hex) гетерозиготности – 0,222 и 0,601.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты генотипирования, их анализ свидетельствуют о неоднозначности распределения аллельного профиля в локусах изучаемых генов. Минимальная (0,03) частота встречаемости аллели  $CAST^N$ , и высокой (0,97) аллели  $CAST^M$ , способствовало отсутствию в исследуемой популяции овец гомозиготного  $CAST^{NN}$  генотипа, что отразилось на величине таких генетических констант, как количество желательных аллелей (Na), степени генетической изменчивости (V, %), уровне теоретически ожидаемой (Hex) и наблюдаемой (Hobs) гетерозиготности.

Нулевые значения таких констант как (Na), (V, %), (Hobs), (Hex) и абсолютная (100%) степень гомозиготности (Ca), в локусе гена  $GH$  создает неблагоприятную ситуацию, так как элиминация (потеря) аллелей влечет за собой сокращение резерва генетической изменчивости, сужение генетического разнообразия, что может привести к потере адаптивных качеств популяции.

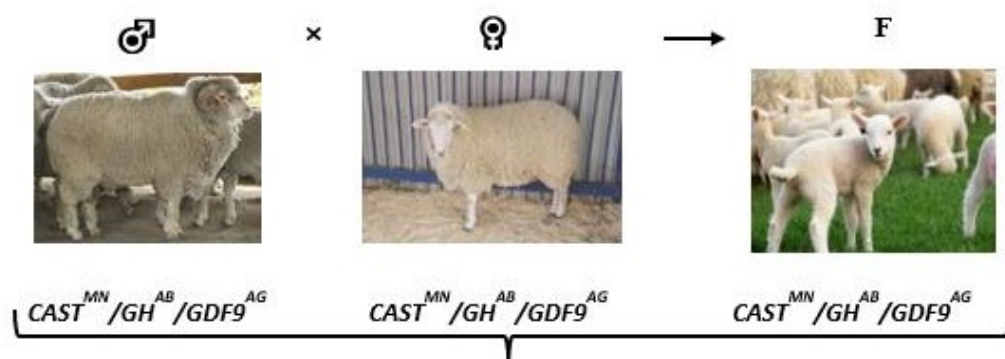
Полученную информацию можно рассматривать как экологический фактор, оптимизирующий адаптивно-приспособительные функции организма овец, с одной стороны, эволюционно-селекционный процесс, способствующий созданию в популяции специфического, уклада генетических структур, с другой. Численность животных с желательным набором генетических структур может быть увеличена путем целенаправленного подбора родительских пар. Вероятность проявления фенотипических признаков того или иного гена может быть достигнута в том случае, если: (вариант 1) / if: (vaiaint 1)



**№ 1.** Желательные генокомплексы (гомозиготный вариант) – полная пенетратность, то есть 100% частота и вероятность фенотипического проявления гена

**№ 1.** Desirable gene complexes (homozygous variant) – Full penetration, that is, 100% frequency and probability of phenotypic manifestation of the gene

если: (вариант 2) / if: (variant 2)



**№ 2.** Желательные генокомплексы (гетерозиготный вариант) – 75-50% пенетратность

**№ 2.** Desirable gene complexes (heterozygous variant) – 75-50% penetration

Мы полагаем, что полученная информация и предложенные варианты генетического маркерного профиля родительского подбора, могут служить началом более углубленного изучения уникального генофонда овец дагестанской горной породы для дальнейшего его совершенствования с учетом эколого-географических зон разведения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Столповский Ю.А., Захаров-Гезехус И.А. Проблема сохранения генофондов domesticированных животных // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. N 4. С. 477-486. DOI: 10.18699/VJ17.266
2. Римиханов Н.И., Хожиков А.А., Алилов М.М., Абакаров А.А., Магомедов Ш.М. Состояние и перспективы развития овцеводства в Республике Дагестан // Овцы, козы, шерстное дело. 2018. N 1. С. 5-6.
3. Мусалаев Х.Х., Абдуллабеков Р.А. Разработка селекционных приемов совершенствования мериносового типа овец для разведения в предгорной провинции Дагестана // Горное сельское хозяйство. 2018. N 3. С. 145-148.
4. Оздемиров А.А. Из истории создания Дагестанской горной породы овец (обзор) // Главный зоотехник. 2019. N 12. С.10-15.
5. Хожиков А.А., Абакаров А.А., Магомедов Ш.М. Межпородное скрещивание и мясная продуктивность овец в горно-отгонном овцеводстве // Материалы международной конференции «Основные направления развития науки и образования в АПК», Махачкала, 2018. С. 278-281.
6. Магомедов Ш.М. Резервы улучшения качества продукции овцеводства // Горное сельское хозяйство. 2018. N 3. С. 151-154.
7. Магомедов Ш.М., Садыков М.М. Молодая баранина – резерв увеличения продукции овцеводства // Проблемы развития АПК региона. 2018. N 2. С. 132-134. DOI: 10.15217/issn2079-0996.2018.2.132
8. Azari M.A., Dehnavi E., Yousefi S., Shahmohamadi L. Polymorphism of Calpastatin, Calpain and myostatin genes in native Dalagh sheep in Iran // Slovak Journal of Animal Science. 2012. Vol. 45. N 1. P. 111-116.
9. Suleman M., Khan S.U., Riaz M.N., Yousaf M., Shah A., Ishaq R., Abdul ghafoor Calpastatin (CAST) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds // Afrikan J. Biotechnol. 2012. V. 11. N 47. P. 10655-10660. DOI: 10.5897/AJB11.2478

10. Колосов Ю.А., Кобыляцкий П.С., Широкова Н.В., Гетманцева Л.В., Бакоев Н.Ф. Биотехнологические методы изучения полиморфизма гена гормона роста // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. N 2 (42). С. 82-86.
11. Hajihosseini A., Semsarnejad A., Abolow E., Hashrafi F., Negahdary M. Effect of GH gene polymorphisms on biometric traits in Makooeish sheep // Annals of Biological Research. 2013. V. 4. Iss. 6. P. 351-355.
12. Ozdemirov A.A., Seliyona M.I., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S., Ramazanova D.M. Полиморфизм генов PIT-1, PRL, GH молочного скота кавказской бурой породы, разводимого в различных природно-экологических зонах Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 2. С. 165-171. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-165-171

## REFERENCES

1. Stolpovskiy Yu.A., Zakharov-Gezekhus I.A. The problem of conservation of gene pools of domesticated animals. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 477-486. DOI: 10.18699/VJ17.266 (In Russian)
2. Rimikhanov N.I., Khozhokov A.A., Alilov M.M., Abakarov A.A., Magomedov Sh.M. State and prospects for the development of sheep breeding in the Republic of Dagestan. *Ovtsy, kozy, sherstnoe delo* [Sheep, goats, wool business]. 2018, no. 1, pp. 5-6. (In Russian)
3. Musalaev H.H., Abdullabekov R.A. Development of selection methods for improving the merino type of sheep for breeding in the foothill province of Dagestan. *Gornoe sel'skoe khozaystvo* [Mining agriculture]. 2018, no. 3, pp. 145-148. (In Russian)
4. Ozdemirov A.A. From the history of Dagestan mountains breed of sheep (review). *Glavnyi zootekhnik* [Chief zootechnician]. 2019, no. 12, pp. 10-15. (In Russian)
5. Khozhokov A.A., Abakarov A.A., Magomedov Sh.M. Mezhpородное скрещивание и мясная продуктивность овец в горно-отгонном овцеводстве [Crossbreeding and meat productivity of sheep in mountain-distant sheep breeding]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii*

- «Osnovnye napravleniya razvitiya nauki i obrazovaniya v APK», *Makhachkala*, 2018 [Materials of the international conference "The main directions of development of science and education in the agro-industrial complex", Makhachkala, 2018], pp. 278-281. (In Russian)
6. Magomedov Sh.M. Young laver reserve increase in the production of provisions. *Gornoe sel'skoe khozaystvo* [Mining agriculture]. 2018, no. 3, pp. 151-154. (In Russian)
7. Magomedov Sh.M., Sadykov M.M. Young mutton – a reserve for increasing the production of sheep. *Problems of development of the agro-industrial complex of the region*, 2018, no. 2, pp. 132-134. (Russian) DOI: 10.15217/issn2079-0996.2018.2.132
8. Azari M.A., Dehnavi E., Yusefi S., Shahmohamadi L. Polymorphism of Calpastatin, Calpain and myostatin genes in native Dalagh sheep in Iran. *Slovak Journal of Animal Science*. 2012, vol. 45, no. 1, pp. 111-116.
9. Suleman M., Khan S.U., Riaz M.N., Yousaf M., Shah A., Ishaq R., Abdul ghafoor Calpastatin (CAST) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds. *Afrikan J. Biotechnol.*, 2012, vol. 11, no. 47, pp. 10655-10660. DOI: 10.5897/AJB11.2478
10. Kolosov A.Yu., Kobylazki P.S., Shirokova N.V., Getmanceva L.V., Bakoyev N.F. Biotechnological methods of study of growth hormone gene polymorphism. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik* [Far Eastern Agrarian Bulletin]. 2017, no. 2 (42), pp. 82-86. (In Russian)
11. Hajihosseini A., Semsarnejad A., Abolow E., Hashrafi F., Negahdary M. Effect of GH gene polymorphisms on biometric traits in Makooeish sheep. *Annals of Biological Research*. 2013, vol. 4, iss. 6, pp. 351-355.
12. Ozdemirov A.A., Selionova M.I., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S., Ramazanova D.M. Polymorphism of PIT-1, PRL and GH genes in dairy cattle of the Caucasian Brown breed bred in various natural ecological zones of the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 165-171. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-165-171

## КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Абдусалам А. Хожиков и Сулейман Ш. Абдулмагомедов отобрали биоматериал для исследований. Алимсолтан А. Оздемиров, Гасан Д. Догеев, Людмила Н. Чижова и Евгения С. Суржилова провели ДНК-исследования и проанализировали данные. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Abdusalam A. Khozhokov and Suleiman Sh. Abdulmagomedov selected biomaterial for research. Alimsoltan A. Ozdemirov, Gasan D. Dogeev, Lyudmila N. Chizhova and Evgeniya S. Surzhikova conducted DNA research and analysed the data. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

## NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

## ORCID

Алимсолтан А. Оздемиров / Alimsoltan A. Ozdemirov <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

Людмила Н. Чижова / Lyudmila N. Chizhova <https://orcid.org/0000-0002-4029-0482>

Абдусалам А. Хожиков / Abdusalam A. Khozhokov <https://orcid.org/0000-0002-7303-0222>

Евгения С. Суржилова / Evgeniya S. Surzhikova <https://orcid.org/0000-0002-3955-0902>

Гасан Д. Догеев / Gasan D. Dogeev <https://orcid.org/0000-0002-5171-974X>

Сулейман Ш. Абдулмагомедов / Suleiman Sh. Abdulmagomedov <https://orcid.org/0000-0001-9162-5062>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 634.11.13  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54

## Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам при искусственном промораживании

Зоя Е. Ожерельева, Александра А. Гуляева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур», Орел, Россия

### Контактное лицо

Зоя Е. Ожерельева, кандидат сельскохозяйственных наук, лаборатория физиологии устойчивости плодовых растений ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур; 302530, Россия, Орловская область, Орловский район, Жилина, д. 1.  
Тел. +79208151975  
Email [ozherelieva@vniispk.ru](mailto:ozherelieva@vniispk.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>

### Формат цитирования

Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам при искусственном промораживании // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 45-54. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54

Получена 16 июля 2020 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2020 г.

Принята 21 сентября 2020 г.

### Резюме

**Цель.** Изучить устойчивость к весенним заморозкам сортов черешни селекции ВНИИСПК методом искусственного промораживания и выделить наиболее устойчивые.

**Материал и методы.** Объектами исследований служили 7 сортов черешни селекции института: Аделина, Малыш, Орловская розовая, Орловская фея, Подарок Орлу, Сияна, Троснянская. Моделировали в начале мая весенние заморозки: -1°, -2°, -3° и -4°С в климатической камере «Espec» PSL-2КРН. При каждом температурном режиме брали по 100 (шт.) бутонов и цветков в 3-х кратной повторности каждого сорта. Температуру снижали со скоростью 1°С в час. Длительность воздействия отрицательной температуры – 3 часа.

**Результаты.** В результате искусственного промораживания наблюдали начало повреждения цветков при температуре -1°С. При этом отметили высокую устойчивость бутонов черешни. Моделирование заморозков -2°...-4°С увеличило количество погибших цветков и бутонов. Устойчивость черешни к весенним заморозкам зависела от генотипа и стадии развития репродуктивных органов. Отмечена различная сумма активных температур для начала цветения и формирования завязей, что указывает на начало фенологических фаз, при которых генеративные органы восприимчивы к весенним заморозкам.

**Заключение.** Проведенный эксперимент позволил выделить среднеустойчивый к весенним заморозкам сорт черешни Малыш. Слабоустойчивые генотипы – Орловская розовая, Орловская фея, Троснянская, Сияна. Неустойчивые сорта – Аделина, Подарок Орлу. В период формирования завязи наибольший потенциал устойчивости к весенним заморозкам показал сорт Подарок Орлу.

### Ключевые слова

*Prúnus ávium* L., весенний заморозок, искусственное промораживание, бутоны, цветки, устойчивость.

# Resistance of generative organs of sweet cherry to spring frosts after artificial freezing

Zoya E. Ozherelieva and Aleksandra A. Gulyaeva

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Orel, Russia

## Principal contact

Zoya E. Ozherelieva, Candidate of Agricultural Science, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding; 1 Zhilina, Orel district, Orel region, Russia 302530.

Tel. +79208151975

Email [ozherelieva@vniispk.ru](mailto:ozherelieva@vniispk.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>

## How to cite this article

Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. Resistance of generative organs of sweet cherry to spring frosts after artificial freezing. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 45-54. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54

Received 16 July 2020

Revised 14 September 2020

Accepted 21 September 2020

## Abstract

**Aim.** The purpose of this research was to study the sustainability of Institute bred sweet cherry cultivars to spring frosts during flowering by the method of artificial freezing and to identify resistant cultivars.

**Material and Methods.** Seven Institute bred sweet cherry cultivars were studied: 'Adelina', 'Malysh', 'Orlovskaya Rozovaya', 'Orlovskaya Feya', 'Podarok Orlu', 'Siyana' and 'Trosnyanskaya'. Spring frosts were simulated in an "Espec" PSL-2KPH climate chamber in early May at -1°, -2°, -3° and -4°C. At each temperature regime, 100 pcs of flowers and buds of each cultivar were taken in 3-fold repetition. Temperature was lowered at the rate of 1°C per hour. The duration of exposure to negative temperatures was 3 hours.

**Results.** Damage to the stamens and pistils was assessed by the darkening of the tissues. In buds and blooming flowers after frosts, the pistils were first damaged but the stamens were not. Resistance to spring frosts decreased with the phenological development of the cherry's generative organs. The beginning of damage to the flowers as a result of the artificial freezing was noted at a temperature of -1°C. At the same time, the high stability of cherry buds was noted. Modeling frosts of -2°...-4°C increased the number of dead flowers and buds. The resistance of sweet cherries to spring frosts was found to depend on the genotype and stage of development of reproductive organs. A different sum of active temperatures for the beginning of flowering and ovary formation was noted, indicating the onset of phenological phases in which generative organs are susceptible to spring frosts.

**Conclusion.** The experiment made it possible to distinguish a medium-resistant cultivar "Malysh" which was resistant to spring frosts. Weakly stable genotypes were "Orlovskaya Rozovaya", "Orlovskaya Feya", "Trosnyanskaya" and "Siyana". Unstable cultivars were "Adelina", and "Podarok Orlu". During the formation of the ovary, the greatest potential for resistance to spring frosts was shown by "Podarok Orlu".

## Key Words

*Prúnus ávium* L., spring frost, artificial freezing, buds, flowers, resistance.

## ВВЕДЕНИЕ

Величина урожая, качество продукции зависит от многих факторов, в том числе и от устойчивости генеративных органов плодовых культур к весенним заморозкам, которые губительно воздействуют на бутоны, цветки, завязи и тем самым приносят значительный экономический ущерб [1; 2].

Повышение температуры в результате изменения климата, снижает общее количество морозных дней в течение года и удлиняет безморозный сезон [3-5]. Урушч с соавторами [6] обнаружили снижение количества весенних заморозков в Западной Европе за период 1951-2010 гг., которая была связана с повышением температуры воздуха весной в этом регионе. Однако риски заморозков связаны не только со среднесуточной температурой, но также с перепадами температуры в течение дня [7]. Если температура повышается, срок наступления фенологических фаз, а также время, частота и интенсивность заморозка меняется. В то время как некоторые авторы обнаружили [8; 9], что последние весенние заморозки стали наступать раньше, одновременно с развитием растений, другие авторы выяснили, что риск повреждений от мороза возрастает с повышением температуры [10-12].

Косточковые культуры требовательны к теплу, поэтому часто на потери урожая влияют весенние заморозки, длительное похолодание в период цветения и завязывания плодов [13-15]. Весенние заморозки могут привести у косточковых культур к потере урожая до 90% [16]. В зимний период, когда растения находятся в органическом покое, биохимические компоненты, такие как сахара, аминокислоты и белки – способствуют морозостойкости почек [17]. В течение этого времени оводненность почек низкая [18]. С повышением температуры весной содержание воды в почках увеличивается и начинается их набухание [19]. В этот период морозостойкость почек непрерывно снижается [20]. Так в полевых условиях [21] было отмечено, что температура -3...-10°C вызывала различную степень подмерзания цветков сортов персика. При температуре -4°C количество поврежденных цветков не превышало 29%. Температура -7°C вызывала 80% подмерзание цветков, а при -10°C – 100%. В других исследованиях отмечено более 50% погибших цветков от заморозков при температуре -2° и 100% при температуре -10°C [22]. Исследование, проводимое ранее нами [23], показало, что при температуре -1°C цветки вишни повреждались незначительно (менее 25%). При -2°C более половины цветков подмерзли (57,5%), бутоны повредились незначительно (12,5%). При воздействии температуры -3°C выявлены существенные повреждения генеративных органов вишни. Изучение устойчивости к весенним заморозкам сортов персика показало, что бутоны повреждаются в диапазоне температур от -6,8 до -11,2°C. Цветки повреждались от -1,7 до -4,1°C. Полученные результаты в контролируемых условиях свидетельствуют о том, что морозостойкость при воздействии низких температур оценивается с высокой степенью достоверности [24]. Однако исследований об устойчивости к весенним заморозкам черешни, основанных на искусственном промораживании практически нет.

В данном исследовании мы определили влияние весенних заморозков на устойчивость генеративных органов в период бутонизации, цветения и формирования завязи черешни в контролируемых условиях.

Цель работы заключалась в изучение устойчивости к весенним заморозкам репродуктивных органов сортов черешни селекции ВНИИСПК методом искусственного промораживания и выделение наиболее устойчивых.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на базе лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений ВНИИСПК в 2018-2020 годах. Объектами служили сорта черешни селекции института. Контрольный сорт – Орловская розовая. Сорт внесен в государственный реестр в 2010 г. по Центрально-Черноземному региону. Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам определяли методом искусственного промораживания [25]. Промораживали ветки с соцветиями, так как это больше соответствует естественным условиям. Ветки связывали в пучки так, чтобы соцветия были открыты, часть листьев удаляли. Основание веток смазывали садовым варом и обертывали влажной тканью. Моделировали в начале и середине мая весенние заморозки: -1°, -2°, -3° и -4°C в климатической камере «Esres» PSL-2KPH (Япония). При каждом температурном режиме брали по 100 шт. цветков, бутонов и завязь каждого сорта в 3-х кратной повторности. Температуру снижали со скоростью 1°C в час. Длительность воздействия отрицательной температуры – 3 часа. После достижения температуры 0...-1°C ветки опрыскивали водой из пульверизатора для предотвращения переохлаждения и продолжали снижать температуру до установленной. Ветки оттаивали при 0...2°C, затем постепенно повышали температуру до 20...22°C со скоростью 3°C в час. Опытный материал выдерживали в лаборатории (24 ч.) в сосудах с водой при t=22°C. В каждом соцветии просматривали цветки и бутоны. Оценивали повреждение тычинок, пестиков по потемнению тканей визуально. Затем подсчитывали количество здоровых и поврежденных цветков и бутонов. Подмерзание пестика [26-28] означает, что завязывания плодов не будет.

Ранжирование сортов черешни на группы устойчивости к весенним заморозкам провели согласно методическим рекомендациям [25]:

1. Высокоустойчивые – количество поврежденных цветков, бутонов и завязи после промораживания при t= -3,0°C не более 25,0%;
2. Устойчивые – количество поврежденных цветков, бутонов и завязи после промораживания при t= -3,0°C от 25,1 до 50,0%;
3. Среднеустойчивые – количество поврежденных цветков и бутонов при t= -3,0°C от 50,1 до 75,0%;
4. Неустойчивые – количество поврежденных цветков и бутонов после промораживания при t= -3,0°C более 75,0%.

Сумма активных температур для каждого изученного сорта была рассчитана сложением среднесуточной температуры воздуха  $\geq 3^{\circ}\text{C}$  в весенний

период, которая необходима для начала цветения и формирования завязи черешни [29]. Результаты обрабатывали методом дисперсионного (ANOVA) и корреляционного (r-Pearson) анализом, с использованием программного пакета MS Excel. Различия между вариантами считали достоверными при  $p \leq 0,05$ .

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Весеннее развитие генеративных почек у черешни начинается при среднесуточной температуре  $\geq 3^\circ\text{C}$ . В Орловской области черешня цветет в конце апреля-начале мая. За годы исследований рассчитали сумму активных температур (САТ), которая варьировала в зависимости от сорта. Орловская розовая и Троснянская цветут раньше, чем другие сорта, т.е. при сумме активных температур  $255,8^\circ\text{C}$  и  $241,4^\circ\text{C}$  соответственно. Так для начала цветения сорта Сияна отметили необходимую САТ= $276,8^\circ\text{C}$ , для сортов Аделина, Малыш, Орловская фея, Подарок Орлу САТ была выше ( $298,4^\circ\text{C}$ ). Для формирования завязи сортов Сияна, Троснянская потребовалась сумма активных температур –  $394^\circ\text{C}$ . Сумма активных температур для развития завязи сортов Аделина, Подарок Орлу и Малыш была выше –  $412,2^\circ\text{C}$ .

В результате искусственного промораживания генеративных органов черешни (фенофаза – разрыхление бутонов) при  $-1^\circ\text{C}$  показано, что генотипы черешни были на одном уровне устойчивости к весеннему заморозку. При этом сорта черешни (Аделина, Малыш, Орловская розовая, Орловская фея, Троснянская) переносили температуру  $-1^\circ\text{C}$  без повреждений. У сортов Подарок Орлу, Сияна отметили незначительное подмерзание бутонов (не более 10%) при снижении температуры до  $-1^\circ\text{C}$ . В большей степени повредились бутоны у сорта Сияна. После воздействия температуры  $-2^\circ\text{C}$  не выявили существенные различия между изучаемыми сортами. У сорта Малыш бутоны сохранились здоровые. У остальных сортов бутоны повредились незначительно (менее 10%). Наибольшая степень подмерзания при  $t = -2^\circ\text{C}$  выявлена у сортов Подарок Орлу и Сияна. При температурном режиме  $-3^\circ\text{C}$  у сорта Малыш отметили единичные бутоны с погибшими пестиками. Были отмечены сорта (Орловская розовая, Орловская фея, Сияна, Троснянская), у которых бутоны повредились температурой  $-3^\circ\text{C}$  не более 25%. У сортов Аделина, Подарок Орлу выявили среднее количество погибших бутонов. При снижении температуры до  $-4^\circ\text{C}$  у всех изучаемых сортов черешни бутоны погибли (табл. 1, рис. 1).

**Таблица 1.** Дисперсионный анализ результатов изучения черешни по устойчивости бутонов к весенним заморозкам  
**Table 1.** Analysis of variance (ANOVA) of the results of study of resistance of sweet cherry buds to spring frosts

| Источник<br>варьирования<br>Source of variation | Сумма<br>квадратов<br>Sum of<br>squares | Число степеней<br>свободы<br>Number of degrees<br>of freedom | Средний<br>квадрат<br>Middle square | Критерий Фишера, F<br>Fischer criterion, F |                                                                  |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                 |                                         |                                                              |                                     | фактическое<br>значение<br>actual value    | табличное<br>значение <sub>05</sub><br>table value <sub>05</sub> |
| t = -1°C                                        |                                         |                                                              |                                     |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 454,78668                               | 6                                                            | 75,7977829                          | 1,7                                        | 2,4                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 1341,0702                               | 30                                                           | 44,7023392                          |                                            |                                                                  |
| t = -2°C                                        |                                         |                                                              |                                     |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 816,56134                               | 6                                                            | 141,151291                          | 1,2                                        | 2,4                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 3945,6809                               | 36                                                           | 107,582397                          |                                            |                                                                  |
| t = -3°C                                        |                                         |                                                              |                                     |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 2930,7219                               | 6                                                            | 48,453644                           | 1,8                                        | 2,4                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 9763,8838                               | 36                                                           | 271,218994                          |                                            |                                                                  |

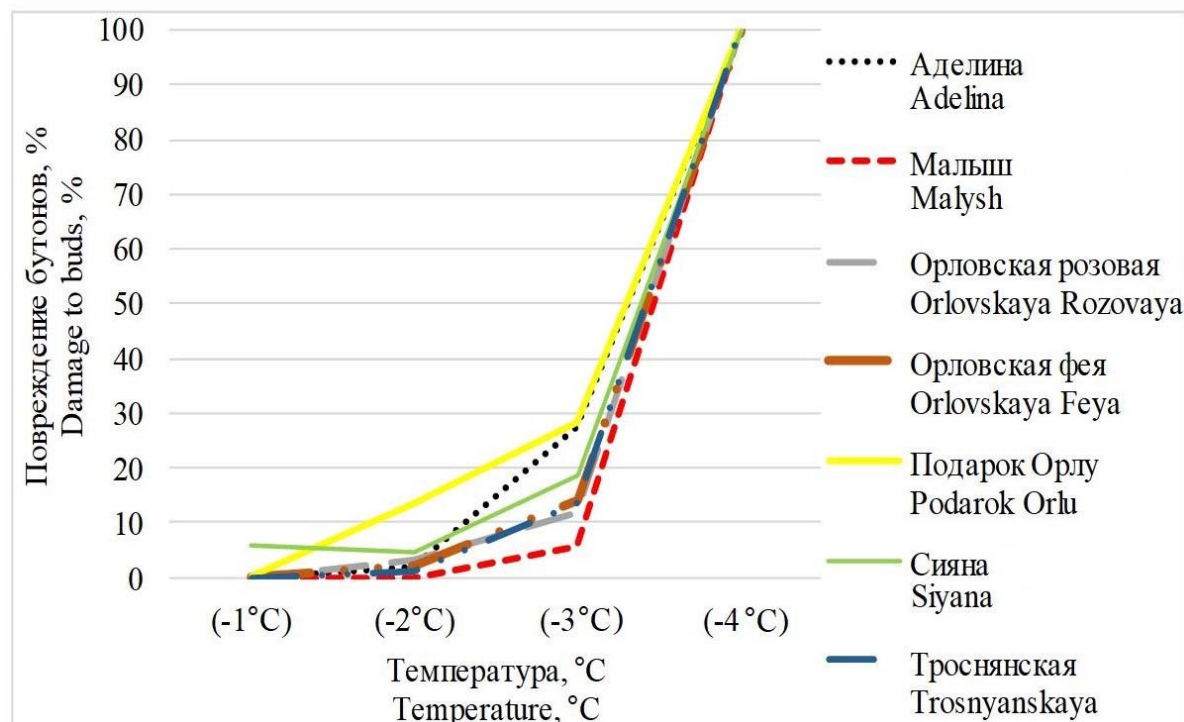
После моделирования весеннего заморозка  $-1^\circ\text{C}$  выявлены существенные различия между сортами черешни по подмерзанию цветков. При этом установлены сорта черешни (Малыш, Орловская розовая, Подарок Орлу, Троснянская) с поврежденными цветками менее 10%. У остальных сортов отметили подмерзание цветков не более 25%. Максимальное количество поврежденных цветков наблюдали у сорта Аделина. После воздействия температуры  $-2^\circ\text{C}$  отмечены существенные различия между генотипами черешни. У отдельных сортов (Малыш, Орловская

розовая, Троснянская) цветки повредились менее 25%. У них зафиксировали повреждение цветков – 14,2, 13,8 и 14,2% соответственно. Остальные сорта показали при данном температурном режиме средний уровень устойчивости цветков. В большей степени цветки повредились при  $t = -2^\circ\text{C}$  у сортов Аделина и Подарок Орлу (рис. 3).

Промораживание сортов черешни при температурном режиме  $-3^\circ\text{C}$  во время цветения позволило отметить существенные различия между изучаемыми генотипами. Выявили сорт Малыш с

наименьшим процентом поврежденных цветков, который проявил средний уровень устойчивости к заморозку. У ряда сортов черешни (Троснянская, Орловская розовая, Орловская фея, Сияна) выявили высокую степень повреждения цветков при действии

температуры  $-3^{\circ}\text{C}$ . Очень сильное повреждение цветков при температурном режиме  $-3^{\circ}\text{C}$  наблюдали у Аделины и Подарка Орлу. Температура  $-4^{\circ}\text{C}$  оказалась критической для цветков изучаемых сортов черешни, также, как и для бутонов (табл. 2, рис. 2).



**Рисунок 1.** Повреждение бутонов черешни после моделирования весенних заморозков, % (достоверно при уровне значимости  $p \leq 0,05$ )

**Figure 1.** Damage to sweet cherry buds after modeling spring frosts, % (statistically significant differences at  $p \leq 0.05$ )

**Таблица 2.** Дисперсионный анализ результатов изучения черешни по устойчивости цветков к весенним заморозкам  
**Table 2.** Analysis of variance (ANOVA) of the results of study of resistance of sweet cherry flowers to spring frosts

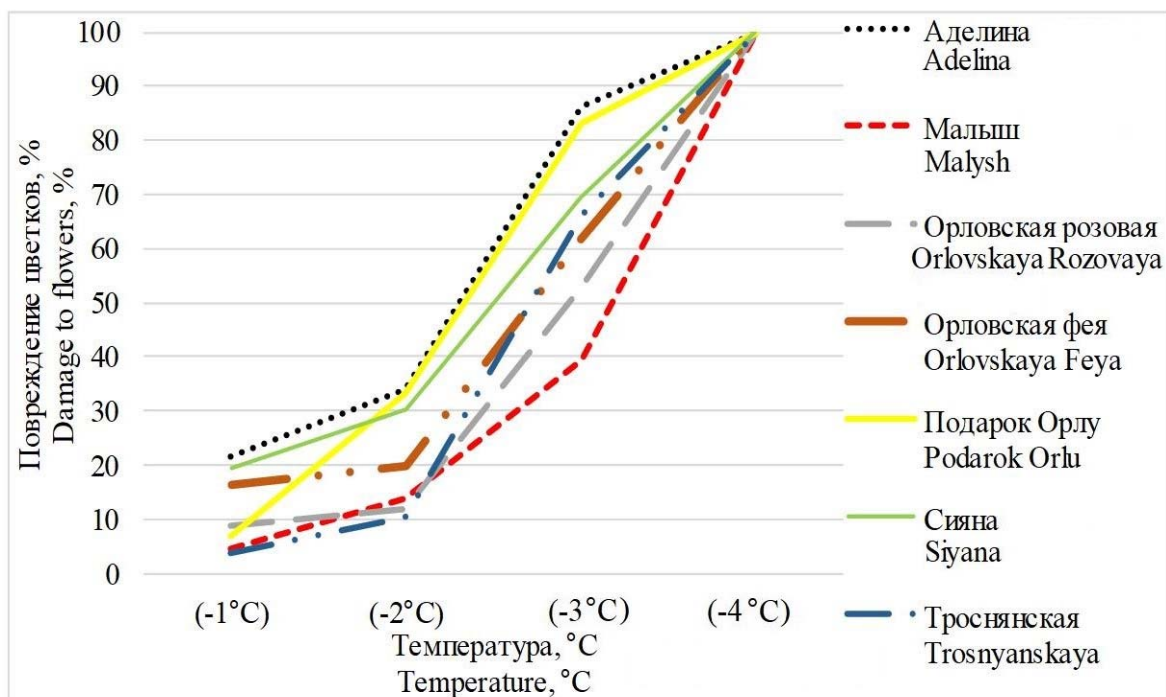
| Источник<br>варьирования<br>Source of variation | Сумма<br>квадратов<br>Sum of<br>squares | Число степеней<br>свободы<br>Number of degrees<br>of freedom | Средний<br>квадрат<br>Middle<br>square | Критерий Фишера, F<br>Fischer criterion, F |                                                                  |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                 |                                         |                                                              |                                        | фактическое<br>значение<br>actual value    | табличное<br>значение <sub>05</sub><br>table value <sub>05</sub> |
| t = -1°C                                        |                                         |                                                              |                                        |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 2271,18                                 | 6                                                            | 378,53024                              | 4,4                                        | 2,4                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 3080,2903                               | 36                                                           | 85,563622                              |                                            |                                                                  |
| t = -2°C                                        |                                         |                                                              |                                        |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 4594,4985                               | 6                                                            | 765,749756                             | 3,5                                        | 2,4                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 7820,8384                               | 36                                                           | 217,245514                             |                                            |                                                                  |
| t = -3°C                                        |                                         |                                                              |                                        |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 14161,911                               | 6                                                            | 2360,3186                              | 6,3                                        | 2,4                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 13443,833                               | 36                                                           | 373,43982                              |                                            |                                                                  |

Определили устойчивость завязи черешни к весенним заморозкам. При снижении температуры до  $-1^{\circ}\text{C}$  все изучаемые сорта черешни характеризовались высокой

устойчивостью завязи. Подмерзание завязи не зафиксировали. При последующем понижении температуры до  $-1,6^{\circ}\text{C}$  были отмечены повреждения

завязи у сортов черешни не более 20%, что согласуется с полевыми данными [30]. Воздействие температуры  $-2^{\circ}\text{C}$  значительно усилило степень подмерзания завязи у черешни. У генотипа Малыш отмечено минимальное повреждение завязи отрицательной температурой (18,8%) по сравнению с другими сортами. У отдельных сортов (Подарок Орлу, Сияна, Троснянская) регистрировали среднее подмерзание завязи (от 28,6 до 40%) при температурном режиме  $-2^{\circ}\text{C}$ . В большей степени завязь повредилась при  $t = -2^{\circ}\text{C}$  у сорта

Аделина. Дальнейшее понижение температуры до  $-2,5^{\circ}\text{C}$  стала критической для завязи сортов Аделина и Троснянская. Очень сильно повредилась завязь у Сияны. Сильное подмерзание завязи наблюдали у сорта Малыш. По сравнению с другими сортами минимальное количество поврежденной завязи отметили у сорта Подарок Орлу. Промораживание при температурном режиме  $-3^{\circ}\text{C}$  единичную живую завязь (6%) выявили у сорта Сияна. У сорта Подарок Орлу сохранилось 28% живой завязи (табл. 3; рис. 3).

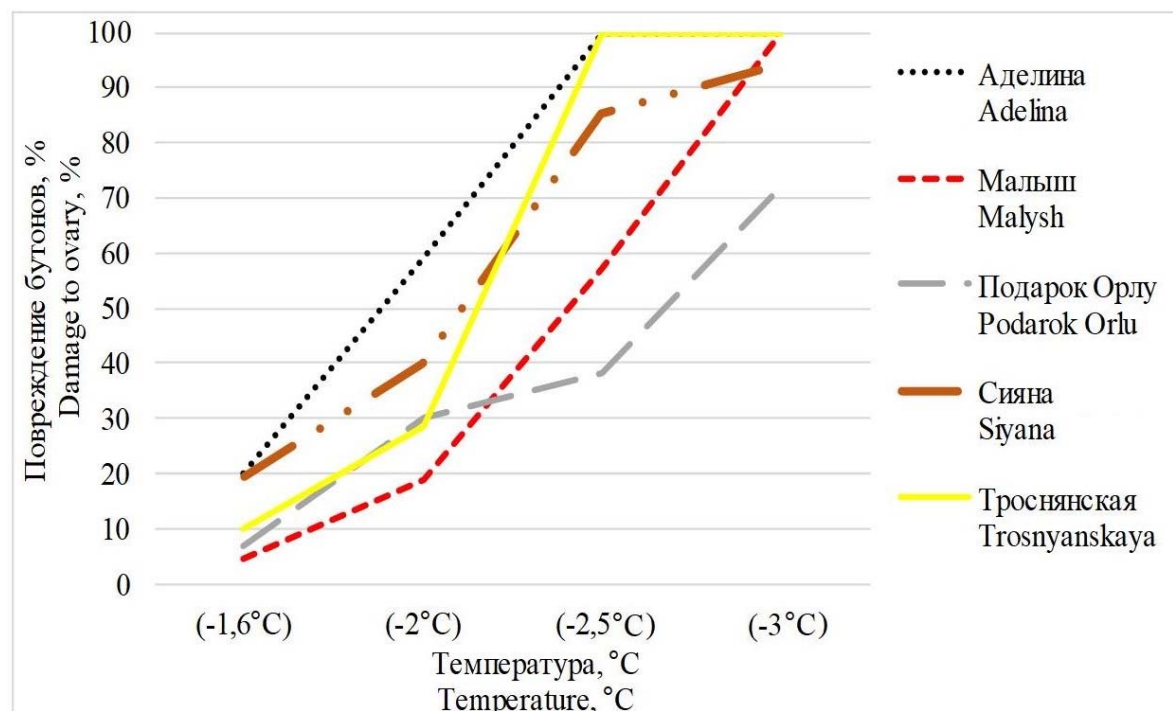


**Рисунок 2.** Повреждение цветков черешни после моделирования весенних заморозков (достоверно при уровне значимости  $p \leq 0,05$ )

**Figure 2.** Damage to sweet cherry flowers after modeling spring frosts (statistically significant differences at  $p \leq 0.05$ )

**Таблица 3.** Дисперсионный анализ результатов изучения черешни по устойчивости завязи к весенним заморозкам  
**Table 3.** Analysis of variance (ANOVA) of the results of study of resistance of sweet cherry ovaries to spring frosts

| Источник<br>варьирования<br>Source of variation | Сумма<br>квадратов<br>Sum<br>of squares | Число степеней<br>свободы<br>Number of degrees<br>of freedom | Средний<br>квадрат<br>Middle square | Критерий Фишера, F<br>Fischer criterion, F |                                                                  |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                 |                                         |                                                              |                                     | фактическое<br>значение<br>actual value    | табличное<br>значение <sub>05</sub><br>table value <sub>05</sub> |
| t = -1,6°C                                      |                                         |                                                              |                                     |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 604,70404                               | 4                                                            | 151,17601                           | 4,3                                        | 3,8                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 278,6561                                | 8                                                            | 34,8320122                          |                                            |                                                                  |
| t = -2°C                                        |                                         |                                                              |                                     |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 2818,8909                               | 4                                                            | 704,72272                           | 90,2                                       | 3,8                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 62,50061                                | 8                                                            | 7,8125763                           |                                            |                                                                  |
| t = -2,5°C                                      |                                         |                                                              |                                     |                                            |                                                                  |
| Сорта<br>Cultivars                              | 9054,3516                               | 4                                                            | 2263,5879                           | 4166,4                                     | 3,8                                                              |
| Случайные<br>отклонения<br>Random deviations    | 4,346355                                | 8                                                            | 0,5432944                           |                                            |                                                                  |



**Рисунок 3.** Повреждение завязи черешни после моделирования весенних заморозков, % (достоверно при уровне значимости  $p \leq 0,05$ )

**Figure 3.** Damage to sweet cherry ovaries after a simulation of spring frosts, % (statistically significant differences at  $p \leq 0.05$ )

В результате корреляционного анализа отметили сильную взаимосвязь между интенсивностью весенних заморозков и степенью подмерзания генеративных органов сортов черешни (табл. 4).

**Таблица 4.** Корреляционная связь между степенью повреждения генеративных органов сортов черешни и температурой весеннего заморозка

**Table 4.** Correlation between the degree of damage to the generative organs of sweet cherry varieties and the temperature of spring frost

| Сорт<br>Cultivar                                | Коэффициент корреляции, r<br>Correlation coefficient, r |                   |                 |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|
|                                                 | Бутоны<br>Buds                                          | Цветки<br>Flowers | Завязь<br>Ovary |
| <b>Аделина</b><br>Adelina                       | -0,90                                                   | -0,97             | -0,87           |
| <b>Малыш</b><br>Malysh                          | -0,80                                                   | -0,94             | -0,99           |
| <b>Орловская розовая</b><br>Orlovskaya Rozovaya | -0,83                                                   | -0,95             | -               |
| <b>Орловская фея</b><br>Orlovskaya Feya         | -0,85                                                   | -0,96             | -               |
| <b>Подарок Орлу</b><br>Podarok Orlu             | -0,91                                                   | -0,98             | -0,94           |
| <b>Сияна</b><br>Siyana                          | -0,82                                                   | -0,98             | -0,93           |
| <b>Троснянская</b><br>Trosnyanskaya             | -0,84                                                   | -0,96             | -0,87           |

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере фенологического развития генеративных органов черешни происходит снижение их устойчивости к весенним заморозкам. В большей степени повреждались цветки и завязь, чем бутоны. В бутонах и распустившихся цветках после заморозков в

первую очередь повреждался пестик, тычинки оставались не повреждёнными. В результате искусственного промораживания отметили начало повреждения цветков при температуре  $-1^{\circ}\text{C}$ . Моделирование заморозков  $-2^{\circ}\text{C}$ ... $-3^{\circ}\text{C}$  увеличило количество погибших репродуктивных органов.

Температура  $-4^{\circ}\text{C}$  стала критической для черешни в период цветения. Для завязи сортов черешни критической оказалась температура  $-3^{\circ}\text{C}$ . Высокоустойчивых и устойчивых сортов черешни не выявили. Проведенный эксперимент позволил выделить среднеустойчивый к весенним заморозкам сорт черешни Малыш, когда генеративные почки находились в фазе – разрыхление бутонов и цветение. Слабоустойчивые генотипы – Орловская розовая, Орловская фея, Троснянская, Сияна. Неустойчивые сорта – Аделина, Подарок Орлу, в период формирования завязи наибольший потенциал устойчивости к весенним заморозкам показал сорт Подарок Орлу.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Winkler J.A., Cinderich A.B., Ddumba S.D., Doubler D., Nikolic J., Perdinan P.A.M., Young D.R., Zavalloni C. Understanding the Impacts of Climate on Perennial Crops // *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources* / ed. Pielke R.A. Academic Press, 2013. V. 2. P. 37-49. DOI: 10.1016/B978-0-12-384703-4.00208-2
- Ожерельева З.Е., Голяева О.Д. Устойчивость цветков и бутонов смородины красной к весенним заморозкам // *Селекция, генетика и сортовая агротехника плодовых культур*. Орел: ВНИИСПК, 2009. С. 99-101.
- Robeson S.M. Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century // *Climatic Change*. 2002. V. 52. N 1-2. P. 219-238. DOI: 10.1023/A:1013088011223
- Fernández-Long M.E., Müller G.V., Beltrán-Przekurat A., Scarpatti O.E. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina // *International Journal of Climatology*. 2013. V. 33. Iss. 7. P. 1673-1686. DOI: 10.1002/joc.3541
- Yu L., Zhong S., Bian X., Heilmann W.E., Andresen J.A. Temporal and spatial variability of frost-free seasons in the Great Lakes region of the United States // *International Journal of Climatology*. 2014. V. 34. Iss. 13. P. 3499-3514. DOI: 10.1002/joc.3923
- Wypych A., Ustrnul Z., Sulikowska A., Chmielewski F.M., Bochenek B. Spatial and temporal variability of the frost-free season in Central Europe and its circulation background // *International Journal of Climatology*. 2017. V. 37. Iss. 8. P. 3340-3352. DOI: 10.1002/joc.4920
- Rigby J.R., Porporato A. Spring frost risk in a changing climate // *Geophysical Research Letters*. 2008. V. 35. Iss. 12. L12703. DOI: 10.1029/2008GL033955
- Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter C. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe // *Theoretical and Applied Climatology*. 2003. V. 74. N 1-2. P. 41-51. DOI: 10.1007/s00704-002-0704-6
- Eccel E., Rea R., Caffarra A., Crisci A. Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation // *International Journal of Biometeorology*. 2009. V. 53. Iss. 3. P. 273-286. DOI: 10.1007/s00484-009-0213-8
- Rochette P., Bélanger G., Castonguay Y., Bootsma A., Mongrain D. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada // *Canadian Journal of Plant Science*. 2004. V. 84. N 4. P. 1113-1125. DOI: 10.4141/P03-177
- Kaukoranta T., Tahvonen R., Ylämäki A. Climatic potential and risks for apple growing by 2040 // *Agricultural and Food Science*. 2010. V. 19. N 2. P. 144-159. DOI: 10.2137/145960610791542352
- Augsburger C.K. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing // *Ecology*. 2013. V. 94. Iss. 1. P. 41-50. DOI: 10.1890/12-0200.1
- Vitasse Y., Lenz A., Hoch G., Körner C. Earlier leaf-out rather than difference in freezing resistance puts juvenile trees at greater risk of damage than adult trees // *Journal of Ecology*. 2014. V. 102. Iss. 4. P. 981-988. DOI: 10.1111/1365-2745.12251
- Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Влияние заморозков на устойчивость генеративных органов вишни в период цветения // *Современное садоводство*. 2015. N 3. С. 45-51. URL: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2015/3/47.pdf>. (дата обращения: 15.06.2020)
- Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Изучение устойчивости вишни к весенним заморозкам // *Научно-методический электронный журнал Концепт*. 2016. Т. 26. С. 56-60. URL: <http://e-koncept.ru/2016/46412.htm>. (дата обращения: 15.06.2020)
- Proebsting E.L. Cold resistance of stone fruit flower buds. Cooperative Extension of Washington State University, Oregon State University, University of Idaho and U.S. Dept. of Agriculture, 1982. С. 1-7.
- Lasheen A.M., Chaplin C.E. Biochemical comparison of seasonal variations in three peach cultivars differing in cold hardiness // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1971. N 96. С. 154-159.
- Götz K.-P., Chmielewski F.M., Homann T., Huschek G., Matzneller P., Rawel M. Seasonal changes of physiological parameters in sweet cherry (*Prunus avium* L.) buds // *Scientia Horticulturae*. 2014. V. 172. P. 183-190. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.012
- Chmielewski F.M., Götz K.P. Identification and timing of dormant and ontogenetic phase for sweet cherries in Northeast Germany for modelling purposes // *Journal of Horticulture*. 2017. V. 4. N 3. P. 205. DOI: 10.4172/2376-0354.1000205
- Miranda C., Santesteban L.G., Royo J.B. Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated *Prunus* species // *HortScience*. 2005. V. 40. Iss. 2. P. 357-361. DOI: 10.21273/hortsci.40.2.357
- Szalay L. Frost resistance and winter hardiness of apricot and peach varieties, (PhD). Budapest, 2001. P. 1-109.
- Szabó Z. Various factors in the yield stability of stone fruits, (DSc). Budapest, 2002. P. 1-228.
- Ожерельева З.Е., Ефремов И.Н. Изучение устойчивости вишни к весенним заморозкам // *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2019. Т. 6. N 1. С. 80-82.
- Szalay L., Gyökös I.G., Békefi Z. Cold hardiness of peach flowers at different phenological stages // *Horticultural Science*. 2018. V. 45. N 3. P. 119-124. DOI: 10.17221/146/2016-HORTSCI
- Леонченко В.Г., Евсеева П.П., Жбанова Е.В., Черенкова Т.А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов (методические рекомендации). Мичуринск: ВНИИГИСПР, 2007. 72 с.
- Rodrigo J. Spring frosts in deciduous fruit trees. Morphological damage and flower hardiness // *Scientia*

- Horticulturae. 2000. V. 85. Iss. 3. P. 155-173. DOI: 10.1016/S0304-4238(99)00150-8
27. Salazar-Gutiérrez M.R., Chaves B., Anothai J., Whiting M., Hoogenboom G. Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages // *Scientia Horticulturae*. 2014. V. 172. P. 161-167. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.002
28. Matzneller P., Götz K.-P., Chmielewski F.-M. Spring frost vulnerability of sweet cherries under controlled conditions // *International Journal of Biometeorology*. 2016. V. 60. N 1. P. 123-130. DOI: 10.1007/s00484-015-1010-1
29. Stepulaitiene I., Žebrauskiene A., Stanys V. Frost resistance is associated with development of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) generative buds // *Zemdirbyste-Agriculture*. 2013. V. 100. N 2. P. 175-178. DOI: 10.13080/z-a.2013.100.022
30. Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Устойчивость генеративных органов вишни к весенним заморозкам // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. N 4. P. 7-10. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/7-10
- ### REFERENCES
- Winkler J.A., Cinderich A.B., Ddumba S.D., Doubler D., Nikolic J., Perdinan P.A.M., Young D.R., Zavalloni C. Understanding the Impacts of Climate on Perennial Crops. *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources*. Academic Press. 2013, vol. 2, pp. 37-49. DOI: 10.1016/B978-0-12-384703-4.00208-2
  - Ozherelyeva Z.E., Golyaeva O.D. [Resistance of flowers and buds of red currant to spring frost]. In: *Selekziya, genetika i sortovaya agrotehnika plodovykh kultur* [Selection, genetics and varietal agricultural technology of fruit crops]. 2009, pp. 99-101. (In Russian)
  - Robeson S.M. Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change*, 2002, vol. 52, no. 1-2, pp. 219-238. DOI: 10.1023/A:1013088011223
  - Fernández-Long M.E., Müller G.V., Beltrán-Przekurat A., Scarpati O.E. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 2013, iss. 33, pp. 1673-1686. DOI: 10.1002/joc.3541
  - Yu L., Zhong S., Bian X., Heilmann W.E., Andresen J.A. Temporal and spatial variability of frost-free seasons in the Great Lakes region of the United States. *International Journal of Climatology*, 2014, vol. 34, iss. 13, pp. 3499-3514. DOI: 10.1002/joc.3923
  - Wypych A., Ustrnul Z., Sulikowska A., Chmielewski F.M., Bochenek B. Spatial and temporal variability of the frost-free season in Central Europe and its circulation background. *International Journal of Climatology*, 2016, vol. 38, iss. 8, pp. 3340-3352. DOI: 10.1002/joc.4920
  - Rigby J.R., Porporato A. Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 2008, vol. 35, iss. 12, L12703. DOI: 10.1029/2008GL033955
  - Scheffinger H., Menzel A., Koch E., Peter C. Trends of spring time frost events and phenological dates in central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 2003, vol. 74, iss. 1-2, pp. 41-51. DOI: 10.1007/s00704-002-0704-6
  - Eccel E., Rea R., Caffarra A., Crisci A. Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation. *International Journal of Biometeorology*, 2009, vol. 53, iss. 3, pp. 273-286. DOI: 10.1007/s00484-009-0213-8
  - Rochette P., Bélanger G., Castonguay Y., Bootsma A., Mongrain D. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 2004, vol. 84, no. 4, pp. 1113-1125. DOI: 10.4141/P03-177
  - Kaukoranta T., Tahvonen R., Ylämäki A. Climatic potential and risks of apple growing by 2040. *Agricultural and Food Science*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 144-159. DOI: 10.2137/145960610791542352
  - Augspurger C.K. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: spring damage risk is increasing. *Ecology*, 2013, vol. 94, iss. 1, pp. 41-50. DOI: 10.1890/12-0200.1
  - Vitasse Y., Lenz A., Hoch G., Körner C. Earlier leaf-out rather than difference in freezing resistance puts juvenile trees at greater risk of damage than adult trees. *Journal of Ecology*, 2014, vol. 102, iss. 4, pp. 981-988. DOI: 10.1111/1365-2745.12251
  - Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. Frost effect on resistance of cherry generative organs during flourification. *Sovremennoe sadovodstvo*, 2015, no 3, pp. 45-51. Available at: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2015/3/47.pdf>. (accessed 15.06.2020) (In Russian)
  - Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. [Studying the resistance of cherries to spring frosts]. *Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal Kontsept*, 2016, vol. 26, pp. 56-60. (In Russian) Available at: <http://e-koncept.ru/2016/46412.htm>. (accessed 15.06.2020)
  - Proebsting E.L. Cold resistance of stone fruit flower buds. Cooperative Extension of Washington State University, Oregon State University, University of Idaho and U.S. Dept. of Agriculture, 1982, pp. 1-7.
  - Lasheen A.M., Chaplin C.E. Biochemical comparison of seasonal variations in three peach cultivars differing in cold hardiness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1971, no. 96, pp. 154-159.
  - Götz K.P., Chmielewski F.M., Homann T., Huschek G., Matzneller P., Rawel M. Seasonal changes of physiological parameters in sweet cherry (*Prunus avium* L.) buds. *Scientia Horticulturae*, 2014, vol. 172, pp. 183-190. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.012
  - Chmielewski F.M., Götz K.P. Identification and timing of dormant and ontogenetic phase for sweet cherries in Northeast Germany for modelling purposes. *Journal of Horticulture*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 205. DOI: 10.4172/2376-0354.1000205
  - Miranda C., Santesteban L.G., Royo J.B. Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated *Prunus* species. *HortScience*, 2005, vol. 40, iss. 2, pp. 357-361. DOI: 10.21273/hortsci.40.2.357
  - Szalay L. Frost resistance and winter hardiness of apricot and peach varieties, (PhD). Budapest, 2001, pp. 1-109.
  - Szabó Z. Various factors in the yield stability of stone fruits, (DSc). Budapest, 2002, pp. 1-228.
  - Ozherelieva Z.E., Efremov I.N. Study resistance of cherry to spring frosts. *Selektsiya i sortovozvedenie sadovykh kul'tur* [Breeding and variety cultivation of fruit and berry crops]. 2019, vol. 6, no. 1, pp. 80-82. (In Russian)
  - Szalay L., Gyökös I.G., Békefi Z. Cold hardiness of peach flowers at different phenological stages. *Horticultural Science*, 2018, vol. 45, no. 3, pp. 119-124. DOI: 10.17221/146/2016-HORTSCI
  - Leonchenko V.G., Evseeva R.P., Zhanova E.V., Cherenkova T.A. *Predvaritel'nyi otkor perspektivnykh genotipov plodovykh rastenii na ekologicheskuyu ustoychivost' i biokhimitskuyu tsennost' plodov (metodicheskie rekomendatsii)* [Preliminary selection of

promising genotypes of fruit plants for ecological stability and biochemical value of fruits (recommendations)]. Michurinsk, VNIIGISPR Publ., 2007, 72 p. (In Russian)

26. Rodrigo J. Spring frosts in deciduous fruit trees. Morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, vol. 85, iss. 3, pp. 155-173. DOI: 10.1016/S0304-4238(99)00150-8

27. Salazar-Gutiérrez M.R., Chaves B., Anothai J., Whiting M., Hoogenboom G. Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages. *Scientia Horticulturae*, 2014, vol. 172, pp. 161-167. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.002

28. Matzneller P., Götz K.-P., Chmielewski F.-M. Spring frost vulnerability of sweet cherries under controlled conditions. *International Journal of Biometeorology*, 2016, vol. 60, no. 1, pp. 123-130. DOI: 10.1007/s00484-015-1010-1

29. Stepulaitiene I., Žebrauskiene A., Stanys V. Frost resistance is associated with development of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) generative buds. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2013, vol. 100, no. 2, pp. 175-178. DOI: 10.13080/z-a.2013.100.022

30. Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. The cherry's generative organs resistance to spring frost. *Vestnik of the Russian agricultural science*, 2018, no. 4, pp. 7-10. (In Russian) DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/7-10

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Зоя Е. Ожерельева и Александра А. Гуляева собрали материал, анализировали и интерпретировали результаты исследований, подготовили рукопись. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность за плагиат, самоплагиат или другие неэтические проблемы.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zoya E. Ozherelieva and Aleksandra A. Gulyaeva collected the data, conducted analysis and interpretation and drafted the manuscript. All authors equally participated in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Зоя Е. Ожерельева / Zoya E. Ozherelieva <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>  
Александра А. Гуляева / Aleksandra A. Gulyaeva <https://orcid.org/0000-0002-5528-0981>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.461:633.11«324»:631.5(470.62/.67)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-55-64

## Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе обыкновенном

Елена А. Менькина, Надежда Н. Шаповалова, Анастасия А. Воропаева

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

### Контактное лицо

Елена А. Менькина, кандидат сельскохозяйственных наук, лаборатория почвоведения и агрохимии, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр; 356241 Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никитина, 49.  
Тел. +79187474997  
Email [zzigen@list.ru](mailto:zzigen@list.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0512-8893>

### Формат цитирования

Менькина Е.А., Шаповалова Н.Н., Воропаева А.А. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе обыкновенном // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 55-64. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-55-64

Получена 25 июня 2020 г.  
Прошла рецензирование 14 августа 2020 г.  
Принята 21 сентября 2020 г.

### Резюме

**Цель.** Изучить влияние технологии возделывания на численность эколого-трофических групп микроорганизмов и урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья.

**Материал и методы.** Численность микроорганизмов определяли методом подсчета колоний на плотных питательных средах по общепринятым методикам.

**Результаты.** Определена численность микроорганизмов, трансформирующих органические и минеральные формы азота, и почвенных дрожжей в зависимости от метеорологических условий, обработки почвы и удобрений. Наиболее существенное влияние на активность микробиоты почвы оказали минеральные удобрения. В разные по влагообеспеченности годы удобрения улучшали питательный режим почвы, что способствовало усилению развития растений, активности микрофлоры и повышению урожайности озимой пшеницы. В обеих технологиях наибольшая численность всех изученных групп микроорганизмов отмечена при внесении полного минерального удобрения –  $N_{52}P_{52}K_{52}$ . Эта доза удобрения обеспечила также получение самой высокой урожайности озимой пшеницы – 6,07-6,33 т/га. При сбалансированном режиме питания растений ( $N_{52}P_{52}K_{52}$ ) в обеих технологиях процессы распада и минерализации растительных остатков протекали с одинаковой скоростью. Вместе с тем, без применения удобрений суммарная активность микроорганизмов в технологии *no-till* превысила минимальную технологию на  $23,4 \times 10^5$  КОЕ/г АСП, что свидетельствует о начале процесса самовосстановления почвы в третий год после перехода на прямой посев культур.

**Заключение.** Численность микроорганизмов является одним из самых чувствительных показателей направленности протекания сложных биохимических процессов, который позволяет оценить совокупное влияние всех факторов на общее состояние микробиоценоза почвы.

### Ключевые слова

Озимая пшеница, технология *no-till*, мелкая обработка почвы, микроорганизмы, трансформирующие соединения азота, почвенные дрожжи, урожайность.

# Number of ecological-trophic groups of microorganisms depending on technology of winter wheat cultivation on ordinary chernozem of the Central Caucasus

Elena A. Menkina, Nadezhda N. Shapovalova and Anastasia A. Voropayeva

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, Mikhailovsk, Russia

## Principal contact

Elena A. Menkina, Candidate of Agricultural Sciences, Laboratory of Soil Science and Agrochemistry, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre; 49 Nikonova St, Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia 356241.

Tel. +79187474997

Email [zzigen@list.ru](mailto:zzigen@list.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0512-8893>

## How to cite this article

Menkina E.A., Shapovalova N.N., Voropayeva A.A. Number of ecological-trophic groups of microorganisms depending on technology of winter wheat cultivation on ordinary chernozem of the Central Caucasus. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 55-64. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-55-64

Received 25 June 2020

Revised 14 August 2020

Accepted 21 September 2020

## Abstract

**Aim.** To study the influence of cultivation technology on the number of ecological and trophic groups of microorganisms and the yield of winter wheat on the common chernozem of the Central Caucasus.

**Material and Methods.** The number of microorganisms was determined by counting colonies on dense nutrient media according to generally accepted methods.

**Results.** The number of microorganisms that transform organic and mineral forms of nitrogen and soil yeast was determined, depending on meteorological conditions, soil cultivation and fertilizers. Mineral fertilizers had the most significant effect on the activity of the soil microbiota. In years of varying moisture availability, fertilizers improved the nutrient regime of the soil, which contributed to increased plant development, microflora activity and increased winter wheat yield. In both the technologies applied, the largest number of all groups of microorganisms studied was observed when applying a complete mineral fertilizer -  $N_{52}P_{52}K_{52}$ . This dose of fertilizer also provided the highest yield of winter wheat – 6.07-6.33 t/ha. With a balanced plant nutrition regime ( $N_{52}P_{52}K_{52}$ ), the processes of decomposition and mineralization of plant residues proceeded at the same rate in both technologies. At the same time, without the use of fertilizers, the total activity of microorganisms in the no-till technology exceeded the minimum technology by  $23.4 \times 10^5$  column-forming units, which indicates the beginning of the process of self-healing of the soil in the third year after the transition to direct sowing of crops.

**Conclusion.** The number of microorganisms is one of the most sensitive indicators of the direction of complex biochemical processes, allowing us to assess the combined influence of all factors on the overall state of the soil microbiocenosis.

## Key Words

Winter wheat, no-till technology, shallow processing of soil, microorganisms transforming nitrogen compounds, soil yeast, productivity.

## ВВЕДЕНИЕ

Обработка почв приводит к перестройке почвенной микрофлоры и, в первую очередь, к изменению равновесного состояния в сообществах микроорганизмов в верхних, обрабатываемых слоях почвы [1]. Технология без обработки почвы (*no-till*) предполагает создание поверхностного мульчирующего слоя, предотвращающего испарение продуктивной влаги и создающего благоприятный микроклимат для интенсивного развития почвенной биоты. Данная технология возделывания культур получает все большее распространение в мировом земледелии, но в сравнении с почвообрабатывающими технологиями, требует внесения повышенного количества гербицидов и химических средств защиты растений, что накладывает определенный отпечаток на численность обитающих в почве микроорганизмов [2-6]. На состояние микробиоты существенное влияние оказывает также пищевой режим почвы, регулируемый с помощью внесения удобрительных средств. Удобрения усиливают развитие корневых систем растений и вызывают значительные изменения в комплексе почвенных микроорганизмов, способствуя росту их численности [7; 8]. Для протекания химических реакций в наземных экосистемах требуются высокая активность и разнообразие форм почвенных микроорганизмов [9]. Состав и соотношение отдельных групп микробов в биоценозе почвы зависят от поступления в почву растительных остатков, масса которых связана с технологией обработки почвы [10; 11]. Микробиоценоз, определяющий состояние плодородия почвы, вызывает интерес многих исследователей. В этой связи оценка численности почвенных дрожжей и микроорганизмов, трансформирующих соединения азота, в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы вполне обоснована. Поэтому цель исследований заключалась в изучении влияния технологии возделывания озимой пшеницы по предшественнику горох на численность эколого-трофических групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2018 и 2019 годах на озимой пшенице по предшественнику горох на зерно. Сорт озимой пшеницы Бунчук, норма высева семян 4,5 млн шт./га. Почва – чернозем обыкновенный мощный тяжелосуглинистый. Перед закладкой опыта агрохимическое состояние почвы в слое 0-20 см характеризовалось следующими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) [12] – 3,42-3,67%; подвижного фосфора и обменного калия (по Мачигину) [12] – 12-16 и 207-240 мг/кг соответственно, pH водной суспензии – 6,6-7,2. Количество нитратного азота, определяемое по методу Грандваль-Ляжу [12], – 9,4-15,1 мг/кг. Озимая пшеница возделывалась по двум технологиям с разными системами обработки почвы:

1. Мелкая обработка с лущением стерни дисковыми боронами в два следа на глубину 12-14 см и двумя предпосевными культивациями на глубину 8-10 и 6-8 см;

2. Прямой посев сеялкой Gimetal по необрабатываемой почве с применением гербицида сплошного действия из группы глифосатов.

Повторность опыта трёхкратная во времени и пространстве. Площадь деланки 132 м<sup>2</sup>. Размещение вариантов опыта систематическое. Удобрения вносились в рядки при посеве культуры в следующих дозах: 1. Контроль (без удобрений); 2. N<sub>12</sub>P<sub>52</sub>; 3. N<sub>52</sub>P<sub>52</sub>K<sub>52</sub>; 4. N<sub>52</sub>.

В качестве удобрений использовался аммофос 12:52, нитроаммофоска 16:16:16 и аммиачная селитра. Почвенные микроорганизмы выявляли по общепринятой методике методом подсчета колоний на плотных питательных средах: МПА, Чапека и Сабуро [13]. Почвенные образцы отбирали в третий год после закладки опыта, весной в фазу колошения озимой пшеницы в трёхкратной повторности из слоя 0-20 см. Учёт урожая осуществляли механизированным способом с помощью малогабаритного комбайна «Сампо-130» с последующим пересчётом на стандартную 14% влажность. Экспериментальные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа [14].

Погодные условия в годы исследований характеризовались повышенным температурным режимом, но разным количеством выпавших осадков. Среднегодовая температура воздуха в 2018 и 2019 г. превысила среднемесячную норму на 1,2 и 1,6°C соответственно. Сумма осадков в 2018 году была близкой к климатической норме – 544 мм, а в 2019 г. – ниже нормы на 124 мм или на 22%. Существенные отличия отмечены и в распределении осадков по периодам вегетации озимой пшеницы. Так, в 2018 году за зимний период выпало 163 мм осадков (183% к норме), а в 2019 году – лишь 95 мм (106% к норме). Это сказалось на запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале весенней вегетации. В 2018 году влагообеспеченность посевов озимой пшеницы в изучаемых технологиях существенно не различалась (165,8 и 169,3 мм соответственно), а в 2019 году различие между технологиями с мелкой обработкой и без обработки почвы составило 18,3 мм (149,5 и 167,8 мм соответственно). Преимущество технологии без обработки почвы обусловлено наличием на поверхности почвы большого количества растительных остатков, удерживающих осадки и препятствующих испарению влаги. Период весеннего развития растений в 2019 году в сравнении с 2018 г. был также более засушливым – сумма осадков 119 мм и 147 мм соответственно. Особенности погодных условий оказали заметное влияние на численность эколого-трофических групп микроорганизмов и эффективность удобрений, что сказалось на урожайности озимой пшеницы.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К важным компонентам почвенной микробиоты относятся микроорганизмы-аммонификаторы, использующие органические формы азота и участвующие в деструкции растительных остатков и отмерших корней растений (протеолитические микроорганизмы). В течение двух лет исследования численность микроорганизмов, трансформирующих органические соединения азота, варьировала от 53,2 до

162,3×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП с минимальными значениями на контроле без применения удобрений (табл. 1). Активность этой группы микроорганизмов определялась погодными условиями года и дозой удобрений, вносимых в рядки при посеве культуры. Система обработки почвы существенного влияния на этот показатель не оказала ( $F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$ ). Практически на всех вариантах опыта численность микроорганизмов в более засушливом 2019 году в сравнении с 2018 г. была достоверно ниже на 10,0-15,3×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП. Исключение составили варианты с внесением фосфорсодержащих удобрений ( $N_{12}P_{52}$  и  $N_{52}P_{52}K_{52}$ ) в технологии с мелкой обработкой почвы, в которых количество аммонифицирующих микроорганизмов по годам исследований существенно не менялось и находилось в пределах 70,0-73,6 и 143,9-147,7×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП соответственно. В наибольшей степени численность микроорганизмов, трансформирующих органические соединения азота, зависела от дозы и вида минерального удобрения. В обеих изучаемых технологиях, как с обработкой, так и без обработки

почвы, максимальная активность этих микроорганизмов отмечена при использовании полного минерального удобрения  $N_{52}P_{52}K_{52}$  (86,7-87,9×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП). Далее в убывающем порядке следовали азотное удобрение (31,0-71,0×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП) и азотно-фосфорное (9,1-12,7×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП). Известно, что в технологиях с обработкой почвы для разложения 1 тонны пожнивных остатков требуется внесение 8-12 кг азота. Как видно из таблицы 1, в нашем опыте применение  $N_{52}$  в технологии с мелкой обработкой почвы в сравнении с контролем способствовало более чем двукратному увеличению численности аммонифицирующих микроорганизмов – с 59,1 до 130,1×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП. В технологии без обработки почвы данный показатель возрастал лишь в 1,4 раза. Это свидетельствует о более низкой интенсивности процессов трансформации органических соединений азота вследствие накопления растительных остатков на поверхности почвы при локализации азотного удобрения и микроорганизмов – в более глубоких слоях почвы.

**Таблица 1.** Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на численность микроорганизмов, использующих органические формы азота, в весенний период, 10<sup>5</sup>КОЕ/г АСП

**Table 1.** Impact of winter wheat cultivation technology on the number of microorganisms using organic forms of nitrogen in spring, 10<sup>5</sup> colony forming units/g absolutely dry soil

| Система обработки почвы<br>System of processing of the soil                      | Доза удобрения, кг д.в./га<br>Fertilizer dose, kg active ingredient/ha | Численность аммонификаторов<br>Number of ammonifiers |       |                    |                      | Разность<br>Difference                |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                  |                                                                        | 2018                                                 | 2019  | среднее<br>average | по годам<br>by years | по обработкам<br>with processing      | по удобрениям<br>with fertilizers |
| <b>Мелкая (12-14 см)</b><br>Shallow (12-14 cm)                                   | Контроль<br>Control                                                    | 64,9                                                 | 53,2  | 59,1               | -11,7                | -                                     | -                                 |
|                                                                                  | $N_{12}P_{52}$                                                         | 73,6                                                 | 70,0  | 71,8               | -3,6                 | -                                     | 12,7                              |
|                                                                                  | $N_{52}P_{52}K_{52}$                                                   | 147,7                                                | 143,9 | 145,8              | -3,8                 | -                                     | 86,7                              |
|                                                                                  | $N_{52}$                                                               | 137,5                                                | 122,7 | 130,1              | -14,8                | -                                     | 71,0                              |
| <b>Без обработки</b><br>Without processing                                       | Контроль<br>Control                                                    | 76,6                                                 | 62,2  | 69,4               | -14,4                | 10,3                                  | -                                 |
|                                                                                  | $N_{12}P_{52}$                                                         | 83,9                                                 | 73,1  | 78,5               | -10,8                | 6,7                                   | 9,1                               |
|                                                                                  | $N_{52}P_{52}K_{52}$                                                   | 162,3                                                | 152,3 | 157,3              | -10,0                | 11,5                                  | 87,9                              |
|                                                                                  | $N_{52}$                                                               | 108,0                                                | 92,7  | 100,4              | -15,3                | -29,7                                 | 31,0                              |
| <b>НСР<sub>05</sub> по факторам</b><br>НСР <sub>05</sub> by factors              |                                                                        |                                                      |       |                    | 4,6                  | $F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$ | 6,5                               |
| <b>НСР<sub>05</sub> частных средних</b><br>НСР <sub>05</sub> individual averages |                                                                        | 14,9                                                 | 11,4  | 13,1               |                      |                                       |                                   |

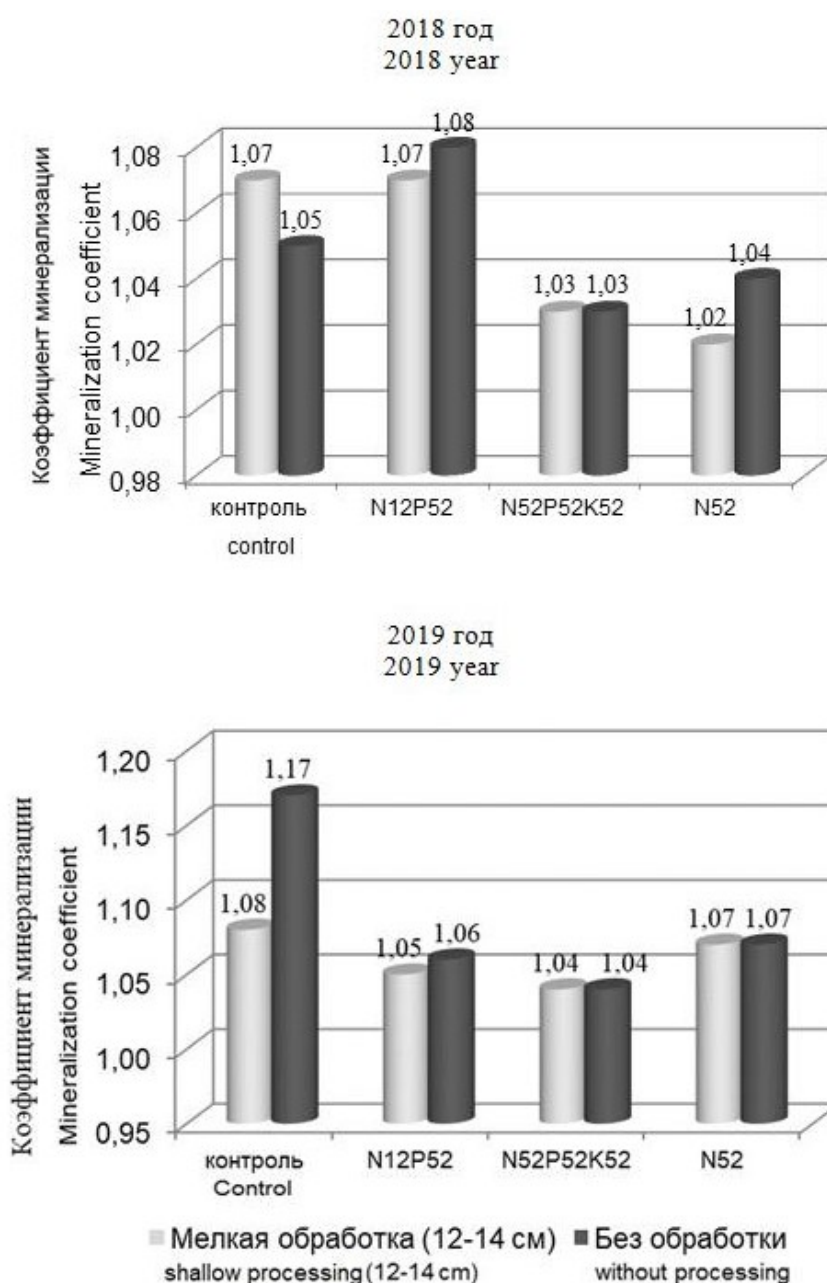
В течение двух лет исследований количество микроорганизмов, участвующих в трансформации минерального азота в почве (амилолитическая группа), превышало количество бактерий, трансформирующих органические азотистые соединения, – на 2,9-10,3×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП. Вместе с тем, коэффициент минерализации, представляющий собой соотношение групп микроорганизмов, использующих минеральный и органический азот ( $K_m$ =Чапек/МПА), при разных системах обработки почвы и дозах удобрений практически не различался и находился в пределах

1,02-1,08 (2018 г.) и 1,04-1,17 (2019 г.) (рис. 1). Это свидетельствует о практически равной скорости протекания процесса высвобождения аммонийного азота из растительных остатков в почву (минерализация органического вещества) и процесса поглощения минеральных азотистых соединений микробным сообществом почвы (иммобилизация азота). В засушливых условиях 2019 г. в технологии без обработки почвы на контроле (без удобрений) прослеживалась тенденция к повышению  $K_m$  (1,17) вследствие более сильного ослабления процесса

деструкции растительных остатков, чем поглощение минерального азота микроорганизмами.

На численность микроорганизмов, трансформирующих минеральный азот почвы, также как и органические соединения, из трёх изучаемых факторов (год, обработка почвы, удобрения) существенное влияние оказали лишь погодные условия года и дозы минеральных удобрений (табл. 2). При этом направленность действия этих факторов совпадала. Другими словами, в разных условиях года в обеих технологиях максимальная и практически равная численность этих групп микроорганизмов наблюдалась

при рядковом применении полного минерального удобрения ( $N_{52}P_{52}K_{52}$ ) – 151,9-167,7 и 149,1-158,5×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП в 2018 и 2019 гг. соответственно. При внесении аммиачной селитры ( $N_{52}$ ) отмечен более интенсивный прирост амилотических микроорганизмов в технологии с мелкой обработкой почвы в сравнении с технологией *no-till* – в среднем за два года 72,1 и 29,1×10<sup>5</sup> КОЕ/г АСП соответственно. По данным других исследователей, это может быть связано с большей доступностью кислорода и лучшей прогреваемостью перемешиваемой почвы [10].



**Рисунок 1.** Коэффициенты минерализации азотных соединений почвы и растительных остатков в зависимости от обработки почвы и удобрений в нормальный по увлажнению (2018 г.) и в засушливый год (2019 г.)

**Figure 1.** Mineralization coefficients of soil nitrogen compounds and plant residues depending on soil treatment and fertilizers in normal wet (2018) and in dry years (2019)

По суммарной численности микроорганизмов, участвующих в трансформации азотных соединений почвы, корневых и растительных остатков, можно

судить об активности протекающих биохимических процессов. В обеих технологиях возделывания с разными системами обработки почвы и при внесении

различных доз удобрений суммарная активность микробов в условиях лучшей влагообеспеченности была выше, чем при недостатке влаги (рис. 2). Независимо от условий года, в технологии без обработки почвы численность микроорганизмов оказалась несколько выше, чем при обработке почвы. Исключением стало лишь применение при посеве одного азотного удобрения ( $N_{52}$ ). В этом случае в технологии без обработки почвы, по-видимому, происходило усиление конкуренции в потреблении азота между высшими растениями и микробным сообществом, что подтверждается получением более высокого прироста урожайности озимой пшеницы в сравнении с обрабатываемой почвой. Наибольшая суммарная активность микробов в обеих технологиях, как и в слагающих её эколого-трофических группах, отмечена при использовании полного удобрения ( $N_{52}P_{52}K_{52}$ ) – 29,3-33,0 млн КОЕ.

Почвенные дрожжи являются типичными копиотрофами, то есть активно размножаются на средах, богатых легкоразлагаемыми углерод-

содержащими соединениями. Поэтому эта группа микроорганизмов участвует в первичном разложении растительных остатков и аммонификации. Дрожжи относятся к низкотемпературным организмам, которые, хотя и медленно, но способны размножаться при температурах около  $0^{\circ}$  и при меньших запасах влаги в сравнении с другими микроорганизмами, поэтому роль дрожжевых грибов в разложении растительных остатков особенно важна в холодные и засушливые периоды года. Численность дрожжей в вариантах опыта изменялась в зависимости от складывающихся погодных условий, обработки почвы и удобрений. В отличие от активности микроорганизмов, трансформирующих соединения азота, количество дрожжей в более влажном 2018 г. было ниже, чем в засушливом 2019 году – на  $5,6-15,8 \times 10^3$  КОЕ/г АСП (табл. 3). Это связано с большим количеством неразложившихся пожнивных остатков в 2019 г. вследствие более высокой урожайности гороха и засушливых условий послеуборочного периода и сева озимой пшеницы.

**Таблица 2.** Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, в весенний период,  $10^5$  КОЕ/г АСП

**Table 2.** Impact of winter wheat cultivation technology on the number of microorganisms using mineral forms of nitrogen in spring,  $10^5$  colony forming units/g absolutely dry soil

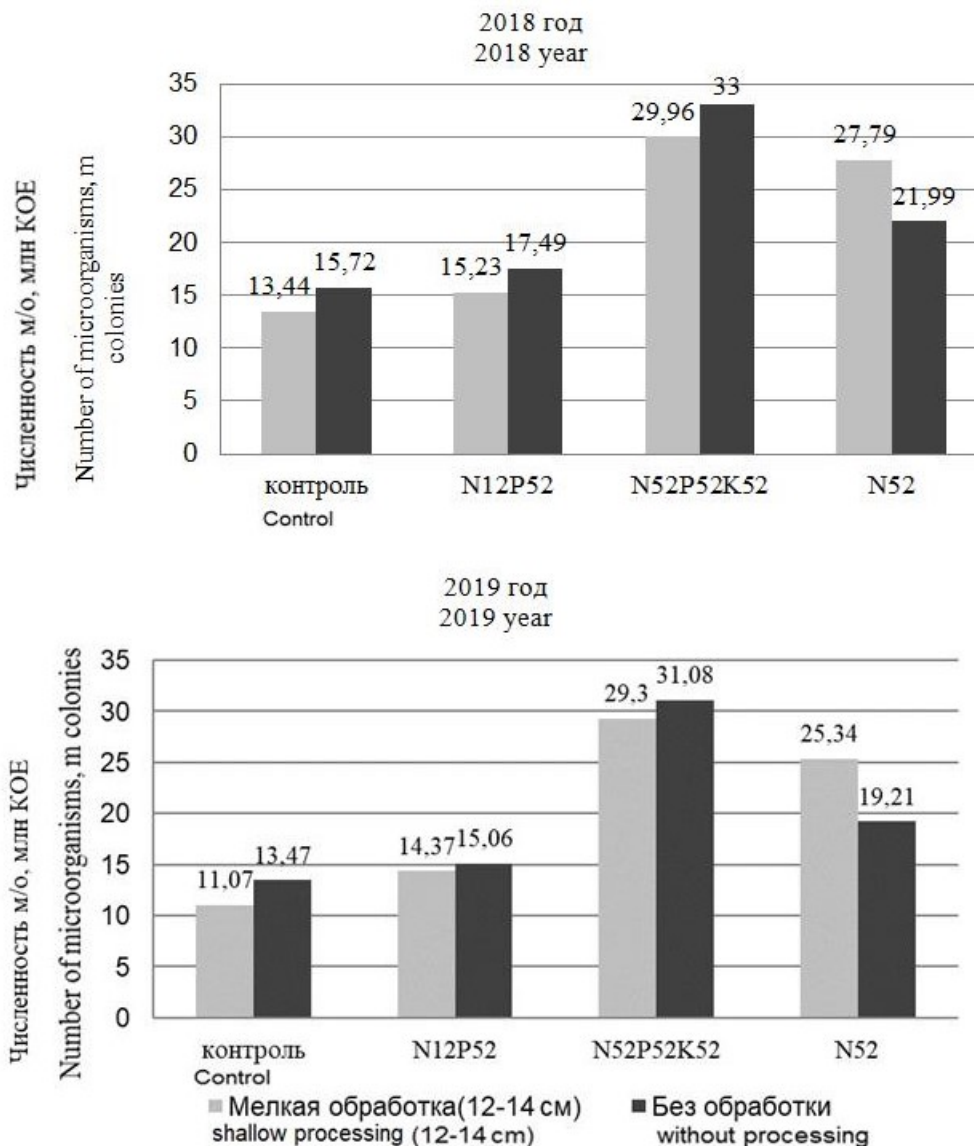
| Система обработки почвы<br>System of processing of the soil                      | Доза удобрения, кг д.в./га<br>Fertilizer dose, kg active ingredient/ha | Численность микроорганизмов<br>Number microorganisms |       |                    |                      | Разность<br>Difference                |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                  |                                                                        | 2018                                                 | 2019  | среднее<br>average | по годам<br>by years | по обработкам<br>with processing      | по удобрениям<br>with fertilizers |
| <b>Мелкая (12-14 см)</b><br>Shallow (12-14 cm)                                   | Контроль<br>Control                                                    | 69,5                                                 | 57,5  | 63,5               | -12,0                | -                                     | -                                 |
|                                                                                  | $N_{12}P_{52}$                                                         | 78,7                                                 | 73,7  | 76,2               | -5,0                 | -                                     | 12,7                              |
|                                                                                  | $N_{52}P_{52}K_{52}$                                                   | 151,9                                                | 149,1 | 150,5              | -2,8                 | -                                     | 87,0                              |
|                                                                                  | $N_{52}$                                                               | 140,4                                                | 130,7 | 135,6              | -9,7                 | -                                     | 72,1                              |
| <b>Без обработки</b><br>Without processing                                       | Контроль<br>Control                                                    | 80,6                                                 | 72,5  | 76,6               | -8,1                 | 13,1                                  | -                                 |
|                                                                                  | $N_{12}P_{52}$                                                         | 91,0                                                 | 77,5  | 84,3               | -13,5                | 8,1                                   | 7,7                               |
|                                                                                  | $N_{52}P_{52}K_{52}$                                                   | 167,7                                                | 158,5 | 163,1              | -9,2                 | 12,6                                  | 86,5                              |
|                                                                                  | $N_{52}$                                                               | 111,9                                                | 99,4  | 105,7              | -12,5                | -29,9                                 | 29,1                              |
| <b>НСР<sub>05</sub> по факторам</b><br>НСР <sub>05</sub> by factors              |                                                                        |                                                      |       |                    | 3,9                  | $F_{\text{факт.}} < F_{\text{табл.}}$ | 5,6                               |
| <b>НСР<sub>05</sub> частных средних</b><br>НСР <sub>05</sub> individual averages |                                                                        | 8,0                                                  | 12,7  | 11,2               |                      |                                       |                                   |

Сравнение технологий возделывания озимой пшеницы по влиянию, оказываемому на активность почвенных дрожжей, показало их равноценность (2018 г.) или заметное преимущество технологии с мелкой обработкой почвы (2019 г.). Применение минеральных удобрений привело к существенному увеличению численности этой группы микроорганизмов в обеих технологиях. Максимальный прирост дрожжей, также как и при изучении микроорганизмов, трансформирующих соединения азота в почве, отмечен в варианте  $N_{52}P_{52}K_{52}$  – в среднем на  $44,9 \times 10^3$  КОЕ/г АСП.

В течение всего периода наблюдений в обеих технологиях возделывания полное минеральное удобрение ( $N_{52}P_{52}K_{52}$ ) обеспечило сбалансированный режим питания растений, что способствовало увеличению численности всех изучаемых эколого-трофических групп микроорганизмов и достижению наиболее высокой урожайности озимой пшеницы (табл. 4). Это связано с увеличением мощности корневых систем и объемом корневых выделений растений. В течение 2-х лет исследований существенных отличий между технологиями по урожайности озимой пшеницы

при внесении  $N_{52}P_{52}K_{52}$  не отмечено (6,33 и 6,07 т/га), но средняя прибавка в сборе зерна в технологии без обработки почвы была достоверно выше (на 0,63 т/га) из-за более низкой урожайности на контроле – 4,76 и 3,88 т/га соответственно. На втором месте по влиянию на урожай озимой пшеницы в технологии с мелкой обработкой почвы оказалось азотно-фосфорное удобрение ( $N_{12}P_{52}$ ), а без обработки почвы – азотное

( $N_{52}$ ). Это свидетельствует о более медленном протекании процессов микробиологической трансформации соединений азота в почве в технологии *no-till* из-за более низкой численности этих групп микроорганизмов и, как следствие, возникновении повышенной потребности растений в азотных удобрениях даже после азотфиксирующей культуры – гороха.



**Рисунок 2.** Влияние обработки почвы и удобрений на суммарную численность микроорганизмов, трансформирующих соединения азота в почве, во влажный (2018 г.) и в засушливый год (2019 г.)  
**Figure 2.** Influence of soil treatment and fertilizers on the total number of microorganisms transforming nitrogen compounds in soil, in wet (2018) and in dry years (2019)

В обеих технологиях действие удобрений, особенно азотных, находилось в тесной зависимости от погодных условий года. При внесении в рядки аммиачной селитры в дозе  $N_{52}$  различие в урожайности по годам исследований было наиболее заметным и составило 3,16-3,39 т/га. В то время как на контроле и по другим видам и дозам удобрений оно не превышало 0,94-1,71 т/га. В засушливых условиях 2019 г. в обеих технологиях при использовании азотного удобрения урожайность культуры находилась на уровне контроля. Во влажный год (2018 г.) азотное удобрение в технологии с мелкой

обработкой почвы по эффективности действия на урожай озимой пшеницы не уступало азотно-фосфорному, а в технологии *no-till* даже значительно превосходило его, повысив урожайность до уровня, достигнутого за счёт применения полного минерального удобрения – 7,10 т/га. Таким образом, независимо от складывающихся погодных условий различия в урожайности культуры при использовании разных технологий возделывания (с обработкой и без обработки почвы) можно устранить с помощью рядкового внесения полного минерального удобрения,

которое в наибольшей степени увеличивает численность микроорганизмов, трансформирующих органические и минеральные формы азота в почве, а также почвенных дрожжей.

**Таблица 3.** Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на численность почвенных дрожжей в весенний период, 10<sup>3</sup> КОЕ/г АСП

**Table 3.** Impact of winter wheat cultivation technology on the number of soil yeast in spring, 10<sup>3</sup> colony forming units/g absolutely dry soil

| Система обработки почвы<br>System of processing of the soil                      | Доза удобрения, кг д.в./га<br>Fertilizer dose, kg active ingredient/ha | Численность почвенных дрожжей<br>Number of soil yeast |      |                    |                      | Разность<br>Difference           |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                  |                                                                        | 2018                                                  | 2019 | среднее<br>average | по годам<br>by years | по обработкам<br>with processing | по удобрениям<br>with fertilizers |
| <b>Мелкая (12-14 см)</b><br>Shallow (12-14 cm)                                   | Контроль<br>Control                                                    | 38,4                                                  | 45,8 | 42,1               | 7,4                  | -                                | -                                 |
|                                                                                  | N <sub>12</sub> P <sub>52</sub>                                        | 58,0                                                  | 73,8 | 65,9               | 15,8                 | -                                | 23,8                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub> P <sub>52</sub> K <sub>52</sub>                        | 80,8                                                  | 93,2 | 87,0               | 12,4                 | -                                | 44,9                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub>                                                        | 58,4                                                  | 68,6 | 63,5               | 10,2                 | -                                | 21,4                              |
| <b>Без обработки</b><br>Without processing                                       | Контроль<br>Control                                                    | 35,6                                                  | 41,2 | 38,4               | 5,6                  | -3,7                             | -                                 |
|                                                                                  | N <sub>12</sub> P <sub>52</sub>                                        | 57,4                                                  | 69,7 | 63,6               | 12,3                 | -2,3                             | 25,2                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub> P <sub>52</sub> K <sub>52</sub>                        | 79,2                                                  | 87,4 | 83,3               | 8,2                  | -3,7                             | 44,9                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub>                                                        | 55,3                                                  | 62,0 | 58,7               | 6,7                  | -4,8                             | 20,3                              |
| <b>НСР<sub>05</sub> по факторам</b><br>НСР <sub>05</sub> by factors              |                                                                        |                                                       |      |                    | 3,2                  | 3,2                              | 4,6                               |
| <b>НСР<sub>05</sub> частных средних</b><br>НСР <sub>05</sub> individual averages |                                                                        | 4,6                                                   | 6,2  | 9,2                |                      |                                  |                                   |

**Таблица 4.** Урожайность озимой пшеницы по предшественнику горох в зависимости от технологии возделывания, т/га (2018-2019 гг.)

**Table 4.** Winter wheat yield with peas precursor depending on cultivation technology, t/ha (2018-2019)

| Система обработки почвы<br>System of processing of the soil                      | Доза удобрения, кг д.в./га<br>Fertilizer dose, kg active ingredient/ha | Урожайность<br>Productivity |      |                    |                      | Разность<br>Difference           |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                  |                                                                        | 2018                        | 2019 | среднее<br>average | по годам<br>by years | по обработкам<br>with processing | по удобрениям<br>with fertilizers |
| <b>Мелкая (12-14 см)</b><br>Shallow (12-14 cm)                                   | Контроль<br>Control                                                    | 5,61                        | 3,91 | 4,76               | -1,70                |                                  |                                   |
|                                                                                  | N <sub>12</sub> P <sub>52</sub>                                        | 6,95                        | 5,44 | 6,20               | -1,51                |                                  | 1,44                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub> P <sub>52</sub> K <sub>52</sub>                        | 7,02                        | 5,64 | 6,33               | -1,38                |                                  | 1,57                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub>                                                        | 6,96                        | 3,80 | 5,38               | -3,16                |                                  | 0,62                              |
| <b>Без обработки</b><br>Without processing                                       | Контроль<br>Control                                                    | 4,73                        | 3,02 | 3,88               | -1,71                | -0,88                            |                                   |
|                                                                                  | N <sub>12</sub> P <sub>52</sub>                                        | 5,24                        | 4,30 | 4,77               | -0,94                | -1,43                            | 0,90                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub> P <sub>52</sub> K <sub>52</sub>                        | 6,82                        | 5,32 | 6,07               | -1,50                | -0,26                            | 2,20                              |
|                                                                                  | N <sub>52</sub>                                                        | 7,10                        | 3,71 | 5,41               | -3,39                | 0,03                             | 1,53                              |
| <b>НСР<sub>05</sub> по факторам</b><br>НСР <sub>05</sub> by factors              |                                                                        |                             |      |                    | 0,32                 | 0,32                             | 0,46                              |
| <b>НСР<sub>05</sub> частных средних</b><br>НСР <sub>05</sub> individual averages |                                                                        | 0,78                        | 0,95 | 0,90               |                      |                                  |                                   |

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, изучение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в черноземе обыкновенном показало, что процесс самовосстановления почвы при переходе от классической технологии возделывания культур к технологии прямого посева без обработки почвы (3-й год) запущен, но находится в начальной стадии. Об этом свидетельствует то, что в технологии без обработки почвы в естественном состоянии без применения удобрений отмечена более высокая суммарная активность микроорганизмов, участвующих в трансформации корневых и растительных остатков, азотных соединений почвы – на  $23,4 \times 10^5$  КОЕ/г АСП. В обеих технологиях минеральные удобрения, внесённые при посеве озимой пшеницы, повышали интенсивность процесса деструкции органических веществ и образования микробной биомассы. В наибольшей степени численность эколого-трофических групп микроорганизмов возросла при использовании полного удобрения ( $N_{52}P_{52}K_{52}$ ): аммонификаторов – на  $86,7-87,9 \times 10^5$  КОЕ/г АСП; микроорганизмов, использующих минеральный азот, – на  $86,5-87,0 \times 10^5$  КОЕ/г АСП; дрожжей – на 44,9 тыс КОЕ/г АСП. Применение этой дозы удобрения обеспечило самый высокий сбор зерна (в среднем за два года 6,07-6,33 т/га) и полностью устранило различия в урожайности озимой пшеницы между технологиями с обработкой и без обработки почвы. Влияние одного азотного удобрения на микробоценоз почвы отличалось от действия комплексных удобрений. При внесении  $N_{52}$  без обработки почвы в сравнении с классической технологией наблюдалось заметное снижение интенсивности процессов трансформации азота, включающих как утилизацию органических, так и усвоение минеральных соединений. Это, скорее всего, связано с коренным изменением условий существования микроорганизмов, низкой обеспеченностью доступным фосфором и более высокой потребностью в азотных удобрениях вследствие замедленного разложения растительных остатков гороха. Поскольку численность эколого-трофических групп микроорганизмов относится к наиболее чувствительным индикаторам сложных биохимических процессов, протекающих в почве, то дальнейшие исследования позволят точно определить длительность восстановления естественного уровня плодородия почвы после многолетней обработки.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Куприченко М.Т., Менькина Е.А. Биогенность чернозема обыкновенного Предкавказья // Плодородие. 2013. N 5 (74). С. 23-24.
2. Стукалов Р.С. Анализ содержания продуктивной влаги в почве при возделывании озимой пшеницы по традиционной и No-till технологиям в севообороте // Сельскохозяйственный журнал. 2019. 1. N 1 (12). С. 20-26.
3. Гребенников А.Н., Белобров В.П., Кутюва О.В., Исаев В.А., Гармашов В.М., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А. Микробиологическая активность миграционно-мицелярных агрочерноземов при применении разных способов их основной обработки // Агрохимия. 2018. N 3. С. 19-25. DOI: 10.7868/S0002188118030031

4. Feiziene D., Feizab V., Karklins A., Versulienė A., Janauskaite D., Antanaitis S. After-effects of long-term tillage and residue management on topsoil state in boreal conditions // Europ. J. Agron. 2018. V. 94. P. 12-24. DOI: 10.1016/j.eja.2018.01.003
5. Минникова Т.В., Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние прямого посева озимой пшеницы на содержание в черноземе элементов питания // Агрохимия. 2019. N 10. С. 64-71. DOI: 10.1134/S0002188119100119
6. Чернов И.Ю. Широтно-зональные и пространственно-сукцессионные тренды в распределении дрожжевых грибов // Журн. общ. биологии. 2005. Т. 66. N 2. С. 123-135.
7. Bab'eva I.P., Chernov I.Yu. Geographical aspects of yeast ecology // Phiol. Gen. Biol. Rev. 1995. V. 9. Part 3. 54 p.
8. Менькина Е.А., Воропаева А.А. Распределение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в пахотном слое чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Известия Горского ГАУ. 2019. Т. 56. N 4. С. 21-26.
9. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. N 9. С. 1087-1096. DOI: 10.7868/S0032180X15090038
10. Коржов С.И., Трофимова Т.А. Действие растительных остатков на почвенные микроорганизмы // Главный агроном. 2020. N 1. С. 10-13.
11. Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Сапрыкин С.В., Гармашова Л.В., Чевердин А.Ю. Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземных почв // Агрохимия. 2017. N 11. С. 3-12. DOI: 10.7868/S0002188117110011
12. Муха В.Д., Муха Д.В., Ачкасов А.Л. Практикум по агропочвоведению / Под ред. В.Д. Мухи. М.: КолосС, 2010. 367 с.
13. Теппер Е.З., Шильникова Е.З., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: «КОЛОС», 1972. 199 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

**REFERENCES**

1. Kuprichenkov M.T., Men'kina E.A. Biogenity of ordinary chernozem in the Ciscaucasia. Plodorodie [Fertility]. 2013, no. 5 (74), pp. 23-24. (In Russian)
2. Stukalov R.S. Analysis of the productive moisture content in the soil at the cultivation of winter wheat under traditional and no-till technologies in crop rotation. Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [Agricultural journal]. 2019, no. 1 (12), pp. 20-26. (In Russian)
3. Grebennikov A.N., Belobrov V.P., Kutovoy O.V., Isaev V.A., Garmashov V.M., Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A. Microbiological activity of migration-mitcellar agrochernozems under different basic cultivation methods. Agrochemistry, 2018, no. 3, pp. 19-25. (In Russian) DOI: 10.7868/S0002188118030031
4. Feiziene D., Feizab V., Karklins A., Versulienė A., Janauskaite D., Antanaitis S. After-effects of long-term tillage and residue management on topsoil state in boreal

- conditions. *Europ. J. Agron.*, 2018, vol. 94, pp. 12-24. DOI: 10.1016/j.eja.2018.01.003
5. Minnikova T.V., Kravtsova N.E., Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Impact of direct seeding of winter wheat on nutrition elements in black soil. *Agrochemistry*, 2019, no. 10, pp. 64-71. (In Russian) DOI: 10.1134/S0002188119100119
6. Chernov I.Yu. The latitude-zonal and spatial-successional trends in the distribution of yeasts. *Zhurnal obshchei biologii* [Biology Bulletin Reviews]. 2005, vol. 66, no. 2, pp. 123-135. (In Russian)
7. Bab'eva I.P., Chernov I.Yu. Geographical aspects of yeast ecology. *Physiol. Gen. Biol. Rev.* 1995, vol. 9, part 3, 54 p.
8. Menkina E.A., Voropaeva A.A. Distribution of the number of ecological-trophic groups of microorganisms in the arable layer of common chernozem in the Central Caucasus. *Izvestiya Gorskogo GAU* [Journal of proceedings of the Gorskoy SAU]. 2019, vol. 56, no. 4, pp. 21-26. (In Russian)
9. Dobrovolskaya T.G., Zvyagintsev D.G., Chernov I.Y., Golovchenko A.V., Zenova G.M., Lysak L.V., Manucharova N.A., Marfenina O.E., Polyanskaya L.M., Stepanov A.L., Umarov M.M. The role of microorganisms in the ecological functions of soils. *Eurasian Soil Science*, 2015, no. 9, pp. 1087-1096. (In Russian) DOI: 10.7868/S0032180X15090038
10. Korzhov I.S., Trofimova T.A. Effect of plant residues on soil microorganisms. *Glavnyi agronom* [Chief agronomist]. 2020, no. 1, pp. 10-13. (In Russian)
11. Turusov V.I., Cheverdin Yu.I., Titova T.V., Besspalov V.A., Saprikin S.V., Garmashova L.V., Cheverdin A.Yu. Relationship of microbiological parameters and physical properties of chernozem soils. *Agrochemistry*, 2017, no. 11, pp. 3-12. (In Russian) DOI: 10.7868/S0002188117110011
12. Mukha V. D., Mukha D. V., Achkasov A. L. *Praktikum po agropochvovedeniyu* [Workshop on agro-soil science]. Moscow, KolosS Publ., 2010, 367 p. (In Russian)
13. Tepper E.Z., Shilnikova E.Z., Pereverzeva G.I. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on microbiology]. Moscow, KOLOS Publ., 1972, 199 p. (In Russian)
14. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 5 ed., 351 p. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена А. Менькина получила и проанализировала данные по численности микроорганизмов, написала рукопись. Надежда Н. Шаповалова получила и проанализировала данные по урожайности озимой пшеницы. Анастасия А. Воропаева получила данные по влажности почвы и урожайности озимой пшеницы. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena A. Menkina received and analysed data on the number of microorganisms, wrote the manuscript. Nadezhda N. Shapovalova received and analyzed data on the yield of winter wheat. Anastasia A. Voropayeva received data on soil moisture and winter wheat yield. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Елена А. Менькина / Elena A. Menkina <https://orcid.org/0000-0002-0512-8893>

Надежда Н. Шаповалова / Nadezhda N. Shapovalova <https://orcid.org/0000-0003-2485-6682>

Анастасия А. Воропаева / Anastasia A. Voropayeva <https://orcid.org/0000-0002-3060-2737>

Обзорная статья / Review article  
УДК 911 (502.4)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-65-74

## О формировании каркасной модели системы ООПТ в регионах Урало-Сибирского сектора степной и лесостепной зоны

Вадим П. Петрищев, Евгения А. Щербакова

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

### Контактное лицо

Евгения А. Щербакова, младший научный сотрудник, отдел степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, аспирант Оренбургского государственного университета; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская 11. Тел. +79225481061  
E-mail [shher-evgeniya@yandex.ru](mailto:shher-evgeniya@yandex.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0758-7647>

### Формат цитирования

Петрищев В.П., Щербакова Е.А. О формировании каркасной модели системы ООПТ в регионах Урало-Сибирского сектора степной и лесостепной зоны // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 65-74. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-65-74

Получена 23 ноября 2020 г.  
Прошла рецензирование 28 декабря 2020 г.  
Принята 19 января 2021 г.

### Резюме

**Цель.** Провести анализ региональных систем размещения особо охраняемых природных территорий Урало-Сибирского сектора степной и лесостепной зоны России.

**Обсуждение.** Рассматриваемая территория состоит из следующих регионов: Оренбургской, Челябинской, Курганской, Тюменской, Омской и Новосибирской областей, Республики Башкортостан и Алтайского края. Каждый из этих субъектов имеет свои индивидуальные особенности размещения системы ООПТ, которые являются составной частью экологического каркаса. По сути, экологические каркасы на региональном и местном уровнях – это модели устойчивого землепользования и сохранения биологического разнообразия. Определение модельных систем охраняемых территорий необходимо для достижения баланса между комфортной и благоприятной средой жизнедеятельности населения и сохранением уникального природного наследия. Рациональное размещение ООПТ способствует оптимизации территориальной структуры природопользования, устойчивому функционированию естественных процессов, развитию регионов в пределах их природных границ.

**Заключение.** Установлено, что система расположения ООПТ каждого из рассматриваемых регионов имеет свои особенности, связанные с природными объектами. Охраняемые территории федерального, регионального и местного значения находятся только в Челябинской и Новосибирской областях, Алтайском крае. Отмечена также положительная динамика по созданию новых ООПТ в Челябинской, Тюменской областях и Алтайском крае (данные за 2019 и 2020 годы). В пределах регионов Урало-Сибирского сектора отмечается большая сбалансированность и развитость системы охраняемых территорий. Размещение системы ООПТ в предгорных субъектах Урало-Сибирского сектора (Алтайский край и Челябинская область) наиболее приемлемо к классическому эталону построения экологического каркаса.

### Ключевые слова

Каркасные модели системы ООПТ, региональный каркас ООПТ, структура размещения ООПТ, экологические сети, степная природная зона, лесостепная природная зона, регионы Урало-Сибирского сектора, западносибирские регионы.

# On the formation of the framework model of the Specially Protected Natural Areas system in the regions within the Ural-Siberian sector of the steppe and forest-steppe zones

Vadim P. Petrishchev and Eugenia A. Shcherbakova

Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

## Principal contact

Eugenia A. Shcherbakova, Junior Researcher,  
Department of Steppe Studies and Nature  
Management, Steppe Institute, Ural Branch,  
Russian Academy of Sciences, postgraduate student  
Orenburg State University; 11 Pionerskaya St,  
Orenburg, Russia 460000.  
Tel. +79225481061  
E-mail [shher-evgeniya@yandex.ru](mailto:shher-evgeniya@yandex.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0758-7647>

## How to cite this article

Petrishchev V.P., Shcherbakova E.A. On the formation of the framework model of the Specially Protected Natural Areas system in the regions within the Ural-Siberian sector of the steppe and forest-steppe zones. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 65-74. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-65-74

Received 23 November 2020

Revised 28 December 2020

Accepted 19 January 2021

## Abstract

**Aim.** To analyze the regional systems of location of Specially Protected Natural Areas within the Ural-Siberian sector of Russia's steppe and forest-steppe zones.

**Discussion.** The territory of the study includes the following regions: Orenburg, Chelyabinsk, Kurgan, Tyumen, Omsk, and Novosibirsk Regions, the Republic of Bashkortostan and Altay Territory. Each of these areas has its particularities of SPNA location that are component of the ecological framework. Ecological frameworks on the regional and local levels are the models of stable land use and of biological diversity conservation. The determination of model systems of Specially Protected Natural Areas is necessary to reach a balance between a comfortable and favorable environment for the life of the population and the protection of unique natural heritage. The rational allocation of SPNAs promotes optimizing the territorial structure of nature management, the stable functioning of biological processes, and local development within regional natural borders.

**Conclusion.** It was ascertained that the SPNA allocation system of each examined region had its peculiarities connected with natural objects. Protected territories with federal, regional and local significance are located only in Chelyabinsk and Novosibirsk regions and Altay Territory. Also, positive dynamics in forming a new SPNA are observed in the Chelyabinsk and Tyumen regions and Altay Territory (data for 2019-2020). An excellent balance and development of the protected territories system are seen within the Ural-Siberian regions. The location of the SPNA system within the foothill regions of the Ural-Siberian sector (Altay Territory and Chelyabinsk region) is the closest to the classical etalon of the ecological framework's formation.

## Key Words

Framework models of the SPNA system, regional framework of SPNA, structure of SPNA location, ecological networks, natural steppe zone, forest-steppe wild zone, regions of the Ural-Siberian sector, the West-Siberian areas.

## ВВЕДЕНИЕ

Основное видовое и экосистемное разнообразие Северной Евразии представлено на крупнейших массивах природных экосистем России. Природные экосистемы нашей страны – это сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ) федерального, регионального и местного значения.

Каждая из категорий ООПТ Российской Федерации имеет свои уникальные особенности. Система государственных заповедников – это эталон ненарушенных природных территорий с определённой совокупностью ландшафтных особенностей и разнообразием животных и растительных сообществ. Национальный парк, исходя из действующей трактовки понятия, – территория, на которой в ограниченных масштабах допускается хозяйственная деятельность человека. Заказники предназначены для сохранения отдельных частей природного комплекса: растений, животных, или их определённых видов. Памятники природы или «музеи природы» занимают небольшую площадь, и их ценность определяется не, сколько экологической ролью, сколько уникальностью. Для создания специальных коллекций растений, в целях сохранения разнообразия и обогащения растительного мира функционируют дендрологические парки и ботанические сады.

Степи и степные экосистемы входят в число наименее защищённых биомов умеренного степного пояса. По оценке Всемирной комиссии Международного союза охраны природы и природных ресурсов, МСОП (англ. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN*) по охраняемым территориям, травяные экосистемы умеренных широт – наименее защищённый из всех пятнадцати наземных биомов, выделяемых в мире: только 1% площади этого биома, находится в пределах ООПТ [1].

Особо охраняемые природные территории – это составная часть экологического каркаса на определённой территории. Важно отметить взаимосвязанность, взаимозависимость и совместное развитие человека (социальные системы) и природы (экосистемы) [2]. Необходимо также обратить внимание на трактовку понятия «природный каркас». В 1967 году американскими учёными Макартуром Р.Х. и Уилсоном Э.О. была предложена «теория равновесия», т.е. сформирована модель островной биогеографии (англ. *island biogeography*). Краткая трактовка, которой подразумевает следующее: остров – любой биотоп, изолированный от других биотопов (вершина горы, изолированное болото, отдельная особь и др.) и число видов в такой изолированной экосистеме будет постоянным, когда скорость вымирания видов будет равна скорости заселения новыми видами [3]. Теоретически «экологический каркас» подробно был рассмотрен и описан в 1971 году Б.Б. Родоманом. Учёным была сформирована концепция «поляризованной биосферы» или «поляризованного ландшафта», которая необходима для проектирования эконета – всемирной трансконтинентальной сети ООПТ: заповедников, заказников, национальных парков и т.д. Предлагалось особого рода функциональное зонирование суши для гармоничного сосуществования человека и природы. Её основной принцип заключался

в максимальном удалении структуры экологического каркаса от урбанизированных территорий для охраны природы и улучшения окружающей среды [4]. Позиции современных исследователей также различны. Так, например, Соболев Н.А. определяет «экологический каркас», как опорную функцию экологической сети для поддержания экологического равновесия, т.е. адекватно защищённый природный каркас. Также проводится параллель «экологического каркаса» и «природно-заповедного фонда», который образуют ООПТ и иные особо охраняемые территории, природные объекты, имеющие особое природоохранное, научное, историко-культурное, эстетическое, рекреационное, оздоровительное и иное ценное значение (Федеральный закон РФ от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды») [5]. Исходя из истоков экологический каркас – это природный каркас, т.е. совокупность определённых пространственных элементов территории, которые необходимы для поддержки её экологической стабильности с помощью предотвращения потери биоразнообразия и деградации ландшафта. Особо охраняемые природные территории – это именно такие элементы, обладающие ландшафтными и водными особенностями. Миссия всех ООПТ едина – сохранение биологического и ландшафтного разнообразия как основы биосферы.

Для выявления эталонных систем размещения ООПТ, в пределах рассматриваемых регионов, необходимо провести анализ региональных систем размещения особо охраняемых природных территорий Урало-Сибирского сектора степной и лесостепной зоны России.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ регионального каркаса особо охраняемых природных территорий осложняется тем, что территория субъектов Российской Федерации, вмещающих степную зону, включает ландшафтные комплексы иных природных зон (лесную – Челябинская, Курганская, Омская, Новосибирская области и Республика Башкортостан; таёжную – Тюменская область, Алтайский край; подтаёжную – Курганская, Тюменская, Новосибирская области; горно-лесную – Республика Башкортостан и Алтайский край). Таким образом, в формировании регионального каркаса системы ООПТ могут принимать объекты, обладающие различной широтно-зональной идентичностью. Кроме того, основным ядром формирования ООПТ низших рангов (например, памятников природы) могут являться объекты, выделяемые на основе аazonальной (геолого-геоморфологической) дифференциации ландшафтных геосистем. Рассмотрим каркасные модели системы ООПТ в каждом из регионов Южного Урала и Западной Сибири степной и лесостепной природных зон России.

Формирование современной сети ООПТ Оренбургской области началось в 70-е годы XX века, и было связано с работами Чибилёва А.А., который предложил варианты обоснования сети новых форм особо охраняемых природных территорий и разработал их стратегию создания в земледельческих регионах России и Северной Евразии, сформировал концептуальные основы формирования природно-

экологического каркаса. Учёный фактически стал инициатором создания сети ООПТ в Южноуральском регионе [6-8]. Экологический каркас Оренбургской области выделяется наличием трёх федеральных ООПТ: 1 национального парка «Бузулукский бор» и 2 государственных природных заповедников: «Шайтан-Тау» и «Оренбургский». Госзаповедник «Оренбургский» имеет кластерную организацию и состоит из пяти удалённых друг от друга участков («Таловская степь» – Первомайский район; «Предуральская степь» – Акбулакский и Беляевский районы; «Буртинская степь» – Беляевский район; «Айтуарская степь» – Кувандыкский район; «Ащисайская степь» – Светлинский район) [9]. Сегмент ООПТ областного значения составляют 3 заказника и 340 памятников природы, общей площадью 167,7 тыс. га. На территории региона отсутствуют особо охраняемые природные территории местного значения [10; 11]. Пространственный анализ системы ООПТ показывает, что большая по площади часть ООПТ сконцентрирована в пределах равнин Предуралья и низкогорий Южного Урала. Роль речных долин равнинной части в организации осевых частей экологического каркаса в целом невелика.

Система ООПТ *Челябинской области* является одной из самых развитых в России. Её создание началось в 60-е годы XX века, с целью сохранения биологического разнообразия региона и уникальных ландшафтных комплексов [12]. Она включает 4 федеральных ООПТ, один из которых был создан в 2019 году – национальный парк «Зигальга», площадью 45,6 тыс. га. По состоянию на 2018 год на территории Челябинской области располагается 149 особо охраняемых природных территорий регионального значения, из них: 20 заказников, 128 памятников природы, 1 региональный курорт и 3 ООПТ местного значения, общая площадь которых 636,5 тыс. га [10; 13]. Каркас ООПТ Челябинской области носит ярко выраженную осевую структуру. Главная ось протягивается с юга на север, начинаясь с Бредихинского государственного природного биологического заказника и заканчиваясь Шабуровским государственным природным биологическим заказником. Основная субширотная ось, на которую нанизаны все федеральные ООПТ, проходит на широте города Челябинска. В целом, несмотря на видимую разветвленность и репрезентативность системы ООПТ, высокий уровень промышленного освоения Челябинской области не сбалансирован экологическим каркасом в полной мере. Федеральные ООПТ играют роль ядер экологической сети только на севере области. В целом степной юг Челябинской области (особенно юго-запад) недостаточно представлен ООПТ регионального значения [14].

Особо охраняемые природные территории *Курганской области* представлены только на региональном и местном уровне – это 21 государственный природный заказник, 99 памятников природы и 3 ООПТ местного значения [10]. В целом, для сравнительно небольшой и компактной территории региона, система особо охраняемых природных территорий вполне сбалансированная. Если на имеющем наибольшую степень антропогенной трансформации северо-западе области отмечается только 2 заказника, то многочисленные (более 30)

памятники природы вполне компенсируют данный недостаток [15]. Главными осевыми элементами экологического каркаса области являются: трансграничная река Тобол и её левый приток – река Исеть, к которым привязано большинство заказников западной части области. В восточной озерной части области, мозаично покрытой мелкими колками берёзы, таких связующих элементов нет. Достаточно интересным является наличие в Курганской области двух приграничных заказников (Курганского государственного природного комплексного (ландшафтного) и Притобольного государственного природного (зоологического)).

Система ООПТ *Тюменской области* (без учёта Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа) состоит из: 2 заказников федерального значения, 36 – заказников регионального значения, 62 памятников природы регионального значения и экологического полигона. В соответствии со Схемой размещения и развития системы ООПТ регионального значения, разработанной в 2002 году, в 2019 году создан памятник природы регионального значения «Старопогостовский бугор» в Вагайском районе площадью 18 га (постановление Правительства Тюменской области от 10.07.2019 № 227-п «О памятнике природы регионального значения «Старопогостовский бугор» в Вагайском районе»), который расположен на левом берегу реки Иртыш [10; 16]. Экологический каркас региона слабо представлен ООПТ федерального уровня (нет заповедников и национальных парков). При достаточной развитости региональной составляющей системы ООПТ заказники, несмотря на многочисленность, обладают небольшой площадью и почти не привязаны к связующим элементам экологического каркаса (например, к речным долинам Тобола, Ишима, Вагана). Сложно определить направленность экологических осей каркаса – часть ООПТ концентрируется в пределах озёрно-степной южной окраины, другие – образуют прерывистую полосу заказников, отчасти протягивающихся вдоль притоков реки Тобол.

Основу системы ООПТ *Омской области* составляют природные заказники регионального значения. Все 16 заказников равномерно охватывают центральную часть области, оставляя открытыми крайний таёжный север области и степной юг. Единственный природный парк «Птичья гавань» и три памятника природы точно разбросаны вокруг территории областного центра явно недостаточны для достижения устойчивого развития и достижения экологического баланса города-миллионера. В области полностью отсутствуют ООПТ федерального значения и создано крайне малое количество памятников природы, что существенно снижает полноценность природоохранного каркаса и свидетельствует о сильно упрощённой конструкции системы ООПТ Омской области [10; 17].

Ядра экологического каркаса *Новосибирской области* образуют [18]:

- государственный природный заповедник «Васюганский»;
- государственный природный заказник федерального значения «Кирзинский»;
- Дендрологический сад Новосибирской зональной плодово-ягодной опытной станции им. И.В. Мичурина;

– Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук;  
 – 24 государственных природных заказника регионального значения;  
 – 54 памятника природы регионального значения;  
 – 3 ООПТ местного значения: «Городской парк «Бердская коса» г. Бердска», «Городской парк в районе ул. Репина г. Бердска Новосибирской области» и «Рекреационный участок в квартале 27».

Размещение ООПТ относительно неравномерное. Около 2/3 особо охраняемых природных территорий располагается южнее автомобильной трассы Новосибирск-Омск, т.е. степные и лесостепные районы достаточно высоко интегрированы в экологический каркас области. Однако одну из ведущих ролей в притяжении ООПТ играет озеро Чаны, на берегах которого располагается федеральный заказник «Кирзинский», как филиал государственного природного биосферного заповедника «Саяно-Шушенский». Недостатком экологического каркаса Новосибирской области нужно признать наличие одного небольшого государственного природного заказника «Кудряшовский бор» в пределах зоны градостроительного развития города-миллионера Новосибирска [19; 20].

При рассмотрении экологического каркаса Республики Башкортостан заметна сильная пространственная диспропорция в размещении особо охраняемых природных территорий. Большая их часть располагается в горной части республики. В равнинной части ООПТ небольшие по площади и немногочисленны. В горной части – отчетливо прослеживается осевое распределение ООПТ с севера на юг. На равнинной части основной осью экологического каркаса выступает долина реки Белой. Система ООПТ сбалансирована по форме и представлена следующими ООПТ: 3 государственными природными заповедниками («Башкирский», «Шульган-Таш», «Южно-Уральский»), национальным парком «Башкирия», ботанический сад, 5 природными парками («Аслы-Куль», «Кандры-Куль», «Мурадымовское ущелье», «Иремель», «Зилим»), 27 государственными природными заказниками (зоологические – 17, ландшафтные – 3, ботанические – 7), 177 памятниками природы [10; 21].

Создание первого на Алтае крупного степного резервата стало возможным после комплексного изучения предгорного Алтая, как ключевого степного региона международного значения [22]. Сегодня из 112 ООПТ Алтайского края только два относятся к ООПТ федерального значения – государственный природный заповедник «Тигирекский» и национальный парк «Салаир». Основу природоохранной сети образуют 38 природных заказников, которые вполне равномерно распределены по территории края при некотором снижении плотности в западном направлении. Обособленные природоохранные оси формируют охраняемые территории в предгорьях Алтая и Салаирского края, которые обрамляют западную часть края. Здесь располагаются природные парки «Предгорья Алтая» и «Ая», а также около 1/3 региональных заказников. 10 заказников располагается в пределах области ленточных боров Алтая. Их размещение в центральной части края в определённой степени способствует равномерности размещения сети ООПТ и придаёт ей целостный вид. По западной окраине Приобского плато вдоль долины реки Обь, покрытой широколиственными лесами, размещены 6 заказников. Только 4 заказника образуют каркас особо охраняемых природных территорий Кулундинской степи и, так или иначе, привязаны к бессточным озёрным впадинам. Тем не менее, каркасная модель ООПТ Алтайского края достаточно сбалансированная за счёт того, что система региональных заказников дополняется региональными памятниками природы, и в относительно «бедной» крупными ООПТ Кулундинской степи располагается 9 из 72 памятников природы Алтайского края [23-25]. Основными связующими элементами природоохранного каркаса края выступают крупные речные долины (Обь с притоками, Чарыш) и ленточные боры. Также положительным моментом является то, что с севера и юга от города Барнаул располагаются природные заказники, обеспечивающие экологическую сбалансированность городской территории.

Особенности пространственного развития экологических сетей регионов Южного Урала и Западной Сибири графически представлены на схеме и обозначены в таблице (табл. 1; рис. 1).

**Таблица 1.** Особенности региональной организации ландшафтно-экологического каркаса на основе особо охраняемых природных территорий

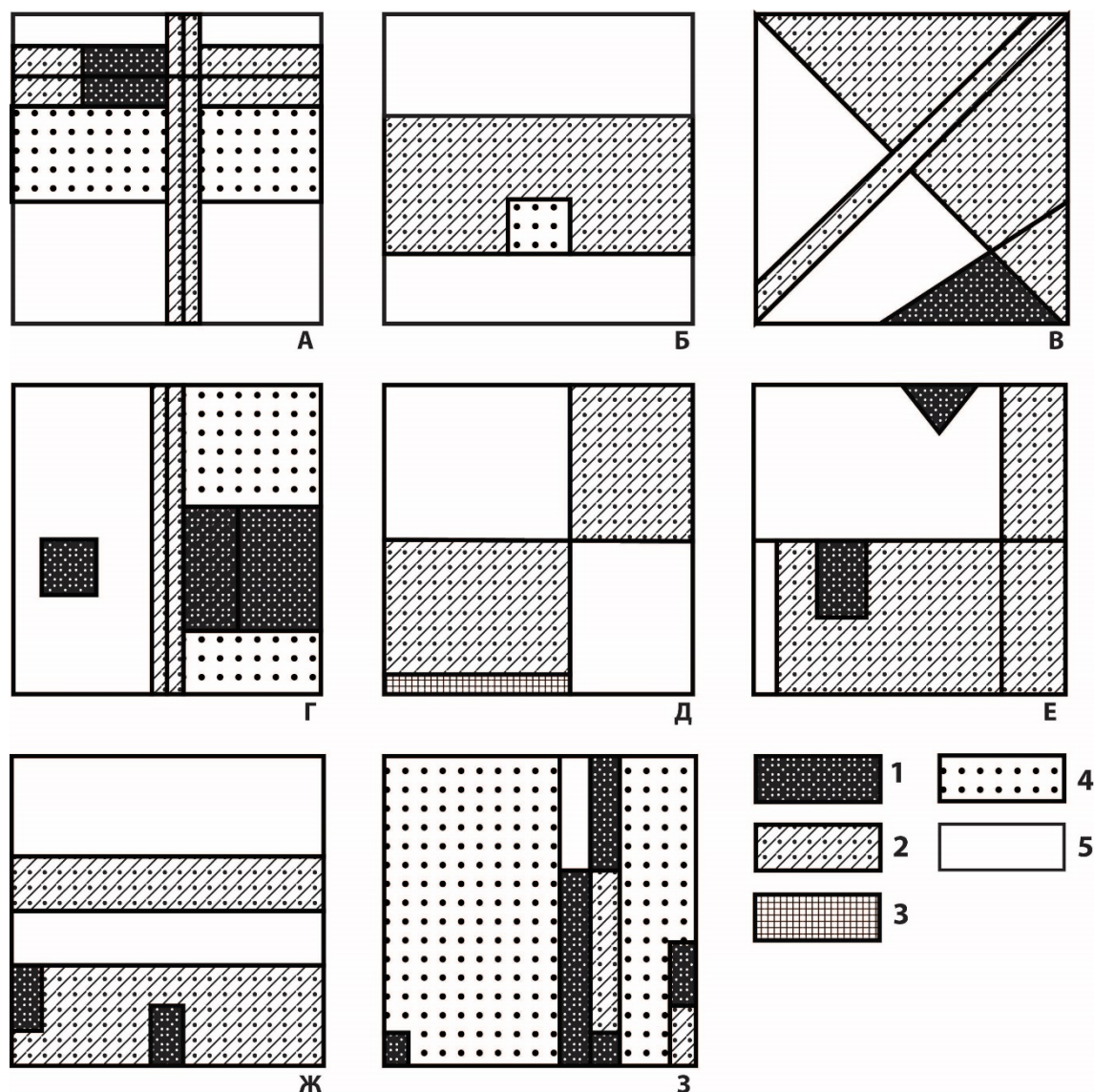
**Table 1.** Special features of the regional organization of the landscape-ecological framework based on Specially Protected Natural Areas

| Субъект РФ<br>RF subject                           | ООПТ всех категорий<br>SPNAs of all categories |                                                 |                | Особенности пространственного развития<br>экологической сети<br>Special features of the spatial development<br>of the ecological network                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    | Кол-во<br>(ед.)<br>Amount<br>(units)           | Площадь<br>(тыс. га)<br>Square<br>(thousand ha) | % <sup>1</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Оренбургская<br/>область</b><br>Orenburg region | 346                                            | 267,8                                           | 2,17           | Кластерная модель организации ООПТ с выделением зональных и азональных геосистем, а также развитой структурой региональных памятников природы. Развитость системы ООПТ сочетается с отставанием региона по большинству направлений экономического развития и слабостью агропромышленного развития<br><br>Cluster model of SPNA organization with a separation |

|                                                             |     |        |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------|-----|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                             |     |        |      | of zonal and azonal geosystems and a developed structure of regional natural monuments. Development of the SPNA system is combined with a regional lag according to most vectors of economic growth and weakness in agro-industrial development                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Челябинская область</b><br>Chelyabinsk region            | 156 | 875,1  | 9,89 | <p>Наиболее сбалансированный каркас ООПТ, обладающий двумя главными экологическими осями, с нанизанными на них заповедниками, национальными парками и региональными заказниками. Вместе с этим степной юг обладает значительно более слабым экологическим каркасом, чем горный запад или лесной север</p> <p>The most balanced SPNA framework having two principal ecological axes with reserves, national parks, and regional preserves. Along with this, the steppe south has a considerably weaker ecological framework than the west mountains or the north forests</p> |
| <b>Курганская область</b><br>Kurgan region                  | 123 | 491,8  | 6,88 | <p>В целом сбалансированная система ООПТ, однако, имеющая диагонально (северо-запад - юго-восток) размещенные лакуны ООПТ</p> <p>The SPNA system is balanced on the whole but has diagonal SPNA lacunae (north-west – south-east)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Тюменская область</b><br>Tyumen region                   | 101 | 900,0  | 5,62 | <p>Слабо сбалансированный экологический каркас с крупными по площади территориями, полностью лишенных каких-либо ООПТ</p> <p>It is a poor balanced ecological framework with large areas without any SPNA</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Омская область</b><br>Omsk oblast                        | 28  | 917,5  | 6,5  | <p>Система ООПТ охватывает центральную часть области и лишена федерального сегмента. Практически нет памятников природы. Ограниченная, односторонняя модель ООПТ, нуждающаяся в серьезной доработке</p> <p>The SPNA system covers the central part of the region. It does not have a federal segment. There are almost no natural monuments. It is an insufficient, one-sided model of SPNA which requires serious revision</p>                                                                                                                                             |
| <b>Новосибирская область</b><br>Novosibirsk region          | 85  | 1747,6 | 9,3  | <p>Относительно сбалансированный экологический каркас по видам ООПТ при асимметрии размещения с приоритетностью южных и восточных районов</p> <p>It is a relatively balanced ecological framework according to SPNA types with an asymmetry of location and priority of south and east regions</p>                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Республика Башкортостан</b><br>Republic of Bashkortostan | 214 | 984,69 | 6,89 | <p>Относительно сбалансированный каркас, но асимметричный по отношению к горной и равнинной частям. Слабая читаемость осевых векторов каркаса</p> <p>It is a relatively balanced framework but asymmetric in the mountain and flat parts. Poor readability of axial vectors of the framework</p>                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Алтайский край</b><br>Altay Territory                    | 112 | 854,64 | 5,09 | <p>Относительно сбалансированная система ООПТ, опирающаяся на заказники и памятники природы, число которых увеличивается с западной плоскоравнинной к восточной предгорной части. Особую роль в формировании каркаса играют ленточные боры</p> <p>It is a relatively balanced SPNA system based on preserves and natural monuments increases from the western plain to the eastern submontane area. Belts of pine forests play a significant role in framework formation</p>                                                                                                |

Примечание: <sup>1</sup>Доля охраняемых территорий от общей площади региона

Note: <sup>1</sup>A protected territories' portion of the total square of a region



**Рисунок 1.** Схемы региональной организации ландшафтно-экологического каркаса на основе особо охраняемых природных территорий

**Figure 1.** Schemes of the regional organization of the landscape-ecological framework based on Specially Protected Natural Areas

Условные обозначения: А – Челябинская область; Б – Омская область; В – Алтайский край; Г – Республика Башкортостан, Д – Курганская область; Е – Новосибирская область; Ж – Тюменская область; З – Оренбургская область.

Элементы регионального ландшафтно-экологического каркаса: 1 – с преобладанием ООПТ федерального значения; 2 – с преобладанием региональных ООПТ (заказников и памятников природы); 3 – с преобладанием региональных трансграничных ООПТ; 4 – с преобладанием региональных памятников природы; 5 – с отсутствием ООПТ.

Explanation: А – Chelyabinsk region; Б – Omsk region; В – Altay Territory; Г – the Republic of Bashkortostan, Д – Kurgan region; Е – Novosibirsk region; Ж – Tyumen region; З – Orenburg region.

Components of the regional landscape-ecological framework: 1 – with the predominance of SPNA having national significance; 2 – with the predominance of regional SPNA (wildlife preserves and nature monuments); 3 – with the predominance of regional transboundary SPNA; 4 – with the predominance of local nature monuments; 5 – the absence of SPNA.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система расположения особо охраняемых природных территорий каждого из рассматриваемых регионов Южного Урала и Западной Сибири имеет свои индивидуальные особенности. Большая по площади часть ООПТ Оренбургской области сконцентрирована в пределах равнин Предуралья и низогорий Южного Урала. Особо охраняемые природные территории федерального значения Челябинской области расположены на широте её административного центра – города Челябинска. Заказники западной части Курганской области привязаны к трансграничной реке

Тобол и её левому притоку – реке Исеть. К связующим элементам экологического каркаса Тюменской области можно отнести речные долины Тобола, Ишима, Вагана, в пределах которых практически отсутствуют региональные заказники. ООПТ Омской области сосредоточены только на её центральной части. Озеро Чаны, в пределах Новосибирской области, – один из основных природных объектов, на берегах которого расположен государственный природный заказник федерального значения «Кирзинский». Горная часть Республики Башкортостан – это зона сосредоточения большей части ООПТ, а на равнинной части основной

осью экологического каркаса региона является долина реки Белой. Крупные реки Обь с притоками, Чарыш, а также ленточные боры являются основными связующими элементами экологического каркаса Алтайского края.

Только в трёх регионах из восьми функционируют охраняемые территории федерального, регионального и местного уровня (Челябинская и Новосибирская области, Алтайский край). Федеральных ООПТ нет в Курганской и Омской областях, местных – в Оренбургской и Тюменской областях, Республике Башкортостан.

Новые особо охраняемые природные территории созданы в следующих регионах: Челябинская область – национальный парк «Зигальга» (площадь 45,6 тыс. га), Тюменская область – памятник природы регионального значения «Старопогостовский бугор» (площадь 18,0 га), Алтайский край:

- в 2019 году – 4 памятника природы краевого значения: «Трунов Лог и болото Комовское», «Голубцовские склоны», «Калиновский колок», «Озеро Займище», общей площадью 793,5 га;

- по состоянию на октябрь 2020 года – 5 памятников природы краевого значения: «Лог Арбанак», «Кандышный Лог», «Лысая горка», «Озеро Дальнее», «Озеро Рагульковское», общей площадью 1,2767 тыс. га.

Наряду с положительной динамикой по созданию новых особо охраняемых природных территорий и увеличением их общей площади (национальный проект «Экология», паспорт нацпроекта утверждён президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 года № 16)) наблюдается и не выполнение планов по созданию федеральных ООПТ, предусмотренных Концепцией развития ООПТ федерального значения до 2020 года (Распоряжение Правительства РФ от 22 декабря 2011 года № 2322-р). Так на начало 2020 года не созданы: заповедники «Барабинский» (Новосибирская область) и «Степной» (Омская область), национальные парки «Курганский» (Курганская область), «Горная Колывань» (Алтайский край) и «Тогул» (Алтайский край).

В результате анализа региональных систем размещения особо охраняемых природных территорий Урало-Сибирского сектора лесостепной и степной зоны России можно выделить наиболее важные аспекты:

1. В пределах регионов Урало-Сибирского сектора отмечается большая сбалансированность и развитость системы ООПТ, что подчеркивается меньшей агрохозяйственной освоенностью и меньшей плотностью системы расселения.

2. Структурно оформлены экологические каркасы с ядрами ООПТ в предгорных субъектах Урало-Сибирского сектора лесостепной и степной зон – Алтайский край и Челябинская область. В пределах западносибирских регионов экологические оси более размыты и теряется сбалансированность в формах организации и размещения ООПТ.

В целях сохранения экологического баланса и устойчивого функционирования экосистем, как на территории рассматриваемых регионов, так и в пределах других субъектов Российской Федерации необходимо:

- создавать новые и оптимизировать существующие ООПТ, путём увеличения площади их охранной зоны;

- включать функции планирования в структуры управления региональной сети ООПТ;

- предоставлять данным структурам и органам возможность государственного контроля над соблюдением режима охраны.

С учётом определённых особенностей необходима результативная природоохранная деятельность, подразумевающая государственный мониторинг существующей сети особо охраняемых природных территорий с выявлением динамики их состояния, зонирования, развития инфраструктуры и как следствие регулирование существующей и потенциальной рекреационной нагрузки.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-17-00069).

## ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 20-17-00069).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Henwood W.D. An overview of protected areas in the temperate grasslands biome // *Parks*. 1998. V. 8(3). P. 3-8.
2. Fabinyi M., Evans L., Foale S.J. Social-ecological systems, social diversity, and power: insights from anthropology and political ecology // *Ecology and Society*. 2014. V. 19. Iss. 4. Art. 28. DOI: 10.5751/ES-07029-190428
3. MacArthur R.H., Wilson E.O. The theory of island biogeography. Princeton: Princeton Univ. Press, 1967. 293 p.
4. Родоман Б.Б. Некоторые пути сохранения биосферы при урбанизации // *Вестник Московского университета. Серия География*. 1971. N 3. С. 92-94.
5. Соболев Н.А. Принципы и проблемы формирования экологических сетей в России // *Охрана природы и образование: на пути к устойчивому развитию* / Отв. ред. М.Г. Сергеев, Ж.Ф. Пивоварова; ДПРиООС НСО. Новосибирск: ГЦРО, 2009. С. 7-10.
6. Чибилёв А.А. Степь без границ. Екатеринбург: УрО РАН, Оренбург: ИПК «Газпромнефть» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2003. 208 с.
7. Чибилёв А.А. Ключевые ландшафтные территории как фундаментальная основа сохранения природного наследия // *Природное наследие Урала. Разработка концепции регионального атласа* / под науч. ред. чл.-корр. РАН А.А. Чибилёва и акад. РАН В.Н. Большакова. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. Гл. 1. С. 19-22.
8. Чибилёв А.А. Существующие и перспективные ООПТ в составе физико-географических областей Урала // *Природное наследие Урала. Разработка концепции регионального атласа* / под науч. ред. чл.-корр. РАН А.А. Чибилёва и акад. РАН В.Н. Большакова. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. Гл. 3. С. 217-245.
9. Особо охраняемые природные территории Оренбургской области (Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Оренбургской области). URL:

- <https://mpr.orb.ru/ecology/102/>. (дата обращения: 01.09.2020)
10. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.
  11. Чибилёв А.А., Павлейчик В.М. Сеть ООПТ Оренбургской области // Природное наследие Урала. Разработка концепции регионального атласа / под науч. ред. чл.-корр. РАН А.А. Чибилёва и акад. РАН В.Н. Большакова. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. Гл. 3. С. 383-408.
  12. Чибилёв А.А. (мл.), Мелешкин Д.С., Григорьевский Д.В. Роль особо охраняемых природных территорий регионов степного пояса Азиатской России в сохранении биоразнообразия // Успехи современного естествознания. 2020. N 4. С. 182-187. DOI: 10.17513/use.37383
  13. Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2019 году (Министерство экологии Челябинской области). URL: <http://mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic> (дата обращения: 02.09.2020)
  14. Лагунов А.В., Вейсберг Е.И. Региональная система ООПТ Челябинской области: распределение по ботанико-географическим районам // Проблемы региональной экологии. 2008. N 5. С. 205-210.
  15. Особо охраняемые природные территории Курганской области: справочник / под ред. И.Н. Некрасова. Курган, 2014. 188 с.
  16. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2019 году (Органы государственной власти Тюменской области. Официальный портал). URL: [https://admtumen.ru/files/upload/OIV/D\\_nedro/Доклад%20об%20экологической%20ситуации%20в%20Тюменской%20области%20в%202019%20году.pdf](https://admtumen.ru/files/upload/OIV/D_nedro/Доклад%20об%20экологической%20ситуации%20в%20Тюменской%20области%20в%202019%20году.pdf) (дата обращения: 05.09.2020)
  17. Семенова Н.М. Условия и принципы развития сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Омской области // Проблемы региональной экологии. 2012. N 3. С. 141-144.
  18. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2019 году. Новосибирск, 2020. 159 с.
  19. Елшина Т.Е. Картографирование охраняемых природных объектов Новосибирской области для размещения на геопортале СГГА // Гео-Сибирь. 2011. Т. 1. N 1. С. 210-211.
  20. Гижицкая С.А., Клещёва А.Е., Веснина Н.Н., Белозерцева О.А. Природное наследие Новосибирской области: мультимедийное электронное издание // Новосиб. гос. пед. ун-т, Ин-т открытого дистанционного образования. DVD-Video. Новосибирск: НГПУ, 2012. 1,06 Гб (2 ч 27 мин 31 с) (Конкурс «Образовательные ресурсы XXI века»). URL: <https://lib.nspu.ru/views/library/9927/web.php> (дата обращения: 20.10.2020)
  21. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2019 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан; Издательство «Самрау», 2020. 286 с.
  22. Смелянский И., Егорова А., Королюк А. Предгорья Горного Алтая – ключевой степной регион международного значения // Степной бюллетень. 2005. N 19. С. 4-11.
  23. Особо охраняемые природные территории Алтайского края (Министерство природных ресурсов и экологии Алтайского края (Минприроды Алтайского края)). URL: [http://altaipriroda.ru/directions/prirodnye\\_resursy/oopt/optAK/](http://altaipriroda.ru/directions/prirodnye_resursy/oopt/optAK/) (дата обращения: 01.10.2020)
  24. Скачко Е.Ю., Антюфеева Т.В., Швецова Л.В. Региональные аспекты управления особо охраняемыми природными территориями (на примере Алтайского края) // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2018. N 2(54). URL: <https://eee-region.ru/article/5416/> (дата обращения: 01.10.2020)
  25. Дудин И.В., Желтенко Л.И. Система особо охраняемых природных территорий Алтайского края и перспективы ее развития // Известия Алтайского отделения РГО. 2015. N 1(36). С. 11-14.

## REFERENCES

1. Henwood W.D. An overview of protected areas in the temperate grasslands biome. Parks, 1998, vol. 8(3), pp. 3-8.
2. Fabinyi M., Evans L., Foale S.J. Social-ecological systems, social diversity, and power: insights from anthropology and political ecology. *Ecology and Society*, 2014, vol. 19, iss. 4, art. 28. DOI: 10.5751/ES-07029-190428
3. MacArthur R.H., Wilson E.O. The theory of island biogeography. Princeton, Princeton Univ. Press, 1967, 293 p.
4. Rodoman B.B. Some ways of the biosphere conservation under urbanization. Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografiya [Vestnik Moskovskogo Universiteta. Geography]. 1971, no. 3, pp. 92-94. (In Russian)
5. Sobolev N.A. [Principles and problems of the formation of ecological networks in Russia]. In: *Okhrana prirody i obrazovanie: na puti k ustoichivomu razvitiyu* [Nature conservation and Formation: on the way to the stable development]. Novosibirsk, CCED Publ., 2009, pp. 7-10. (In Russian)
6. Chibilev A.A. *Step' bez granits* [Steppe without borders]. Ekaterinburg, UrO RAS Publ., Orenburg, «Gazprompechat'» Ltd «Orenburggazpromservis» Publ., 2003, 208 p. (In Russian)
7. Chibilev A.A. [Key landscape territories as a fundamental basis of natural heritage conservation]. In: *Prirodnoe nasledie Urala. Razrabotka kontseptsii regional'nogo atlasa* [The natural heritage of the Ural. Development of the regional atlas' concept]. Ekaterinburg, EPD UrO RAS Publ., 2012, ch. 1, pp. 19-22. (In Russian)
8. Chibilev A.A. [Existing and prospective SPNA in the structure of physical-geographical regions of the Ural]. In: *Prirodnoe nasledie Urala. Razrabotka kontseptsii regional'nogo atlasa* [The natural heritage of the Ural. Development of the regional atlas' concept]. Ekaterinburg, EPD UrO RAS Publ., 2012, ch. 3, pp. 217-245. (In Russian)
9. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Orenburgskoi oblasti (Ministerstvo prirodnikh resursov, ekologii i imushchestvennykh otnoshenii Orenburgskoi oblasti)* [Specially Protected Natural Areas in Orenburgskaya oblast (Ministry of Natural Resources, Ecology, and Property Relations in Orenburgskaya oblast)]. (In Russian) Available at: <https://mpr.orb.ru/ecology/102/> (accessed 01.09.2020)

10. *Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu»* [The state report "On condition and conservation of environment in the Russian Federation for 2018"]. Moscow, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Kadastr Publ., 2019, 844 p. (In Russian)
11. Chibilev A.A., Pavlechnik V.M. [The SPNA network in Orenburgskaya oblast]. In: *Prirodnoe nasledie Urala. Razrabotka kontseptsii regional'nogo atlasa* [The natural heritage of the Ural. Development of the regional atlas' concept]. Ekaterinburg, EPD UrO RAS Publ., 2012. ch. 3, pp. 383-408. (In Russian)
12. Chibilev A.A. (jr.), Meleshkin D.S., Grigorevskii D.V. The role of specially protected natural territories of the Asian Russia steppe regions in conservation of biodiversity. *Advances of modern natural sciences (Earth Sciences)*, 2020, no. 4, pp. 182-187. (In Russian) DOI. 10.17513/use.37383
13. *Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Chelyabinskoi oblasti v 2019 godu (Ministerstvo ekologii Chelyabinskoi oblasti)* [The report of ecological situation in Chelyabinskaya oblast for 2019 (Ministry of Ecology in Chelyabinskaya oblast)]. (In Russian) Available at: <http://mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic> (accessed 02.09.2020)
14. Lagunov A.V., Veisberg E.I. Regional system of protected areas (pas) in Chelyabinsk region: distribution by vegetation-geographic zones. *Problemy regional'noi ekologii* [Regional Environmental Issues]. 2008, no. 5, pp. 205-210. (In Russian)
15. Nekrasov I.N., ed. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Kurganskoi oblasti* [Specially Protected Natural Areas in Kurganskaya oblast]. Kurgan, 2014, 188 p. (In Russian)
16. *Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Tyumenskoi oblasti v 2019 godu (Organy gosudarstvennoi vlasti Tyumenskoi oblasti. Ofitsial'nyi portal)* [The report of the ecological situation in Tyumenskaya oblast for 2019 (Tyumen region Government portal)]. (In Russian) Available at: [https://admtyumen.ru/files/upload/OIV/D\\_nedro/Doklad%20ob%20jekologicheskoy%20situatsii%20v%20Tyumenskoy%20oblasti%20v%202019%20godu.pdf](https://admtyumen.ru/files/upload/OIV/D_nedro/Doklad%20ob%20jekologicheskoy%20situatsii%20v%20Tyumenskoy%20oblasti%20v%202019%20godu.pdf) (accessed 05.09.2020)
17. Semenova N.M. Conditions and principles of the natural special protected areas (nspsa) network development in Omskaya oblast. *Problemy regional'noi ekologii* [Regional Environmental Issues]. 2012, no. 3, pp. 141-144. (In Russian)
18. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Novosibirskoi oblasti v 2019 godu* [On the state and protection of the environment of the Novosibirsk region in 2019]. Novosibirsk, 2020, 159 p. (In Russian)
19. Yelshina T.Ye. Nature conservation mapping of Novosibirsk region for SSGA portal. *Geo-Sibir'* [Geo-Siberia]. 2011, vol. 1, no. 1, pp. 210-211. (In Russian)
20. Gizhitskaya S.A., Kleshcheva A.E., Vesnina N.N., Belozertseva O.A. *Prirodnoe nasledie Novosibirskoi oblasti: mul'timediinoe elektronnoe izdanie* [Natural heritage of the Novosibirsk region: multimedia electronic edition]. Novosibirsk, NSPU Publ., 2012. (In Russian) Available at: <https://lib.nspu.ru/views/library/9927/web.php> (accessed 20.10.2020)
21. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnkh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2019 godu* [The state report of natural resources and the environment in the Republic of Bashkortostan for 2019]. Ufa, Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Bashkortostan; Samrau Publ., 2020, 286 p. (In Russian)
22. Smelyanskii I., Egorova A., Korolyuk A. Foothills of Mountain Altay – the critical steppe region of international significance. *Stepnoi byulleten'* [Steppe bulletin]. 2005, no. 19, pp. 4-11. (In Russian)
23. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Altaiskogo kraya (Ministerstvo prirodnkh resursov i ekologii Altaiskogo kraya (Minprirody Altaiskogo kraya))* [Specially Protected Natural Areas of Altay Kray (Ministry of Natural Resources and Ecology in Altay Kray (Minprirody of Altay Kray))]. (In Russian) Available at: [http://altaipriroda.ru/directions/prirodnye\\_resursy/oopt/o optAK/](http://altaipriroda.ru/directions/prirodnye_resursy/oopt/o optAK/) (accessed 01.10.2020)
24. Skachko E.Yu., Antyufeeva T.V., Shvetsova L.V. [Regional aspects of Specially Protected Natural Areas' management (on the example of Altay Kray)]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie*, 2018, no. 2(54). (In Russian) Available at: <https://eee-region.ru/article/5416/> (accessed 01.10.2020)
25. Dudin I.V., Zheltenko L.I. The system of special protected natural territories (SPNT) of Altai krai and prospects for its development. *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya RGO* [Izvestiya of Altay department of RGS]. 2015, no. 1(36), pp. 11-14. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Авторы в равной степени осуществляли сбор научного материала, анализ и интерпретацию результатов исследования, подготовку, написание и корректировку рукописи. Все авторы несут ответственность за плагиат, самоплагиат или другие неэтические проблемы.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors equally carried out the collection of scientific material, analysis and interpretation of research results, preparation, writing and correction of the manuscript. All authors are responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Вадим П. Петрищев / Vadim P. Petrishchev <https://orcid.org/0000-0002-7711-8141>

Евгения А. Щербаква / Eugenia A. Shcherbakova <https://orcid.org/0000-0002-0758-7647>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.45:938.6  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-75-87

## Взаимосвязь климатических факторов почвообразования с формированием химических и физико-химических свойств почвенного покрова в агроландшафтах Центрального Черноземья

Олег Г. Чуян, Людмила Н. Караулова

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

### Контактное лицо

Олег Г. Чуян, доктор биологических наук, зав. лабораторией агрохимии и геоинформационных систем, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр»; 305021 Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 706.  
Тел. +74712534580  
Email [agrochemgis@mail.ru](mailto:agrochemgis@mail.ru)  
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-4971-1888>

### Формат цитирования

Чуян О.Г., Караулова Л.Н. Взаимосвязь климатических факторов почвообразования с формированием химических и физико-химических свойств почвенного покрова в агроландшафтах Центрального Черноземья // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 75-87. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-75-87

Получена 9 апреля 2020 г.  
Прошла рецензирование 5 августа 2020 г.  
Принята 21 сентября 2020 г.

### Резюме

**Цель.** Провести оценку взаимосвязи химических и физико-химических параметров свойств почвенного покрова с климатическими факторами почвообразования в агроландшафтах ЦЧР.

**Материалы и методы.** Исследования выполняли с использованием системного анализа комплекса агроклиматических и почвенных параметров. Свойства почв оценивали по средневзвешенным характеристикам пахотных почв для территорий областей Центрального Черноземья. Гидротермические условия учитывались по количеству осадков, температуре и сумме активных температур за период 1960-2000гг.

**Результаты.** Расчетное превышение годовых осадков (440-640 мм) над испарением (407-500 мм) в среднемноголетнем цикле обеспечивает формирование полного стока и промываемости почв в размере 40-150 и 17-104 мм. От этого зависит кислотность почв ( $pH_{KCl}$ ,  $R^2 = 0,36...0,73$ ). Оптимальные условия гумусонакопления складываются при коэффициенте увлажнения 0,8-0,9. В более засушливых условиях его ограничивает поступление органического вещества, а более влажных – физико-химические условия. Мезорельеф является фактором пространственной неоднородности валового состава почв, с которым на 85% сопряжены физико-химические свойства и до 70% обеспеченность отдельными элементами минерального питания.

**Заключение.** Различия увлажнения территорий как в масштабе областей ЦЧР, так и на локальном уровне определяют интенсивность геохимического стока, окислительно-восстановительный режим и валовый химический состав почв, что является основой их неоднородности по содержанию органического вещества, кислотности и другим свойствам.

### Ключевые слова

Климатические условия, пахотные почвы, химические свойства почв, рельеф, ресурсы агроландшафта.

# Interrelation of climatic factors of soil formation with the formation of chemical and physical-chemical properties of soil cover in agricultural landscapes of the Central Chernozem Region of Russia

Oleg G. Chuyan and Lyudmila N. Karaulova

Kursk Federal Agricultural Research Centre, All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control, Kursk, Russia

## Principal contact

Oleg G. Chuyan, Doctor of Biological Sciences, Head, Laboratory of Agrochemistry and Geoinformation Systems; 70b Karl Marx St, Kursk, Russia 305021.

Tel. +74712534580

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

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-4971-1888>

## How to cite this article

Chuyan O.G., Karaulova L.N. Interrelation of climatic factors of soil formation with the formation of chemical and physical-chemical properties of soil cover in agricultural landscapes of the Central Chernozem Region of Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 75-87. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-75-87

Received 9 April 2020

Revised 5 August 2020

Accepted 21 September 2020

## Abstract

**Aim.** To assess the interrelations of chemical and physical-chemical parameters of soil cover properties with climatic factors of soil formation in agricultural landscapes of the Central Chernozem Region (CCR) of Russia.

**Materials and Methods.** The research was carried out using a systemic analysis of the complex of agroclimatic and soil parameters. Soil properties were assessed by the weighted average characteristics of arable soils for the areas of the Central Chernozem Region. Hydrothermal conditions were taken into account by rainfall, temperature and the amount of active temperatures for the period 1960-2000.

**Results.** Estimated excess of annual precipitation (440-640 mm) over evaporation (407-500 mm) in the average annual cycle ensures the formation of total runoff and soil washability in the amount of 40-150 and 17-104 mm. This determines soil acidity ( $\text{pH}_{\text{KCL}}$ ,  $R_2 = 0.36...0.73$ ). Optimal conditions of humus accumulation are formed when the humidity factor is 0.8-0.9. Mesorelief is a factor of spatial heterogeneity of the total soil composition with which 85% of physical-chemical properties and up to 70% of nutrient availability are associated.

**Conclusion.** The differences in the hydration of the territories both at the scale of the CCR and local levels determine the intensity of geochemical runoff, the oxidation-reduction regime and total chemical soil composition which constitute the basis of heterogeneity in the content of organic matter, acidic-base and other properties.

## Key Words

Climatic conditions, arable soils, soil chemical properties, relief, agrolandscape resources.

## ВВЕДЕНИЕ

Ресурсный потенциал агроландшафта характеризуется климатическими, почвенными, биологическими и антропогенными ресурсами, формирующимися в результате круговорота веществ и потоков энергии в агроэкосистемах и зависящими от рельефа, типа геохимического ландшафта, реализуясь в результате хозяйственной деятельности [1]. При этом сами почвенные ресурсы, как важнейшая природная составляющая, являются следствием развития почвообразовательного процесса. Выявление роли природных факторов в формировании почвенного покрова имеет важное значение для решения вопросов генетического почвоведения, географии почв, мониторинга состояния и прогнозов их изменений, а также рационального использования ресурсов агроландшафта.

В основе физико-географического районирования территорий лежит система взаимоотношений почв с факторами почвообразования, среди которых климатическим условиям отводят ведущую роль. При этом на формирование профиля почв наибольшее влияние оказывает разница между поступлением осадков и испаряемостью [2; 3].

Согласно В.А. Ковде, баланс веществ при почвообразовании является основным суммарным объектом эволюции почв. Наибольшее значение для осуществления связи между элементарными ландшафтами, составляющими геохимический ландшафт, имеет поверхностный и подземный сток. Таким образом, полный сток является одним из основных специфических факторов, оказывающим прямое и независимое воздействие климатических условий на эволюцию почв [4].

В настоящее время наблюдаются значимые тренды изменения климатических условий [5-7], которые способны смещать и динамические равновесия в почвах. Следовательно, решение проблемы параметризации и количественной оценки условий формирования почвенных свойств является необходимым условием как для оценки ресурсов агроландшафта, так и их рационального использования.

Цель настоящей работы заключается в оценке взаимосвязи климатических факторов почвообразования с формированием химических и физико-химических свойств почвенного покрова в агроландшафтах ЦЧР.

В задачи исследований входило:

- анализ параметров плодородия пахотных почв территорий районов областей ЦЧР;
- оценка различий валового состава и агрохимических свойств почвы на локальном уровне в зависимости от рельефа.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполняли с использованием системного анализа комплекса агроклиматических и почвенных параметров. Свойства почв в связи с длительным влиянием различного климатического фона оценивали по средневзвешенным характеристикам пахотных почв для территорий районов областей Центрального Черноземья – Курской (n=28), Белгородской (n=18), Воронежской (n=32), Липецкой (n=18) и Тамбовской (n=23) (VII–VIII туры почвенно-агрохимического

обследования, 2000-2009 гг. [8-13]). Гидротермические условия территорий областей ЦЧР учитывались по количеству осадков, температуре и сумме активных температур за период 1960-2000 гг. [14].

Анализ свойств почвы в зависимости от местоположения в рельефе проводили на опытных участках ФБГНУ «Курский ФАНЦ» ВНИИЗиПЭ (Медвенский район, Курской области) в 2011-2017 гг. Почва – чернозем типичный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке, залегающий на разных элементах рельефа: водораздельном плато и склонах полярных экспозиций крутизной до 4°. За 32 года (1985-2017 гг.) количество годовых осадков варьировало от 422 до 752 мм, а коэффициент увлажнения от 0,62 до 1,32, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова за весь период в среднем составил 1,12 при варьировании от 0,48 до 1,81 (24%) со значительным трендом по снижению -0,0136 в год, что было связано как с повышением суммы активных температур (7,9°C/год), так и со снижением количества осадков за тот же период (2 мм/год). Совокупное влияние климатических факторов на условия формирования и свойства почв оценивали по показателю промываемости почвы [15], как одному из основных факторов, определяющих интенсивность миграционных процессов в почвах. Полный сток оценивали по разнице между годовыми осадками и возможным испарением. Промываемость почв (мм) определяли по величине полного стока (мм) и гранулометрическому составу почвы (содержанию физической глины <0,01 мм, %) [16]. Почвенные свойства оценивали по следующим агрохимическим характеристикам: гумус – [17]; pH – в 1,0 н KCl вытяжке [18]; гидролитическая кислотность – [19]; сумма поглощенных оснований – [20]; подвижный калий и фосфор – [21]. Оформить как ссылки в соответствии с правилами журнала и добавить в списки литературы

Определение валового состава почв проводилось по измерению массовой доли оксидов металлов в порошковых пробах рентгенофлуоресцентным методом с использованием энергодисперсионного РФ спектрометра модели EDX-800HS «Shimadzu» (Япония). Эколого-генетическая оценка состава почв проводилась как по абсолютному содержанию окислов основных структурообразующих элементов (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, Mn, P), так и по их молекулярным отношениям [22]. Данные элементного состава представлены в виде процентного содержания оксидов на сухую почву.

Кроме этого, для оценки количественной дифференциации компонентов валового состава по профилю произведены расчеты накопления и выноса в почвенных горизонтах по формуле  $E_a = ((R_1/R_0) - 1) \times 100\%$ , где  $R_1$  и  $R_0$  содержание окислов в исследуемом и нижнем горизонте.

Статистическую обработку данных проводили методами вариационной статистики, корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа с использованием программ MS Excel, Statgraphics.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведен анализ генерализованных данных почвенных характеристик обширных территорий областей ЦЧР с широким размахом исходных условий для элиминирования различных условий хозяйствования с

целью качественной и количественной оценки влияния климатических факторов на пространственное

распределение основных характеристик почвенного покрова (табл. 1).

**Таблица 1.** Средние величины агроклиматических параметров (1960-2010 гг.), потерь оснований и варьирование физико-химических свойств пахотных почв по территории областей ЦЧР

**Table 1.** Average values of agroclimatic parameters (1960-2000), base loss and variation of physical-chemical properties of arable soils in the regions of the CCR

| Показатель<br>Index                                                         | $\bar{X} \pm S_d$ | lim         | V, % |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|------|
| <b>Курская область / Kursk region</b>                                       |                   |             |      |
| Сумма температур более 10°C / Sum of temperatures above 10°C                | 2452±51           | 2346...2533 | 2,1  |
| Осадки за год, мм / Annual precipitation, mm                                | 602±12            | 578...634   | 2,0  |
| Полный сток, мм / Full drainage, mm                                         | 121±22,5          | 82...155    | 18,6 |
| Промываемость почв, мм / Soil washability, mm                               | 70±19,3           | 41...104    | 27,5 |
| Кислотность почв, pH <sub>KCL</sub> / Soil acidity, pH <sub>KCL</sub>       | 5,5±0,4           | 5,0...6,4   | 6,6  |
| Вымывание CaCO <sub>3</sub> , кг/га / Leaching of CaCO <sub>3</sub> , kg/ha | 200±44,3          | 122...295   | 22,2 |
| <b>Белгородская область / Belgorod region</b>                               |                   |             |      |
| Сумма температур более 10°C / Sum of temperatures above 10°C                | 2616±102,4        | 2455...2827 | 3,9  |
| Осадки за год, мм / Annual precipitation, mm                                | 553±30,9          | 491...599   | 5,6  |
| Полный сток, мм / Full drainage, mm                                         | 89±21,6           | 56...126    | 24,1 |
| Промываемость почв, мм / Soil washability, mm                               | 48±16,5           | 25...78     | 34,0 |
| Кислотность почв, pH <sub>KCL</sub> / Soil acidity, pH <sub>KCL</sub>       | 5,9±0,4           | 5,3...6,7   | 6,9  |
| Вымывание CaCO <sub>3</sub> , кг/га / Leaching of CaCO <sub>3</sub> , kg/ha | 159±33,1          | 106...219   | 20,9 |
| <b>Воронежская область / Voronezh region</b>                                |                   |             |      |
| Сумма температур более 10°C / Sum of temperatures above 10°C                | 2698±84,1         | 2580...2903 | 3,1  |
| Осадки за год, мм / Annual precipitation, mm                                | 513±28,2          | 447...571   | 5,5  |
| Полный сток, мм / Full drainage, mm                                         | 67±14,9           | 40...102    | 22,1 |
| Промываемость почв, мм / Soil washability, mm                               | 33±9,9            | 17...57     | 30,3 |
| Кислотность почв, pH <sub>KCL</sub> / Soil acidity, pH <sub>KCL</sub>       | 5,9±0,2           | 5,5...6,3   | 4,0  |
| Вымывание CaCO <sub>3</sub> , кг/га / Leaching of CaCO <sub>3</sub> , kg/ha | 111±23,3          | 70...169    | 21,0 |
| <b>Липецкая область / Lipetsk region</b>                                    |                   |             |      |
| Сумма температур более 10°C / Sum of temperatures above 10°C                | 2476±67,6         | 2374...2577 | 2,7  |
| Осадки за год, мм / Annual precipitation, mm                                | 563±19,9          | 529...597   | 3,5  |
| Полный сток, мм / Full drainage, mm                                         | 105±14,6          | 82...133    | 13,9 |
| Промываемость почв, мм / Soil washability, mm                               | 60±12,0           | 42...84     | 20,1 |
| Кислотность почв, pH <sub>KCL</sub> / Soil acidity, pH <sub>KCL</sub>       | 5,3±0,1           | 5,1...5,7   | 2,5  |
| Вымывание CaCO <sub>3</sub> , кг/га / Leaching of CaCO <sub>3</sub> , kg/ha | 148±26,1          | 114...203   | 17,6 |
| <b>Тамбовская область / Tambov region</b>                                   |                   |             |      |
| Сумма температур более 10°C / Sum of temperatures above 10°C                | 2537±61,7         | 2437...2667 | 2,4  |
| Осадки за год, мм / Annual precipitation, mm                                | 533±14,2          | 508...558   | 2,7  |
| Полный сток, мм / Full drainage, mm                                         | 85±10,2           | 67...104    | 12,0 |
| Промываемость почв, мм / Soil washability, mm                               | 44±7,3            | 32...59     | 16,6 |
| Кислотность почв, pH <sub>KCL</sub> / Soil acidity, pH <sub>KCL</sub>       | 5,5±0,2           | 5,3... 5,8  | 4,5  |
| Вымывание CaCO <sub>3</sub> , кг/га / Leaching of CaCO <sub>3</sub> , kg/ha | 120±16,7          | 82...150    | 13,9 |

В целом по территории ЦЧР линейные тренды изменения среднегодовой температуры и суммы активных температур за 50 лет составили +0,039° и +5,1°C в год соответственно. По результатам корреляционно-регрессионного анализа выявлено, что значения кислотности почв (pH) на 37% обусловлены годовыми осадками и на 44% – испаряемостью. В наибольшей мере они зависят от расчетных климатических параметров – разницы осадков и испаряемости (47%), а также промываемости (56%). Зависимость кислотности (pH<sub>KCL</sub>) от полного стока и промываемости почв имеет логарифмическую форму и по отдельным областям характеризуется коэффициентом детерминации (R<sup>2</sup>) от 0,36 до 0,73. Для всей территории ЦЧР характерна следующая зависимость:

$pH_{KCL} = 9,74 - 0,90 \cdot \ln(D)$ ,  $F=168$ ,  $R^2 = 0,58$ ,  
где D – полный сток, мм.

Общая тенденция такова, что по мере роста увлажнения территорий, стока влаги и потерь оснований в северо-западных районах ЦЧР сформированы преимущественно серые лесные почвы и черноземы оподзоленные, обладающие кислой реакцией среды, а снижение увлажнения территорий в юго-восточном направлении характеризуется снижением кислотности почв и формированием черноземов выщелоченных, типичных и обыкновенных (рис. 1, 2).

В условиях периодически и особенно промывного водного режимов складывается отрицательный баланс оснований, что сопровождается выщелачиванием верхних горизонтов [23]. Расчетные потери оснований (кг/га CaCO<sub>3</sub>) на территории ЦЧР варьируют от 70 до 300 кг/га и составляют в среднем для Курской, Белгородской, Воронежской, Тамбовской и Липецкой областей 200, 159, 111, 148 и 120 кг/га в год соответственно (рис. 3).

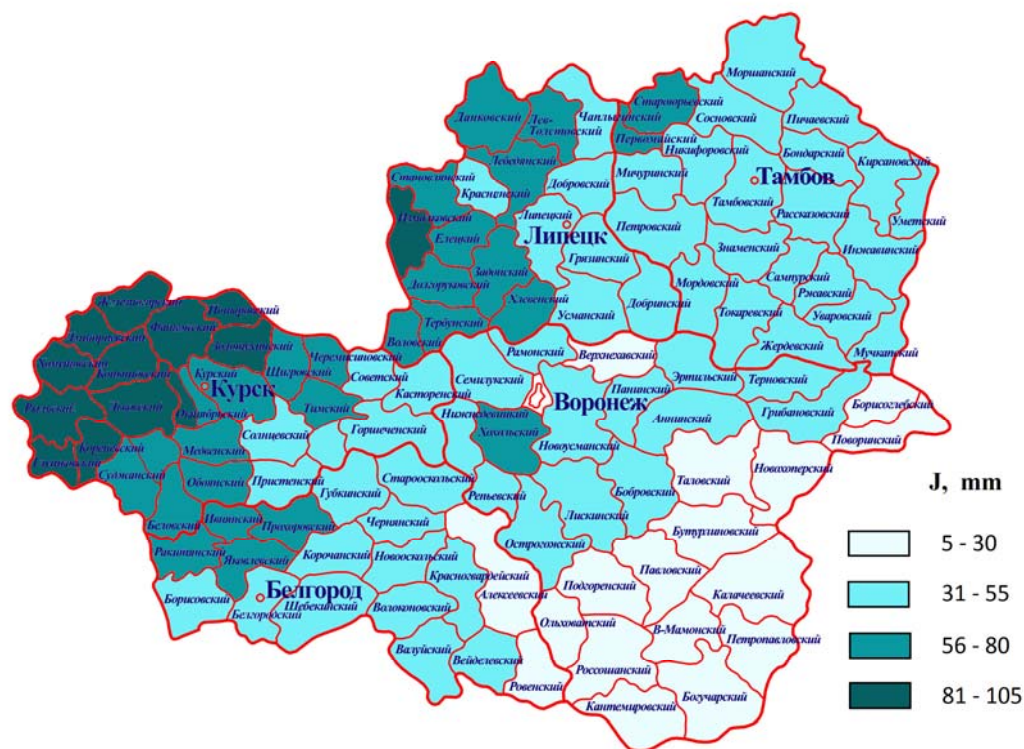


Рисунок 1. Промываемость почв по районам областей ЦЧР, мм

Figure 1. Soil washability for areas of the CCR, mm

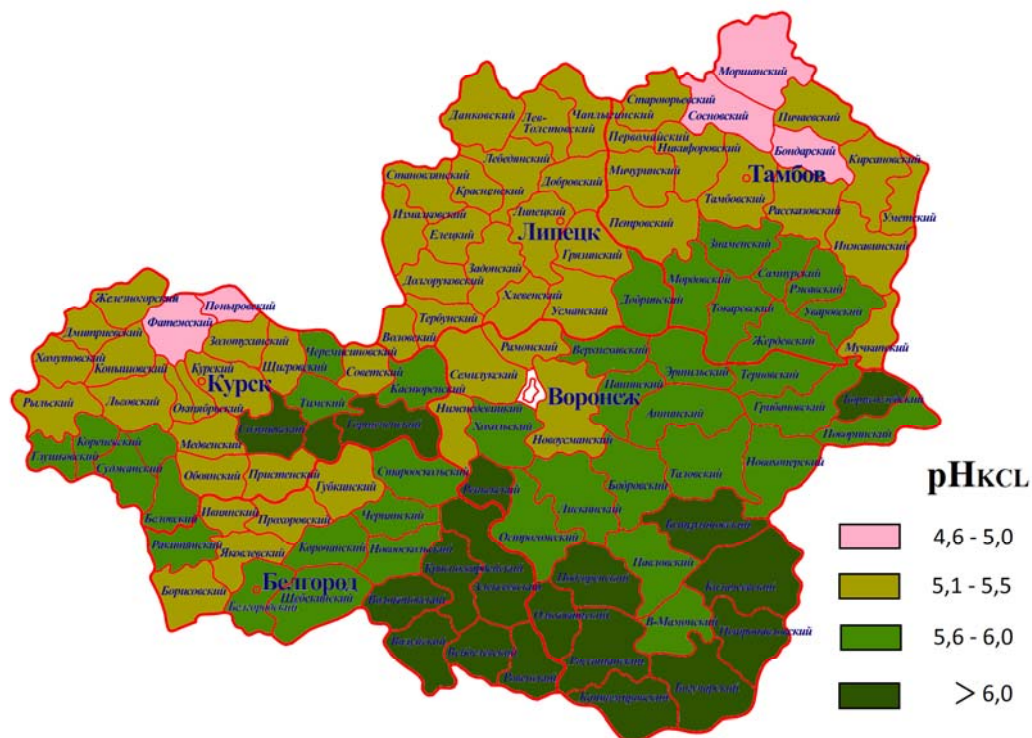
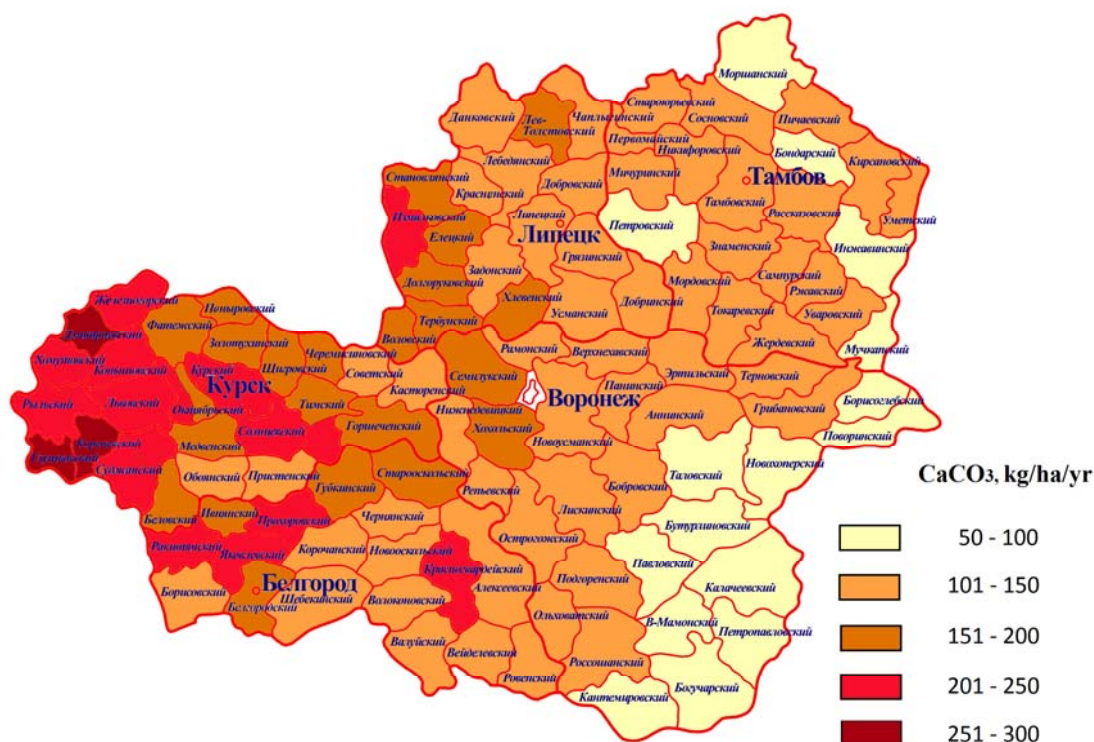


Рисунок 2. Распределение кислых почв на территории областей ЦЧР

Figure 2. Distribution of acidic soils over the areas of the CCR



**Рисунок 3.** Расчетные потери оснований по областям ЦЧР ( $\text{CaCO}_3$ , кг/га год)

**Figure 3.** Estimated base loss over the areas of the CCR ( $\text{CaCO}_3$ , kg/ha/yr)

Содержание и запасы гумуса в почвах, в первую очередь, определяются экологическими условиями местоположений и гидротермическим режимом. Степень аэрации и увлажнения почв являются одними из основных факторов, определяющих окислительно-восстановительный режим [24]. Для относительной характеристики степени аэрации, увлажнения, и, соответственно, окислительно-восстановительного режима использовано соотношение полной влагоемкости почв (1 м слоя) к валовому увлажнению (ПВ/ВУ). Другим основным фактором является возможность поступления свежего органического вещества, которое можно оценить через

климатически обеспеченную продуктивность пашни [25].

Исходя из преобладающего гранулометрического состава почв районов областей ЦЧР и гидротермических условий, выявлено, что наибольшую относительную увлажненность (при меньшем значении ПВ/ВУ) имеют территории районов Курской области, которые также характеризуются наибольшей потенциальной продуктивностью. Однако, по окислительно-восстановительному режиму почв более благоприятные условия для гумификации имеются на территории Воронежской и Тамбовской областей (табл. 2; рис. 4, 5).

**Таблица 2.** Относительная увлажненность почв, климатически обеспеченная продуктивность пашни областей ЦЧР и среднее содержание гумуса, фосфора и калия в почве

**Table 2.** Table 2. Relative soil humidity, climate provided productivity of arable lands of the regions of the CCR and average content of humus, phosphorus and potassium in the soil

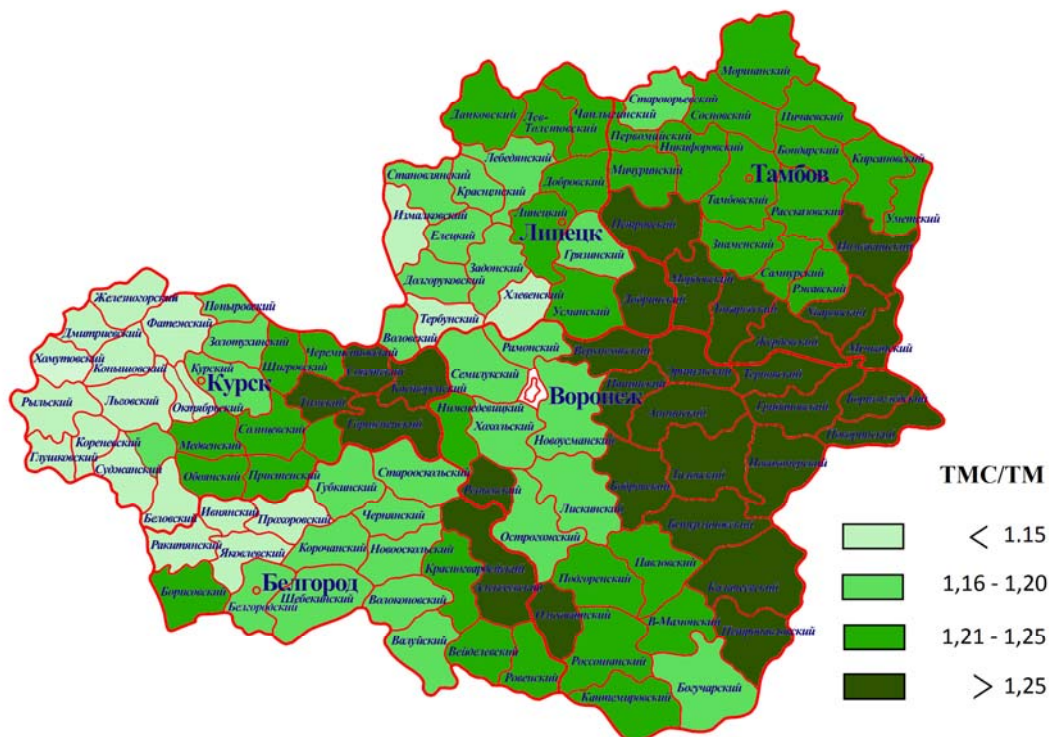
| Показатель<br>Index                           | $X \pm S_d$      | lim           | V, %  |
|-----------------------------------------------|------------------|---------------|-------|
| <b>Курская область / Kursk region</b>         |                  |               |       |
| ПВ/ВУ / TFMC/TM                               | $1,15 \pm 0,09$  | 1,00...1,31   | 8,2   |
| КОП / CPP                                     | $5,75 \pm 0,54$  | 4,71...6,82   | 9,41  |
| Гумус / Humus                                 | $4,61 \pm 0,96$  | 3,0...6,2     | 20,9  |
| $P_2O_5$                                      | $137,9 \pm 15,9$ | 108,0...170,6 | 11,5  |
| $K_2O$                                        | $110,5 \pm 24,0$ | 78,0...152,5  | 21,8  |
| <b>Белгородская область / Belgorod region</b> |                  |               |       |
| ПВ/ВУ / TFMC/TM                               | $1,18 \pm 0,05$  | 1,11...1,28   | 3,9   |
| КОП / CPP                                     | $5,63 \pm 0,54$  | 4,24...6,31   | 10,37 |
| Гумус / Humus                                 | $4,86 \pm 0,43$  | 3,8...5,8     | 8,9   |
| $P_2O_5$                                      | $146,4 \pm 22,1$ | 107,0...183,0 | 15,1  |
| $K_2O$                                        | $170,1 \pm 25,8$ | 127,0...239,0 | 15,1  |
| <b>Воронежская область / Voronezh region</b>  |                  |               |       |
| ПВ/ВУ / TFMC/TM                               | $1,26 \pm 0,05$  | 1,17...1,35   | 4,1   |

|                                           |              |              |       |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|-------|
| КОП / CPP                                 | 4,65±0,75    | 3,39...6,17  | 16,15 |
| Гумус / Humus                             | 5,56±0,87    | 4,0...7,4    | 15,7  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>             | 99,0 ± 13,7  | 71,0...121,0 | 13,8  |
| K <sub>2</sub> O                          | 123,0 ± 12,4 | 95,0...145,0 | 10,1  |
| <b>Липецкая область / Lipetsk region</b>  |              |              |       |
| ПВ/ВУ / TFMC/TM                           | 1,19±0,04    | 1,14...1,28  | 2,9   |
| КОП / CPP                                 | 5,72±0,30    | 4,98...6,13  | 5,32  |
| Гумус / Humus                             | 5,48±0,53    | 4,7...6,9    | 9,7   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>             | 96,4 ± 14,8  | 76,0...138,0 | 15,4  |
| K <sub>2</sub> O                          | 119,7 ± 11,1 | 99,0...145,0 | 9,3   |
| <b>Тамбовская область / Tambov region</b> |              |              |       |
| ПВ/ВУ / TFMC/TM                           | 1,29±0,03    | 1,24...1,35  | 2,1   |
| КОП / CPP                                 | 4,94±0,37    | 4,18...5,57  | 7,47  |
| Гумус / Humus                             | 6,37±0,43    | 5,8...7,5    | 6,7   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>             | 89,1 ± 19,2  | 57,1...125,8 | 21,6  |
| K <sub>2</sub> O                          | 105,1 ± 12,2 | 87,3...130,1 | 11,6  |

Примечание: ПВ/ВУ – отношение полной влагоёмкости к валовому увлажнению; КОУ – климатически обеспеченная продуктивность, т з.е./га; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – содержание подвижного фосфора, мг/кг; K<sub>2</sub>O – содержание подвижного калия, мг/кг.

Note: TFMC/TM is the ratio of total field moisture capacity to total moistening; CPY is the climate provided yield, m g.u./ga.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – is the content of mobile phosphorus, mg/kg; K<sub>2</sub>O – is the content of mobile potassium, mg/kg.



**Рисунок 4.** Отношение полной влагоёмкости к валовому увлажнению (ПВ/ВУ)

**Figure 4.** Ratio of total moisture capacity to total moistening (TMC/TM)

Для территориального распределения содержания гумуса в почвах по областям ЦЧР (рис. 6) характерна следующая зависимость:

$$Г\% = -21,2 + 17,2 (ПВ/ВУ) + 0,10 \cdot КОП$$

$$F = 290, R^2 = 0,82, P < 10^{-3}$$

где Г – содержание гумуса, %,

ПВ/ВУ – отношение полной влагоёмкости к валовому увлажнению,

КОП – продуктивность, климатически обеспеченная, ц з.е./га.

При этом вклад физических составляющих и гидротермических условий в территориальную изменчивость содержания гумуса составляет 60%, а биологических (КОП) – 29%.

При выражении содержания гумуса и климатически обеспеченной продуктивности в относительных величинах (относительно среднего по выборке) выявлено, что оптимальные условия накопления гумуса в связи с гидротермическими и физическими условиями (на основе данных областей ЦЧР) формируются для территорий с коэффициентом увлажнения 0,8-0,9. В более засушливых условиях ограничивает поступление органических веществ, а более влажных – физико-химические условия (рис. 7).

Такие важнейшие параметры питательного режима почв как содержание подвижных форм фосфора и калия при оценке в широком диапазоне исходных

условий также зависят от гидротермических условий и кислотности почвы:

$$P_2O_5 = -1416 - 121 \cdot (ПВ/ВУ) + 56,7 \cdot ГТК + 537 \cdot рН - 44,3 \cdot рН^2.$$

$$F=26, R=0,69,$$

$$K_2O = -903 + 89 \cdot (ПВ/ВУ) + 31,5 \cdot ГТК + 288 \cdot рН - 23,4 \cdot рН^2.$$

$$F=18, R=0,61,$$

где  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – содержание подвижных фосфора и калия, мг/кг;

ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова;

рН – кислотность солевой вытяжки.

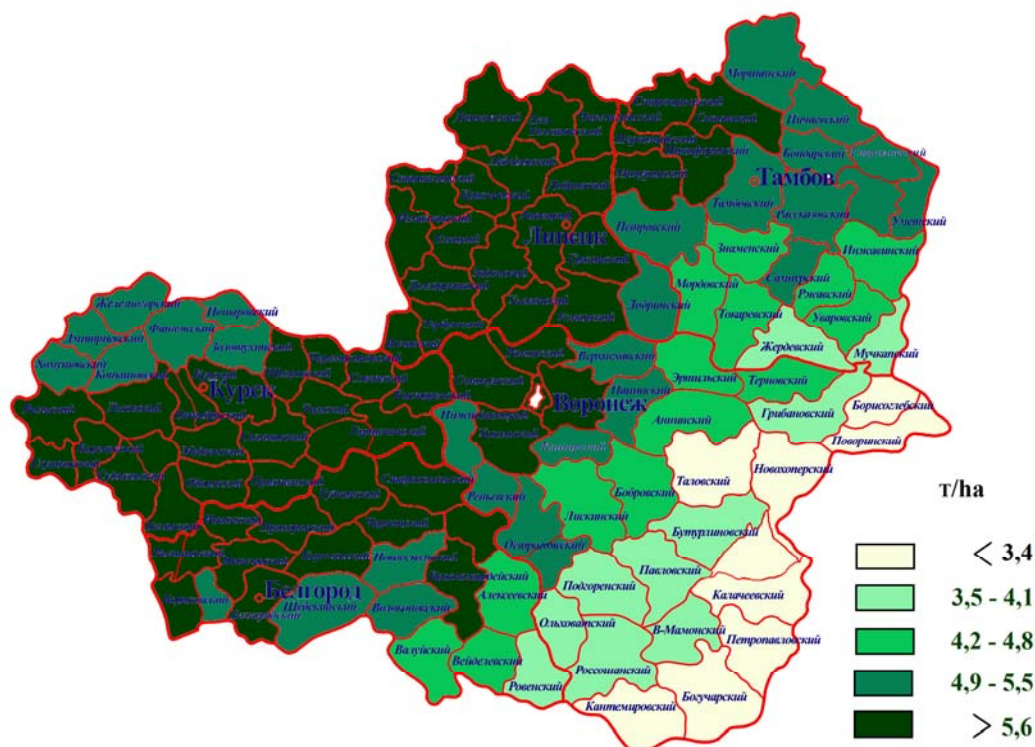


Рисунок 5. Продуктивность, климатически обеспеченная (т. з.е./га)

Figure 5. Productivity, climate-provided (grain unit t/ha)

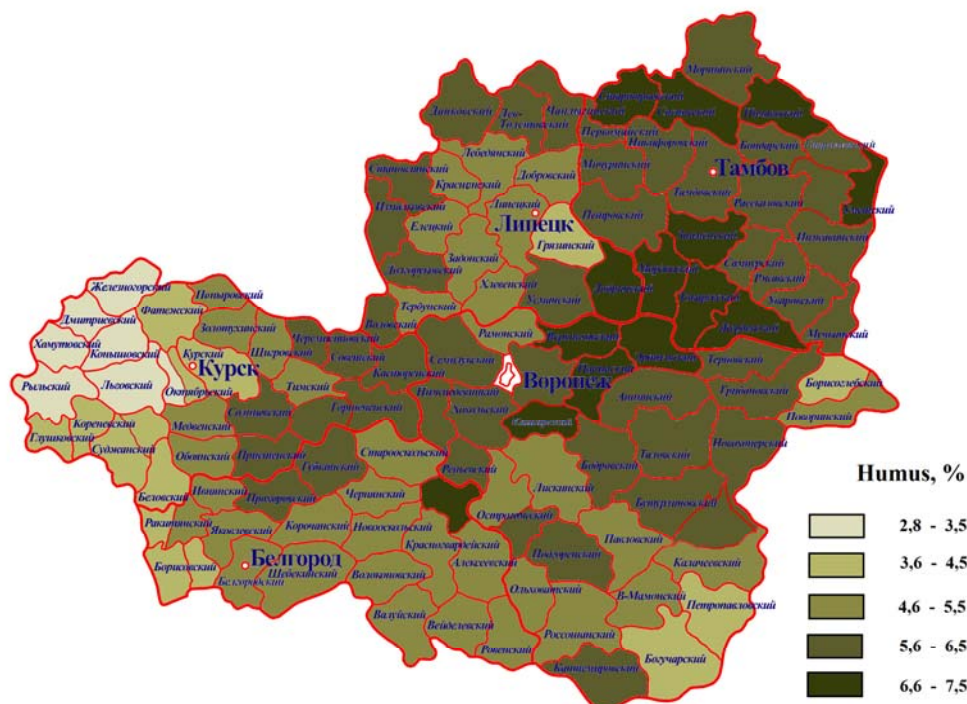
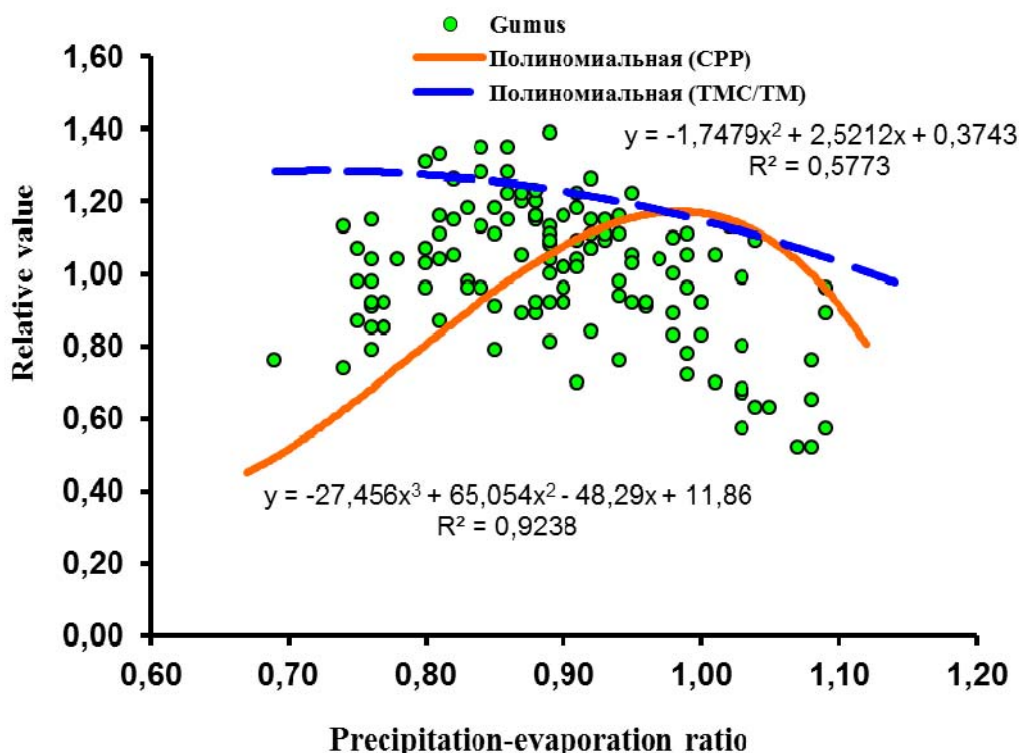


Рисунок 6. Содержание гумуса в почвах областей ЦЧР

Figure 6. Humus content in the soils of the CCR



**Рисунок 7.** Относительное содержание гумуса в почвах областей ЦЧР  
**Figure 7.** Relative humus content in the soils of the CCR

Если повышению увлажнения теплого периода (ГТК) соответствует рост обеспеченности обоих элементов, то для годового цикла (ВУ) это же снижает содержание калия. При этом максимальным значениям содержания фосфора и калия соответствует величины pH, равные 6,0 и 6,2 соответственно.

Мезорельеф является одним из основных факторов дифференциации гидротермических условий в зависимости от морфометрических параметров [26]. Это обуславливает значительную неоднородность

свойств почв для территорий со сложным рельефом, к которым относятся практически все области ЦЧР. Химический состав почв тесно связан с гидротермическими условиями их формирования, что подтверждает эколого-генетическая оценка валового состава чернозема типичного, залегающего на территориально сопряженных элементах рельефа (ОППХ ВНИИЗиЗПЭ, ФГБНУ «Курский ФАНЦ», Медвенский район, Курской области) (табл. 3).

**Таблица 3.** Химический состав чернозема типичного на разных элементах рельефа, %

**Table 3.** Chemical composition of typical chernozem soil on different elements of relief, %

| Глубина, см<br>Depth, cm                 |  |  | Гумус, %<br>Humus, %                              | pH <sub>NCL</sub> | Валовой состав на абсолютно сухую почву, %<br>Total composition for absolutely dry soil, % |                                |                  |      |      |                               |      |      |
|------------------------------------------|--|--|---------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------------------|------|------|
|                                          |  |  | Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup><br>мг-экв/100г | SiO <sub>2</sub>  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                             | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |      |      |
| Северный склон / Northern slope          |  |  |                                                   |                   |                                                                                            |                                |                  |      |      |                               |      |      |
| 0-20                                     |  |  | 5,08                                              | 5,2               | 26,0                                                                                       | 71,46                          | 13,33            | 5,82 | 3,62 | 1,94                          | 1,28 | 0,36 |
| 20-40                                    |  |  | 4,54                                              | 5,5               | 27,1                                                                                       | 71,11                          | 13,59            | 5,85 | 3,51 | 2,01                          | 1,29 | 0,37 |
| 40-60                                    |  |  | 3,67                                              | 6,3               | 26,8                                                                                       | 70,93                          | 13,81            | 5,91 | 3,60 | 1,91                          | 1,36 | 0,19 |
| 60-80                                    |  |  | 2,77                                              | 7,0               | 25,8                                                                                       | 69,62                          | 13,54            | 6,19 | 3,62 | 3,01                          | 1,38 | 0,31 |
| 80-100                                   |  |  | 2,01                                              | 7,4               | 24,3                                                                                       | 64,99                          | 13,01            | 6,48 | 3,45 | 8,08                          | 1,44 | 0,34 |
| Водораздельное плато / Watershed plateau |  |  |                                                   |                   |                                                                                            |                                |                  |      |      |                               |      |      |
| 0-20                                     |  |  | 5,32                                              | 5,7               | 28,6                                                                                       | 70,33                          | 13,19            | 6,67 | 3,56 | 2,12                          | 1,29 | 0,4  |
| 20-40                                    |  |  | 4,90                                              | 5,9               | 28,1                                                                                       | 70,69                          | 13,40            | 6,20 | 3,60 | 2,15                          | 1,35 | 0,36 |
| 40-60                                    |  |  | 3,95                                              | 6,8               | 27,3                                                                                       | 69,65                          | 13,38            | 6,25 | 3,66 | 2,96                          | 1,38 | 0,38 |
| 60-80                                    |  |  | 2,75                                              | 7,3               | 24,8                                                                                       | 66,26                          | 12,83            | 6,21 | 3,56 | 7,11                          | 1,43 | 0,33 |
| 80-100                                   |  |  | 2,00                                              | 7,5               | 22,7                                                                                       | 63,84                          | 12,47            | 6,30 | 3,37 | 10,21                         | 1,45 | 0,32 |
| Южный склон / Southern slope             |  |  |                                                   |                   |                                                                                            |                                |                  |      |      |                               |      |      |
| 0-20                                     |  |  | 4,76                                              | 7,2               | 30,1                                                                                       | 68,71                          | 13,68            | 6,58 | 3,65 | 3,11                          | 1,47 | 0,45 |
| 20-40                                    |  |  | 4,15                                              | 7,3               | 29,3                                                                                       | 67,8                           | 13,36            | 6,58 | 3,59 | 4,46                          | 1,43 | 0,44 |
| 40-60                                    |  |  | 3,22                                              | 7,4               | 26,8                                                                                       | 65,39                          | 13,03            | 6,58 | 3,53 | 7,31                          | 1,43 | 0,44 |
| 60-80                                    |  |  | 2,46                                              | 7,5               | 25,1                                                                                       | 64,5                           | 12,87            | 6,49 | 3,45 | 8,54                          | 1,47 | 0,46 |
| 80-100                                   |  |  | 1,71                                              | 7,6               | 24,0                                                                                       | 63,32                          | 12,73            | 6,47 | 3,39 | 9,86                          | 1,57 | 0,43 |

Выявлено, что большие значения молекулярных отношений окиси кремния к содержанию полутораоксидов ( $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ ) по элементам рельефа характерны для почвы северного склона – 7,13, для водораздельного плато и склона южной экспозиции – несколько меньше 6,85 и 6,53. Аналогично перераспределяются химические элементы в процессе элювиально-иллювиальной дифференциации почвенного профиля – в большей мере в условиях более влажного северного склона (рис. 8).

Это было обусловлено, в основном, потерей окиси железа в почве северной экспозиции до 10% и некоторому росту, относительно породы – на южной экспозиции +2%. Показатели выноса и накопления компонентов валового состава почв комплекса, рассчитанные относительно их содержания в нижнем горизонте, показывают перемещение, накопление, увеличение или уменьшение вещественного состава почвы, что обусловлено развитием элювиально-иллювиальных процессов. При этом наиболее чувствительными к гидротермическому режиму являются абсолютное и относительное содержание щелочных и щелочноземельных элементов, которым соответствуют максимальные потери (рис. 9). Данные коэффициента миграции ( $\text{CaO}+\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) показывают, что перераспределение окислов кальция и магния наиболее выражено по профилю почвы на склоне северной экспозиции.

Степень выщелоченности пахотного слоя почвы на склоне северной экспозиции, водораздельном плато, а также на склоне южной экспозиции по окислам кальция и магния составляет 76 и 11, 79 и 11, а также 68 и 6% соответственно, при этом профили чернозема типичного имеют данную степень выноса до глубины 70, 50 и 30 см соответственно (рис. 9).

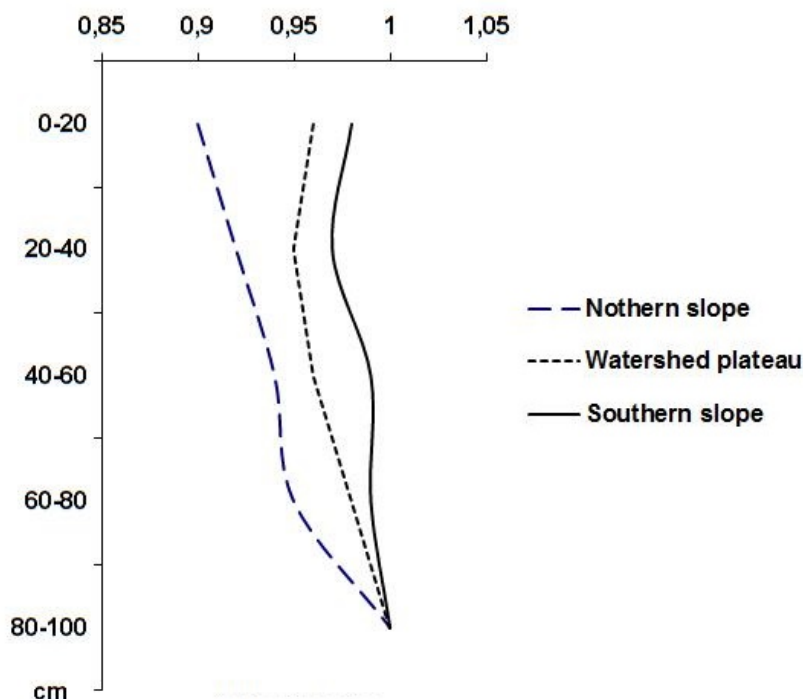
Наибольшие запасы гумуса в слое 0-100 см отмечены на водораздельном плато – 438 т/га, а на северном и южном склонах 423 и 388 т/га – соответственно.

Установлено, что для приведенных данных (табл. 3) верхних горизонтов почв (0-20 и 20-40 см) кислотность ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) почв тесно и положительно связана с содержанием суммы окислов кальция и магния ( $R^2=0,85$ ). В условиях северного склона величина  $\text{pH}$  почвы на 0,5 ед. ниже, а на южном склоне на 1,5 ед. выше, чем в условиях водораздельного плато. При этом содержание обменных оснований (мг-экв/100 г) в профилях почв зависит от  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  и содержания гумуса:

$$Y = 5,18 + 2,4 \cdot G + 1,9 \cdot \text{pH}, F=50,8, R^2=0,85$$

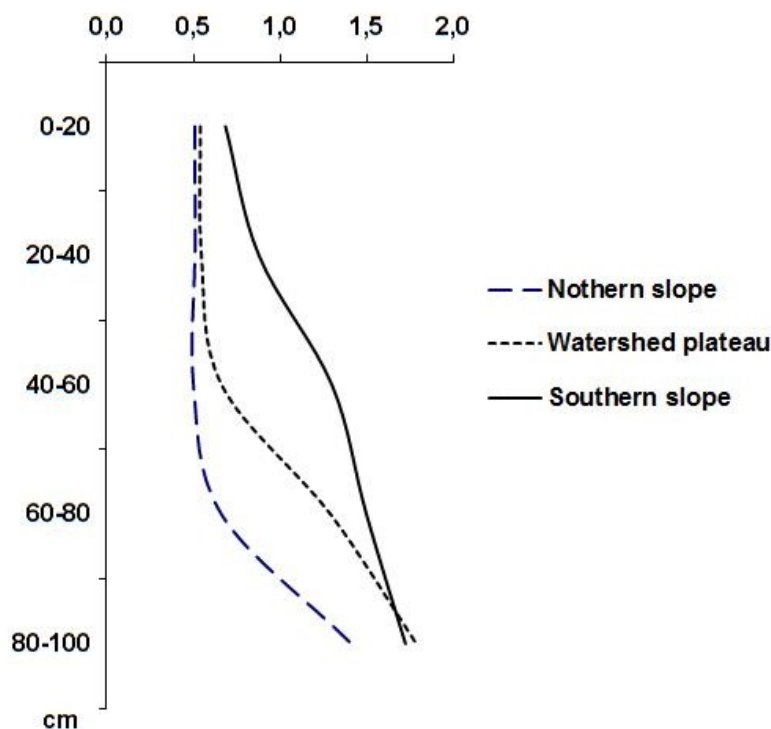
Содержание (мг/100 г) и запасы обменного калия также прямо зависят от содержания гумуса (%) и снижаются с ростом молекулярных отношений окиси кремния к полутораоксидам, то есть, тесно связаны с минералогическим составом и типом глинистых минералов:

$$Y = 52,6 + 2,44 \cdot G - 7,5 \cdot (\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3), F=13,4, R^2=0,69$$

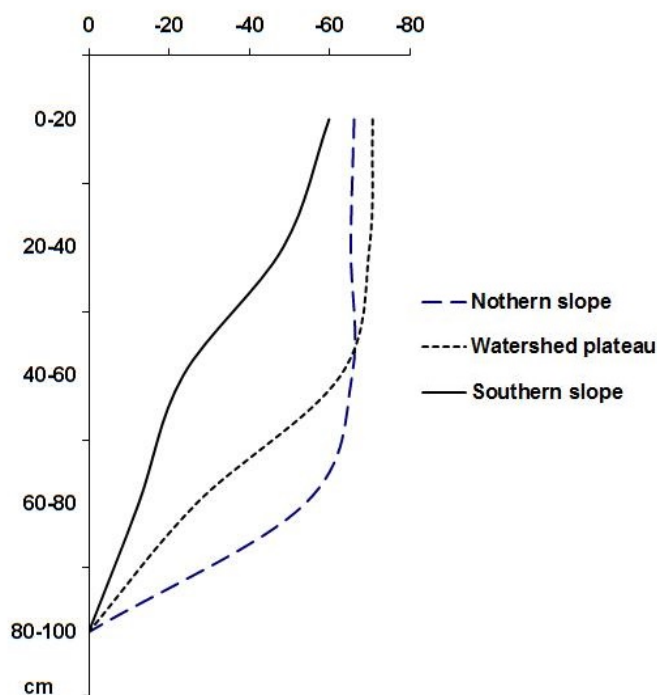


**Рисунок 8.** Коэффициент элювиально-иллювиальной миграции в профиле чернозема типичного на разных элементах рельефа ( $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$  в породе к  $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$  в горизонте)

**Figure 8.** Coefficient of eluvial-illuvial migration in the profile of typical chernozem on different elements of relief ( $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$  in the rock to  $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$  in the horizon)



**Рисунок 9.** Потери и накопление щёлочноземельных элементов в продуктах выветривания  $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$   
**Figure 9.** Loss and accumulation of alkali-earth elements in products of weathering  $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$



**Рисунок 10.** Степень выноса щёлочноземельных элементов  $(\text{CaO} + \text{MgO})$  в профиле чернозема типичного на разных элементах рельефа, %

**Figure 10.** Degree of the removal of alkali-earth elements  $(\text{CaO} + \text{MgO})$  in the profile of typical chernozem on different elements of relief, %

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При варьировании среднееголетних величин по районам областей ЦЧР годовых осадков от 440 до 640 мм и испаряемости от 560 до 700 мм в среднееголетнем цикле испарение влаги составляет

только 407-500 мм. Расчетное превышение осадков обеспечивает формирование полного стока и промываемости почв в размере 40-150 и 17-104 мм. Различия увлажнения территории как в региональном масштабе областей ЦЧР, так и на локальном уровне

определяют интенсивность геохимического стока, окислительно-восстановительный режим и валовый химический состав почв, что является основой их неоднородности по содержанию органического вещества, физико-химическим свойствам и другим агрономическим качествам.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. Москва: Мысль, 1990. 639 с.
2. Alyabina I.O., Nedanchuk I.M. Assessment of the relationships between the distribution of soil horizons and the climatic parameters // *Eurasian Soil Science*. 2014. V. 47. N 10. P. 968-979. DOI: 10.1134/S1064229314080018
3. Urusevskaya I.S., Alyabina I.O., Shoba S.A. Soil-geographical zoning as a direction of science and as the basis for rational land use // *Eurasian Soil Science*. 2015. V. 48. N 9. P. 897-910. DOI: 10.1134/S1064229315090112
4. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1975. 344 с.
5. Sirotenko O.D., Abashina E.V., Pavlova V.N., Gruza G.V., Rankova E.Ya. Modern climate-related changes in heat supply, moistening, and productivity of the agrosphere in Russia // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2007. V. 32. N 8. P. 538-546. DOI: 10.3103/S1068373907080109
6. Chendev Y.G., Lupo A.R., Lebedeva M.G., Borbukova D.A. Regional specificity of the climatic evolution of soils in the southern part of eastern Europe in the second half of the Holocene // *Eurasian Soil Science*. 2015. V. 48. N 12. P. 1279-1291. DOI: 10.1134/S1064229315120042
7. Smirnova L.G., Kukharuk N.S., Chendev Yu.G. Soil Cover in the southern forest-steppe of the Central Russian Upland against the background of centennial climate fluctuations // *Eurasian Soil Science*. 2016. V. 49. N 7. P. 721-729. DOI: 10.1134/S1064229316070103
8. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. Мониторинг кислотности пахотных почв Центрально-Черноземного района // *Достижение науки и техники АПК*. 2011. N 7. С. 6-8.
9. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. Мониторинг содержания органического вещества в пахотных почвах ЦЧР // *Достижение науки и техники АПК*. 2011. N 9. С. 23-26.
10. Корчагин В.И. Динамика агрохимического состояния пахотных почв Воронежской области // *Достижение науки и техники АПК*. 2015. T. 29. N 11. С. 11-13.
11. Чекмарев П.А., Сискевич Ю.И., Бровченко Н.С., Гасиев К.Н., Никулова В.А. Мониторинг агрохимических показателей почв Липецкой области // *Достижение науки и техники АПК*. 2016. T. 30. N 8. С. 9-16.
12. Чекмарев П., Лукин С. Динамика плодородия пахотных почв, использования удобрений и урожайности основных сельскохозяйственных культур в центрально-черноземных областях России // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2017. N 4. С. 41-44.
13. Пироженов В.В., Цыганков Д.Н., Мирошниченко О.Н. Мониторинг состояния плодородия пахотных почв Курской области // *Достижение науки и техники АПК*. 2019. T. 33. N 4. С. 12-15. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10403
14. Архив погоды по городам России. URL: <https://climate-energy.ru> (дата обращения: 30.04.2019)
15. Голованов А.И. Водообмен и оросительные нормы // *Природообустройство*. 2008. N 3. С. 5-14.
16. Чуюн О.Г. К вопросу оценки динамики кислотности пахотных почв // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. T. 33. N 12. С. 5-9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11201
17. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993. 8 с.
18. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 8 с.
19. ГОСТ 26212-91. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993. 6 с.
20. ГОСТ 27821-2020. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Стандартинформ, 2020. 9 с.
21. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993. 6 с.
22. Вальков В.Ф., Крыщенко В.С. Методы оценки валового состава почв в генетических исследованиях. Методические указания к научно-исследовательской работе по почвоведению. Ростов н/Д., изд-во РГУ. 1983, 22 с.
23. Чуюн О.Г. База данных для регулирования физико-химических свойств кислых почв в адаптивно-ландшафтном земледелии (для Центрального Черноземья). Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2012. 78 с.
24. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. Москва: Колос, 1982. 247 с.
25. Чуюн О.Г., Дериглазова Г.М. Оценка агроклиматического потенциала продуктивности пашни для модели управления агрохимическими свойствами почв // *Земледелие*. 2018. N 7. С. 6-11. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10702
26. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // *Geoderma*. 2002. V. 107. Iss. 1-2. P. 1-32. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00136-7

#### REFERENCES

1. Reimers N.F. *Prirodopolzovanie. Slovar'-spravochnik* [Environment Conservation. Reference book]. Moscow, Mys' Publ., 1990, 639 p. (In Russian)
2. Alyabina I.O., Nedanchuk I.M. Assessment of the relationships between the distribution of soil horizons and the climatic parameters. *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 10, pp. 968-979. DOI: 10.1134/S1064229314080018
3. Urusevskaya I.S., Alyabina I.O., Shoba S.A. Soil-geographical zoning as a direction of science and as the basis for rational land use. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 9, pp. 897-910. DOI: 10.1134/S1064229315090112
4. Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1975, 344 p. (In Russian)
5. Sirotenko O.D., Abashina E.V., Pavlova V.N., Gruza G.V., Rankova E.Ya. Modern climate-related changes in heat supply, moistening, and productivity of the agrosphere in Russia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2007, vol. 32, no. 8, pp. 538-546. DOI: 10.3103/S1068373907080109
6. Chendev Y.G., Lupo A.R., Lebedeva M.G., Borbukova D.A. Regional specificity of the climatic evolution of soils in the southern part of eastern Europe in the second half of the Holocene. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 12, pp. 1279-1291. DOI: 10.1134/S1064229315120042
7. Smirnova L.G., Kukharuk N.S., Chendev Yu.G. Soil Cover in the southern forest-steppe of the Central Russian Upland against the background of centennial climate fluctuations. *Eurasian Soil Science*, 2016, vol. 49, no. 7, pp. 721-729. DOI: 10.1134/S1064229316070103

8. Chekmarev P.A., Lukin S.V., Siskevich Y.I., Yumashev N.P., Korchagin V.I., Khizhnyakov A.N. Monitoring of the acidity of arable soils of the Central Chernozem Region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Dostizheniya nauki i tekhniki APK]. 2011, no. 7, pp. 6-8. (In Russian)
9. Chekmarev P.A., Lukin S.V., Siskevich Yu.I., Yumashev N.P., Korchagin V.I., Khizhnyakov A.N. Monitoring of organic matter content in arable soils in CCR. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Dostizheniya nauki i tekhniki APK]. 2011, no. 9, pp. 23-26. (In Russian)
10. Korchagin V.I. Dynamics of the agrochemical state of arable soils of Voronezh Region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Dostizheniya nauki i tekhniki APK]. 2015, vol. 29, no. 11, pp. 11-13. (In Russian)
11. Chekmarev P.A., Siskevich Yu.I., Brovchenko N.S., Gasiev K.N., Nikulova V.A. Monitoring of agrochemical characteristics of soils in Lipetsk Region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Dostizheniya nauki i tekhniki APK]. 2016, vol. 30, no. 8, pp. 9-16. (In Russian)
12. Chekmarev P.A., Lukin S.V. Dynamics of the fertility of arable soils, fertilizer application and yield of major crops in central-chernozem regions of Russia. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International Agricultural Journal]. 2017, no. 4, pp. 41-44. (In Russian)
13. Pirozhenko V.V., Tsygankov D.N. and Miroshnichenko O.N. Monitoring the state of the fertility of arable soils in Kursk Region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, vol. 33, no. 4, pp. 12-15. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10403
14. *Arkhiv pogody po gorodam Rossii* [Weather Archive for Russian Cities]. Available at: <https://climate-energy.ru> (accessed 30.04.2019)
15. Golovanov A.I. Water exchange and irrigation norms. *Prirodoobustroistvo* [Environmental management]. 2008, no. 3, pp. 5-14. (In Russian)
16. Chuyan O.G. Assessment of the acidity dynamics of arable soils in the Central Chernozem Region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, vol. 33, no. 12, pp. 5-9. (In Russian) DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11201
17. GOST 26213-91. *Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva* [GOST 26213-91. Soils. Methods for determination of organic matter]. Moscow, Committee of Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1993, 8 p. (In Russian)
18. GOST 26483-85. *Prigotovlenie solevoi vytyazhki i opredelenie ee rN po metodu TsINA* [GOST 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINA method]. Moscow, State Committee of the USSR for Standards Publ., 1986, 8 p. (In Russian)
19. GOST 26212-91. *Pochvy. Opredelenie gidroliticheskoi kislotsnosti po metodu Kappena v modifikatsii TsINA* [GOST 26212-91. Soils. Determination of hydrolytic acidity by Kappen method modified by CINA]. Moscow, Committee of Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1993, 6 p. (In Russian)
20. GOST 27821-2020. *Pochvy. Opredelenie summy pogloshchennykh osnovanii po metodu Kappena* [GOST 27821-2020. Soils. Determination of base absorption sum by Kappen method]. Moscow, Standartinform Publ., 2020, 9 p. (In Russian)
21. GOST 26204-91. *Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedinenii fosfora i kaliya po metodu Chirikova v modifikatsii* [GOST 26204-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chiricov method modified by CINA]. Moscow, Committee of Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1993, 6 p. (In Russian)
22. Valkov V.F., Kryshchenko V.S. [Methods for estimating the gross soil composition in genetic studies]. In: *Metodicheskie ukazaniya k nauchno-issledovatel'skoi rabote po pochvovedeniyu* [Guidelines for research work in soil science]. Rostov-on-the-Don, RSU Publ., 1983, 22 p. (In Russian)
23. Chuyan O.G. *Baza dannykh dlya regulirovaniya fiziko-khimicheskikh svoystv kisllykh pochv v adaptivno-landshaftnom zemledelii (dlya Tsentral'nogo Chernozemya)* [Database for the regulation of physical and chemical properties of acidic soils in adaptive landscape agriculture (for the Central Chernozem Region of Russia)]. Kursk, 2012, 78 p. (In Russian)
24. Kaurichev I.S., Orlov D.S. *Okislitel'no-vosstanovitel'nye protsessy i ikh rol' v genezise i plodorodii pochv* [Oxidation-reduction processes and their role in soil genesis and fertility]. Moscow, Kolos Publ., 1982, 247 p. (In Russian)
25. Chuyan O.G., Deriglazova G.M. Assessment of agroclimatic potential of arable land productivity for a model of management of agrochemical soil properties. *Zemledelie*, 2018, no. 7, pp. 6-11. (In Russian) DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10702
26. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 2002, vol. 107, iss. 1-2, pp. 1-32. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00136-7

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Олег Г. Чуюн разработал концепцию статьи, проанализировал данные, написал рукопись. Людмила Н. Караулова участвовала в сборе материалов, анализе данных, научном дизайне, корректуре рукописи. Авторы в равной степени несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Oleg G. Chuyan developed the concept of the paper, analysed the data and wrote the manuscript. Ludmila N. Karaulova participated in the collection of the materials, analysis of data, scientific design and correction of the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism or other ethical transgressions.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors declare no conflict of interest.

**ORCID**

Олег Г. Чуюн / Oleg G. Chuyan <https://orcid.org/0000-0002-4971-1888>

Людмила Н. Караулова / Lyudmila N. Karaulova <https://orcid.org/0000-0003-0633-109X>

Оригинальная статья / Original article

УДК 502.51(282)

DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-88-97

# Оценка уровня трофности и самоочищающей способности малого водотока по гидрохимическим показателям (на примере р. Рпень)

Татьяна А. Трифонова<sup>1,2</sup>, Светлана М. Чеснокова<sup>2</sup>, Олег В. Савельев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), Владимир, Россия

## Контактное лицо

Татьяна А. Трифонова, доктор биологических наук, профессор факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой биологии и экологии, заслуженный деятель науки РФ, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; 119991 Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12. Тел. +79107712442

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

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

## Формат цитирования

Трифопова Т.А., Чеснокова С.М., Савельев О.В. Оценка уровня трофности и самоочищающей способности малого водотока по гидрохимическим показателям (на примере р. Рпень) // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 88-97. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-88-97

Получена 10 марта 2020 г.

Прошла рецензирование 26 июня 2020 г.

Принята 15 августа 2020 г.

## Резюме

**Цель.** Оценка уровня трофности, токсичности для гидробионтов вод малого водотока урбанизированной территории по содержанию в воде биогенных элементов и его самоочищающей способности по значениям индекса нитрификации.

**Материалы и методы.** Концентрацию соединений биогенных элементов в водах реки определяли с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель 104Т». Содержание в воде легкоокисляемых органических соединений по величине перманганатной окисляемости (ПНО<sub>5</sub> Ф 14.1; 2.4.154-99), трудноокисляемых соединений – по величине химического потребления кислорода (РД 52.24.421-2012), отбор проб воды для анализа – по ГОСТ Р 51592-2000. Оценка уровня трофности воды оценивали по содержанию различных форм минерального азота и минерального фосфора. Агрегационный индекс, характеризующий токсичность различных форм минерального азота для гидробионтов, рассчитывали по их соотношению к ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. Нитрифицирующую способность вод реки оценивали по величине индекса нитрификации (I<sub>нитр.</sub>), рассчитываемого по соотношению в воде концентрации азота нитратов к сумме концентраций различных форм минерального азота, а самоочищающую способность по значениям индекса нитрификации.

**Результаты.** По величине агрегационного индекса вода во всех пунктах отбора проб токсична. Экосистема реки характеризуется слабой способностью к самоочищению и слабой нитрифицирующей способностью, что связано с влиянием на микробиоценоз водотока и организмы-фильтраторы многочисленных цианотоксинов.

**Заключение.** Показано, что наиболее чувствительным показателем трофности вод реки является концентрация минерального фосфора. По соотношению концентраций азота минерального к фосфору минеральному установили, что в фитопланктоне реки во всех исследованных пунктах преобладают сине-зеленые водоросли (цианобактерии) – продуценты цианотоксинов.

## Ключевые слова

Малый водоток, гидрохимические показатели, тип трофности, индекс нитрификации, самоочищающая способность, агрегационный индекс.

# Evaluation of the trophic level and self-cleaning ability of small flows by hydrochemical indicators (through the example of the Rpen River)

Tatiana A. Trifonova<sup>1,2</sup>, Svetlana M. Chesnokova<sup>2</sup> and Oleg V. Savelev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>A.G. and N.G. Stoletov Vladimir State University, Vladimir, Russia

## Principal contact

Tatiana A. Trifonova, Dr of Biological Sciences, Professor, Faculty of Soil Science & Head Department of Biology and Ecology, A.G. and N.G. Stoletov Vladimir State University -Honoured Scientist of the Russian Federation; 1, building 12, Leninskie Gory, Moscow, Russia 119991. Tel. +79107712442 Email [tatrifon@mail.ru](mailto:tatrifon@mail.ru) ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

## How to cite this article

Trifonova T.A., Chesnokova S.M., Savelev O.V. Evaluation of the trophic level and self-cleaning ability of small flows by hydrochemical indicators (through the example of the Rpen River). *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 88-97. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-88-97

Received 10 March 2020

Revised 26 June 2020

Accepted 15 August 2020

## Abstract

**Aim.** Assessment by nitrification index values of the level of trophicity and toxicity for aquatic organisms in the waters of a small watercourse in an urbanized area by the content of nutrients in the water and its self-cleaning ability.

**Materials and Methods.** The concentration of compounds of nutrients in the waters of the river was determined using the "Kapel 104T." system of capillary electrophoresis. Water was sampled for analysis according to GOST R 51592- 2000. The water content of readily oxidized organic compounds was assessed by the magnitude of permanganate oxidizability (PND F 14.1; 2.4.154-99) and difficultly oxidized compounds by the magnitude of the chemical oxygen consumption (RD 52.24.421-2012). Assessment of the water trophic level was evaluated by measuring the content of various forms of mineral nitrogen and mineral phosphorus. The aggregation index characterizing the toxicity of various forms of mineral nitrogen to aquatic organisms was calculated by their ratio to MPC for fishery reservoirs. The nitrifying ability of river waters was estimated by the value of the nitrification index ( $I_{\text{nitr.}}$ ), calculated by the ratio of the concentration of nitrogen of nitrates in water to the sum of the concentrations of various forms of mineral nitrogen and the self-cleaning ability by the values of the nitrification index.

**Results.** In terms of the aggregation index, water at all sampling points was found to be toxic. The river ecosystem is characterized by a weak ability to cleanse itself and a weak nitrifying ability, which is associated with the influence of numerous cyanotoxins on the microbiocenosis of the watercourse and filtration organisms.

**Conclusion.** It was shown that the most sensitive indicator of trophicity of river waters is the concentration of the mineral phosphorus. Through measuring the ratio of the concentrations of mineral nitrogen to mineral phosphorus, it was established that blue-green algae (cyanobacteria), producers of cyanotoxins, dominate in the phytoplankton of the river in all the points studied.

## Key Words

Small watercourse, hydrochemical indicators, type of trophicity, nitrification index, self-cleaning ability, aggregation index.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире малые водоемы и водотоки загрязнены, подвержены процессу антропогенного эвтрофирования, что вызывает массовое развитие в них цианобактерий и потерю ими способности к самоочищению. Эвтрофикация и потеря самоочищающей способности водным объектом приводит к изменению структуры гидробиоценоза, токсификации воды и деградации гидроэкосистемы, поэтому сохранение самоочищающей способности внутренних вод – является глобальной проблемой мирового сообщества, связанной с обеспечением человечества качественной питьевой водой и комфортными условиями проживания [1].

Несмотря на значительный спад промышленного и сельскохозяйственного производства в России антропогенная нагрузка на поверхностные воды практически не снизилась, что связано с поступлением поллютантов в водные объекты с поверхностным стоком от источников диффузного распространения загрязняющих веществ совместно с продуктами водной эрозии, вызываемой поверхностным стоком. Поверхностный сток, поступающий в водные объекты, составляет около 52% всего их водного питания [2].

Основными компонентами стоков с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий являются соединения биогенных элементов, органические вещества различной природы и токсичные поллютанты [1-4]. Кроме того, указанные вещества поступают в водные объекты с грунтовым стоком. Суммарный грунтовый сток составляет примерно 46% всего водного питания [2]. Грунтовый сток загрязнен утечками из водопроводных и канализационных сетей, а также фильтратом, поступающим из полигонов захоронения отходов производства и потребления [3].

Длительное поступление указанных веществ в малые водотоки, отличающиеся малым стоком, недостаточной устойчивостью и значительной уязвимостью, приводит к их эвтрофикации, массовому размножению сине-зеленых водорослей (цианобактерий), нарушению в них процессов самоочищения и токсификации воды [1; 5-7].

Наряду с аллохтонными (внешними) источниками поступления органического вещества и соединений биогенных элементов в малые водотоки, важную роль в загрязнении играют вещества автохтонного происхождения – продукты жизнедеятельности гидробионтов, и их мортмасса [8-9].

Накопление в поверхностных водах соединений азота приводит к их закислению, накоплению в воде токсичных метаболитов сине-зеленых водорослей и образованию опасных для биоты и человека нитрозоаминов, относящихся к классу наиболее сильных мутагенных алкилирующих агентов [10-13]. Токсичными для гидробионтов являются также соли аммония и нитриты [13]. При окислении ионов аммония снижается содержание в воде кислорода, что

также приводит к снижению качества воды и ухудшению жизнедеятельности гидробионтов [14-16].

*Цель работы* – оценка уровня трофности малого водотока по гидрохимическим показателям и её самоочищающей способности по значению индекса нитрификации, а также токсичности вод реки для гидробионтов по агрегационному индексу.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлась река Рпень, которая протекает по территории Суздальского района (верховья реки) и г. Владимира. Протяжённость водотока – 44 км, площадь водосбора – 273 км<sup>2</sup>. Гидрографическая сеть представлена 39 притоками длиной менее 10 км и рекой Содышка (длина водотока – 22 км). Карта-схема водотока представлена на рис. 1. Река имеет высокий уровень урбанизации, в её бассейне расположено 33 населённых пункта, причём 77% территории города Владимира расположено в бассейне реки Рпень. Основные источники загрязнения – стоки с сельскохозяйственных и сельских поселений (верховья реки), и ливневые стоки с промплощадок и территории г. Владимир. Гидрологический режим водотока нарушен. В бассейне реки расположено 11 инженерных прудов. Почвы на водосборе преимущественно распаханые, обезлесены.

Отбор проб воды для анализов проводили в соответствии с ГОСТ [17]. Содержание в воде реки основных катионов и анионов определили с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-104Т»; содержание гидрокарбонат ионов – титриметрически [18]; постоянную жесткость – комплексонометрически [19]; перманганатную окисляемость – титриметрически [20]; химическое потребление кислорода – по [21] РД 52.24.421-2012.

Оценку трофности воды реки проводили согласно рекомендациям, приведённые в работе Гальцовой и Дмитриева [22], (табл. 1).

Самоочищающую способность воды оценивали по индексу нитрификации, который рассчитывается по соотношению в воде различных форм минерального азота [23] по формуле:

$$I_{\text{нитр}} = \frac{N_{\text{NO}_3^-}}{N_{\text{мин}}} \cdot 100\%,$$

где  $N_{\text{NO}_3^-}$  – концентрация азота нитратного, мг/дм<sup>3</sup>;

$N_{\text{мин}} = (N_{\text{NO}_3^-} + N_{\text{NO}_2^-} + N_{\text{NH}_4^+})$ , мг/дм<sup>3</sup>;

$N_{\text{NO}_2^-}$  – концентрация азота нитритов, мг/дм<sup>3</sup>;

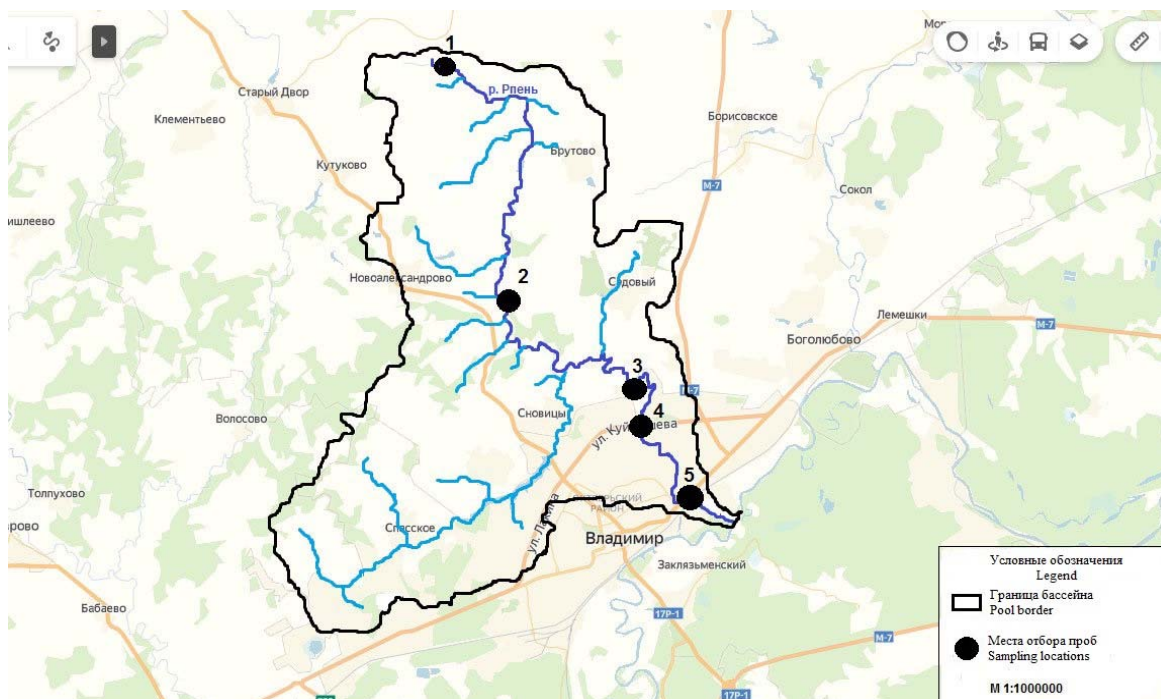
$N_{\text{NH}_4^+}$  – концентрация аммонийного азота, мг/дм<sup>3</sup>.

Для оценки токсичности для гидробионтов соединений азота нами использован агрегационный индекс [8], рассчитываемый по соотношению концентраций различных форм азота к их ПДК в водоёмах рыбохозяйственного назначения:

$$I_{\text{агр}} = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3},$$

где  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  – концентрации различных форм азота, мг/дм<sup>3</sup>;

$\text{ПДК}_1$ ,  $\text{ПДК}_2$ ,  $\text{ПДК}_3$  – их предельно допустимые концентрации в воде рыбохозяйственного назначения.



**Рисунок 1.** Карта-схема бассейна р. Рпень (1-5 пункты отбора проб):

1 – исток; 2 – выше устья р. Содышка; 3 – ниже устья р. Содышка; 4 – зона влияния автодороги М-7; 5 – устье

**Figure 1.** Map of the Rpen river basin (1-5 sampling points):

1 – source; 2 – above the mouth of the river Sodishka; 3 – below the mouth of the river Sodishka;

4 – zone of influence of the M-7 highway; 5 – estuary

**Таблица 1.** Критерии трофности вод по содержанию биогенных элементов

**Table 1.** Criteria of trophicity of waters by the content of nutrients

| Критерий<br>Criterion                                              | Тип трофности / Type of trophy |                          |                      |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------|
|                                                                    | Олиготрофия<br>Oligotrophy     | Мезотрофия<br>Mesotrophy | Эвтрофия<br>Eutrophy |
| $N_{амон}, \text{мг/дм}^3 / N_{amon}, \text{mg/dm}^3$              | 0,025-0,15                     | 0,15-0,6                 | >0,60                |
| $N_{нитрат}, \text{мг/дм}^3 / N_{nitrate}, \text{mg/dm}^3$         | 0,01-0,2                       | 0,2-0,3                  | >0,3                 |
| $N_{нитрит}, \text{мг/дм}^3 / N_{nitrite}, \text{mg/dm}^3$         | 0,01-0,015                     | 0,015-0,06               | >0,06                |
| $\text{Мин. форм. N, мг/дм}^3$<br>Min forms. N, mg/dm <sup>3</sup> | 0,05-0,35                      | 0,35-0,95                | >0,95                |
| $\text{Мин. форм. P, мг/дм}^3$<br>Min forms. P, mg/dm <sup>3</sup> | 0,01-0,03                      | 0,03-0,25                | >0,25                |

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Места отбора проб воды для анализов указаны на рисунке 1. Анализ результатов определения содержания соединений биогенных элементов в водах реки Рпень (табл. 2) свидетельствует о значительном

росте антропогенной нагрузки на водоток от истока к устью.

По значениям постоянной и временной (гидрокарбонатной) жёсткости воды реки относятся к мягким ( $J_{\text{пост}} < 4 \text{ мг*экв/дм}^3$ ), гидрокарбонатным (рис. 2).

**Таблица 2.** Концентрация основных компонентов в водах р. Рпень (июль 2018г.)

**Table 2.** Concentration of the main components in the waters of the river Rpen (July 2018)

| Места отбора проб<br>Sampling locations                              | Концентрации, мг/дм <sup>3</sup><br>Concentrations, mg/dm <sup>3</sup> |                               |                              |                              |                |                               |                              |                |                 |                  |                  | pH  |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-----|
|                                                                      | Анионы / Anions                                                        |                               |                              |                              |                |                               | Катионы / Kations            |                |                 |                  |                  |     |
|                                                                      | Cl <sup>-</sup>                                                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | F <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> |     |
| 1. Исток<br>1. Source                                                | 7,6                                                                    | 3,4                           | 0,5                          | 0,03                         | 0,2            | 0,8                           | 0,2                          | 1,3            | 4,1             | 15,1             | 56,6             | 8,0 |
| 2. Выше устья р. Содышка<br>2. Above the mouth of the Sodishka River | 31,2                                                                   | 27,5                          | 3,0                          | 0,08                         | 0,2            | 0,5                           | 0,2                          | 2,7            | 8,5             | 10,8             | 45,4             | 7,2 |
| 3. Ниже устья р. Содышка<br>3. Below the mouth of the Sodishka River | 17,4                                                                   | 19,5                          | 1,6                          | 0,05                         | 0,1            | 0,7                           | 0,1                          | 2,4            | 5,8             | 12,8             | 48,4             | 7,1 |

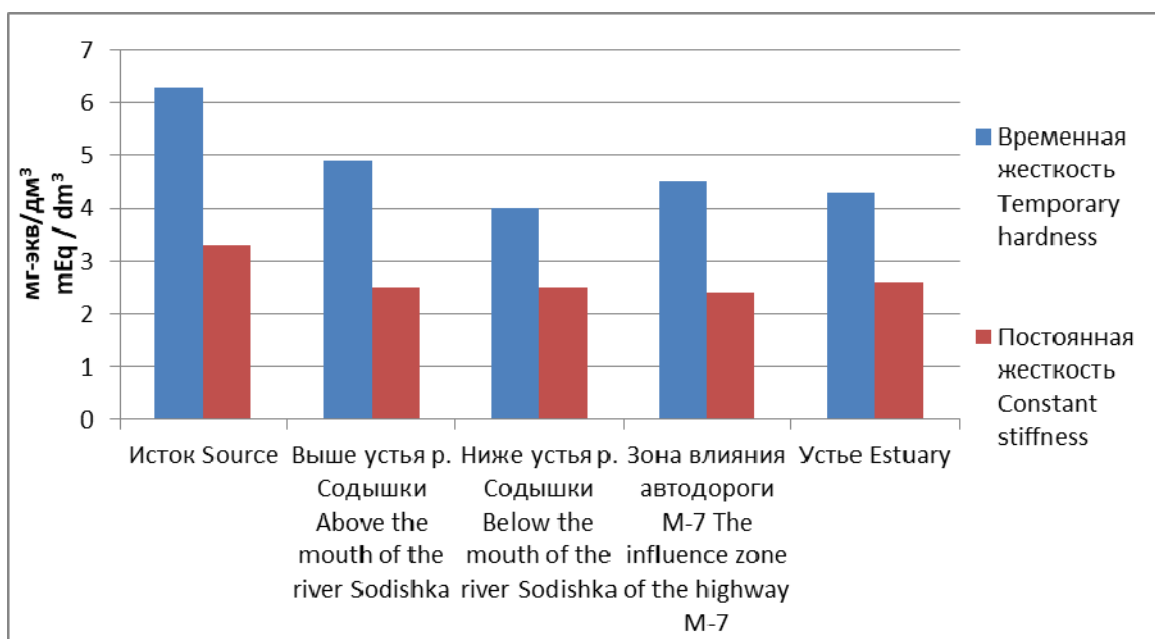
|                                       |      |      |     |      |     |     |     |     |      |      |      |     |  |
|---------------------------------------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|--|
| <b>4. Зона влияния автодороги М-7</b> |      |      |     |      |     |     |     |     |      |      |      |     |  |
| 4. Influence zone of the M-7 highway  | 24,0 | 26,6 | 1,3 | 0,05 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 2,9 | 8,7  | 9,9  | 38,9 | 7,2 |  |
| <b>5. Устье</b>                       |      |      |     |      |     |     |     |     |      |      |      |     |  |
| 5. Estuary                            | 84,5 | 33,4 | 4,3 | 0,09 | 0,2 | 0,6 | 1,1 | 3,8 | 36,9 | 12,4 | 49,0 | 7,7 |  |

По величине pH (табл. 1), воды реки относятся к нейтральным и слабощелочным (исток).

От истока к устью концентрация нитратов в водах реки возросла в 8,6 раз, нитритов – в 3 раза, ионов аммония – в 15,5 раз, что свидетельствует о слабой самоочищающей способности водотока от аммонийного азота (слабой нитрифицирующей способности). Концентрация фосфат-ионов наибольшая в истоке (рис. 3), что связано с накоплением в этом

участке реки органического вещества в результате ежегодного отмирания многочисленных макрофитов и сине-зеленых водорослей, а также после впадения реки Содышка, испытывающей влияние двух крупных птицефабрик – источников загрязнения водотока соединениями фосфора.

Концентрации биогенных элементов в водах реки представлены в таблице 3.



**Рисунок 2.** Временная и постоянная жесткость вод р. Рпень  
**Figure 2.** Temporary and permanent water hardness of the river Rpen



**Рисунок 3.** Исток р. Рпень  
**Figure 3.** Source of the Rpen River

**Таблица 3.** Концентрация биогенных элементов в водах реки Рпень  
**Table 3.** Concentration of nutrients in the waters of the Rpen River

| Места отбора проб<br>Sampling locations                                                    | Концентрации, мг/дм <sup>3</sup><br>Concentrations, mg/dm <sup>3</sup> |                  |                  |                                     |                                     | Соотношение<br>N <sub>мин</sub> и P <sub>мин</sub><br>Ratio of N <sub>min</sub><br>and P <sub>min</sub> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                            | N <sub>NO3</sub>                                                       | N <sub>NO2</sub> | N <sub>NH4</sub> | N <sub>мин</sub> / N <sub>min</sub> | P <sub>мин</sub> / P <sub>min</sub> |                                                                                                         |
| <b>1. Исток</b><br>1. Source                                                               | 0,11                                                                   | 0,009            | 0,16             | 0,28                                | 0,26                                | 1,1                                                                                                     |
| <b>2. Выше устья</b><br><b>р. Содышка</b><br>2. Above the mouth<br>of the Sodishka River   | 0,68                                                                   | 0,02             | 0,16             | 0,86                                | 0,16                                | 5,4                                                                                                     |
| <b>3. Ниже устья</b><br><b>р. Содышка</b><br>3. Below the mouth<br>of the Sodishka River   | 0,36                                                                   | 0,01             | 0,08             | 0,45                                | 0,22                                | 2,5                                                                                                     |
| <b>4. Зона влияния</b><br><b>автодороги М-7</b><br>4. Influence zone<br>of the M-7 highway | 0,29                                                                   | 0,01             | 0,08             | 0,38                                | 0,13                                | 2,9                                                                                                     |
| <b>5. Устье</b><br>5. Estuary                                                              | 0,97                                                                   | 0,03             | 0,86             | 1,86                                | 0,19                                | 9,8                                                                                                     |

Как следует из таблиц 2 и 3, по содержанию минерального фосфора во всех пунктах отбора проб, река эвтрофирована, а по общей концентрации минеральных форм азота водоток эвтрофирован только в устье (рис. 4), а остальные исследованные участки водотока (1-4) являются мезотрофными. По содержанию в воде нитратного азота исток реки можно отнести к олиготрофным, а участки до впадения реки Содышка и устье – к эвтрофным, а участки после впадения реки Содышка и под мостом автодороги М-7

– к мезотрофным. По концентрации азота нитритов только участки до впадения реки Содышка и устье отнесены к мезотрофным, а остальные – к олиготрофным. Исходя из полученных результатов оценки типа трофности вод реки Рпень, можно заключить, что наиболее чувствительными критериями оценки для этого водотока можно считать концентрацию минерального фосфора и сумму минеральных форм азота (N<sub>мин</sub>).



**Рисунок 4.** Устье р. Рпень

**Figure 4.** The mouth of the Rpen River

Соотношение концентраций минеральных форм азота и фосфора во всех пунктах отбора проб (табл. 3) менее 10, что указывает на преобладание в фитопланктоне сине-зелёных водорослей [24]. При натурных наблюдениях за водотоком во всех пунктах отбора воды нами обнаружено массовое размножение сине-зелёные водорослей (цианобактерий) (рис. 3 и 4). В процессе жизнедеятельности и после их отмирания в воде накапливаются цианотоксины (альготоксины), а также соли аммония – потенциальные источники образования канцерогенных и мутагенных нитрозоаминов [6; 11].

В процессе самоочищения природных вод основная роль принадлежит микроорганизмам-деструкторам загрязняющих веществ различной природы и гидробионтам-фильтраторам воды [25].

Альготоксины (цианотоксины) подавляют физиологическую активность гидробионтов, участвующих в самоочищении водных экосистем, что

вызывает деградацию малых водных объектов при массовом размножении в них цианобактерий [1; 6]. Особенно чувствительны к альготоксинам микроорганизмы, участвующие в процессе нитрификации, которая протекает после завершения трансформации органических соединений. Исходя из этого, для оценки самоочищающей способности водотока мы использовали индекс нитрификации и разработали соответствующую оценочную шкалу [23].

Для оценки уровня загрязнения водотока легкоокисляемыми органическими и неорганическими веществами нами использована перманганатная окисляемость (ПО), а суммы легко- и трудноокисляемых веществ – химическое потребление кислорода (ХПК) [25].

Как следует из таблицы 4, самоочищающая способность водотока от истока до устья меняется неравномерно.

**Таблица 4.** Самоочищающая способность реки Пень

**Table 4.** Self-cleaning ability of the Rpen River

| Места отбора проб<br>Sampling locations                                       | Индекс нитрификации, %<br>Nitrification index, % | Способность<br>к самоочищению<br>Self-cleaning ability |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>1. Исток</b><br>1. Source                                                  | 39,3                                             | Низкая                                                 |
| <b>2. Выше устья р. Содышка</b><br>2. Above the mouth of the Sodishka River   | 93,0                                             | Хорошая                                                |
| <b>3. Ниже устья р. Содышка</b><br>3. Below the mouth of the Sodishka River   | 80,0                                             | Средняя                                                |
| <b>4. Зона влияния автодороги М-7</b><br>4. Influence zone of the M-7 highway | 76,3                                             | Средняя                                                |
| <b>5. Устье</b><br>5. Estuary                                                 | 52,0                                             | Низкая                                                 |

Наиболее низкая способность к самоочищению обнаружена в истоке, где также самое низкое соотношение  $N_{мин}$  и  $P_{мин}$ , что указывает на интенсивное развитие в данном створе сине-зелёных водорослей [24]. Исходя из этого, подавление нитрифицирующей способности в истоке можно объяснить влиянием токсичных альготоксинов на нитрифицирующие бактерии. Подавление процесса нитрификации в устье

связано с влиянием токсичных поллютантов, поступающих в водоток с территории г. Владимир и альготоксинами.

Установлено (табл. 5), что наибольшее значение агрегационный индекс имеет в устье реки. Величина этого индекса свидетельствует о высокой токсичности воды для гидробионтов в этом участке реки.

**Таблица 5.** Агрегационный индекс вод реки Пень

**Table 5.** Rpen River Aggregation Index

| Места отбора проб<br>Sampling locations                                           | $I_{arp}$<br>$I_{agr}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>1. Исток</b><br>1. Source                                                      | 0,355                  |
| <b>2. Выше устья р. Содышка</b><br>2. Above the mouth of the river Sodishka River | 0,462                  |
| <b>3. Ниже устья р. Содышка</b><br>3. Below the mouth of the river Sodishka River | 0,299                  |
| <b>4. Зона влияния автодороги М-7</b><br>4. Influence zone of the M-7 highwa      | 0,294                  |
| <b>5. Устье</b><br>5. Estuary                                                     | 2,363                  |

Выявлена тенденция значительного роста уровня загрязнения водотока от истока к устью как легко- так и трудноокисляемыми веществами (рис. 5), что свидетельствует об увеличении вклада в загрязнение

реки стоков с селитебных территорий, особенно г. Владимир. В составе органического вещества водотока преобладают трудноокисляемые органические соединения.

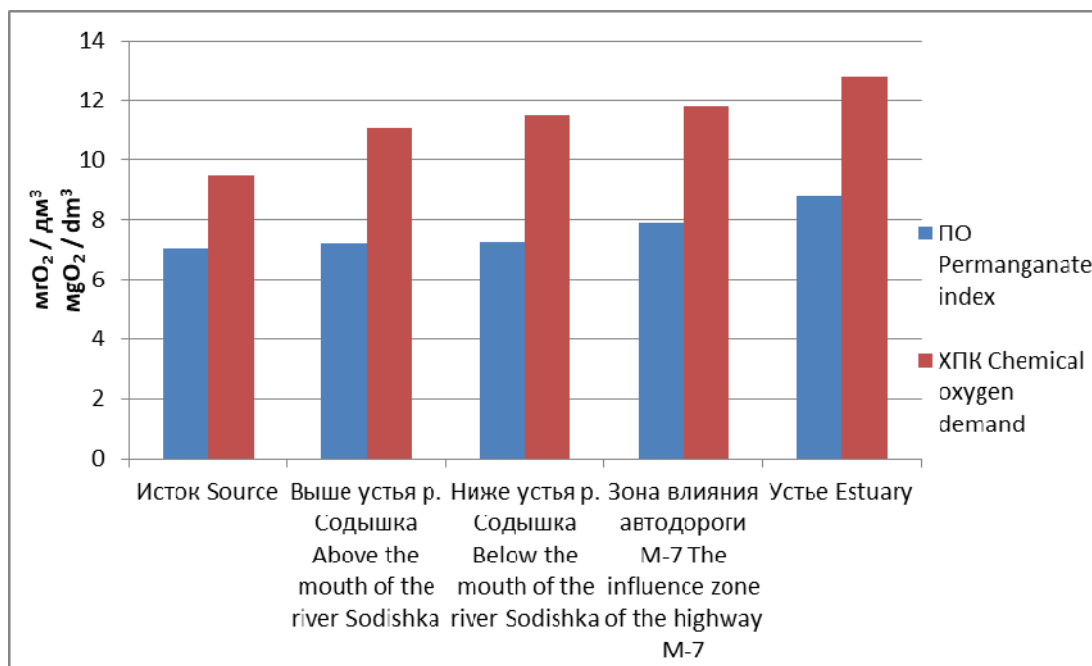


Рисунок 5. Перманганатная окисляемость и химическое потребление кислорода вод реки Рпень

Figure 5. Permanganate oxidizability and chemical oxygen demand of the Rpen River waters

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уровень загрязнения вод реки Рпень биогенными элементами и органическим веществом возрастает от истока к устью, что связано, главным образом, с их поступлением со стоками с сельхозугодий и сельских поселений, а также территории города Владимир. В составе органического вещества преобладают трудноокисляемые соединения.

Показано, что наиболее чувствительным критерием для оценки уровня трофности вод реки является концентрация минеральных форм фосфора. Во всех исследованных участках водоток по концентрации минерального фосфора эвтрофирован. В фитопланктоне преобладают сине-зелёные водоросли, что является источником загрязнения воды токсичными альготоксинами (цианотоксинами), подавляющими жизнедеятельность гидробионтов и микробиоценоза, участвующих в самоочищении водотока.

Водоток в среднем течении обладает хорошей и средней нитрифицирующей и самоочищающей способностью, а в истоке и устье – низкой, что связано с влиянием на нитрифицирующие бактерии цианотоксинов. По величине агрегационного индекса установлено, что наиболее токсичной для гидробионтов является вода в устье реки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zaccaroni A. Toxicity of fresh water algal toxins to humans and animals // *Algal toxins: nature, occurrence, effect and detection*. Dordrecht: Springer, 2008 P. 45-89.
2. Сметанин В. И. Восстановление и очистка водных объектов. М.: КолосС, 2003. 157 с.
3. Янин Е.П. Источники и пути поступления загрязняющих веществ в реки промышленно-урбанизированных территорий // *Научные и*

технические аспекты охраны окружающей среды. 2002. N 6. С. 2-56.

4. Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Вишневская И.А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. N 2. С. 232-244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244

5. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.

6. Анциферова Г.А., Кульнев В.В., Шевырев С.Л., Беспалова Е.В., Русова Н.И. Искусственные водные объекты бассейна реки Воронеж и альгобиотехнология в управлении качеством вод // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22. N 8. С. 50-54. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-8-50-54

7. Трифонова Т.А., Сенатов А.С. Оценка предельно-допустимой техногенной нагрузки на водотоки малого речного бассейна // *Геоэкология*. 2008. N 4. С. 322-330.

8. Асхабова Х.Н., Оздыханов М.С., Сапаев Х.Х. Экологическая оценка загрязнения реки Терек на территории Чеченской Республики // *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13. N 1. С. 212-220. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-212-220

9. Кривицкий С.В. Гидроэкология: улучшение качества воды в водоеме // *Экология и промышленность России*. 2007. N 7. С. 18-21.

10. Моисеенко Т.И. Закисление вод. Факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2003. 276 с.

11. Рубенчик Б.Л. Образование канцерогенов из соединений азота. Киев: Наукова думка, 1990. 221 с.

12. Winston G.W., Traynor C.A., Shane B.S., Hajos A.K.D. Modulation of the mutagenicity of three dinitropyrene isomers in vitro by rat-liver S9, cytosolic, and microsomal

- fractions following chronic ethanol ingestion // *Mutation Research*. 1992. V. 279. P. 289-298.
13. Сиренко Л.А., Казицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наукова думка. 1988. 256 с.
  14. Моисеенко Т.И. Экоотоксикологический подход к оценке качества вод // *Водные ресурсы*. 2005. Т. 32. N 2. С. 184-195.
  15. Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2000. Т. 2. N 2. С. 233-243.
  16. Бубенов Р.Н., Борисенко В.И., Даниленко А.А., Бубенова Л.А. О некоторых аспектах оценки негативного антропогенного воздействия на качество поверхностных водных объектов в системе обеспечения экологической безопасности // *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13. N 4 (49). С. 147-156. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-147-156
  17. ГОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2020. 32 с.
  18. ГОСТ 23268.3-78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения гидрокарбонат-ионов. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1978. 4 с.
  19. ПНД Ф 14.1:2.3.98-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений общей жесткости в пробах природных и сточных вод титриметрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по экологии, 1997. 25 с.
  20. ПНД Ф 14.1:2.4.154-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1999. 11 с.
  21. РД 52.24.421-2012 Химическое потребление кислорода в водах. Методика измерений титриметрическим методом. Ростов на Дону: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2012. 18 с.
  22. Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных экосистем. СПб.: Санкт-Петербургская типография "Наука", 2007. 364 с.
  23. Злышко А.С., Чеснокова С.М., Бородин И.А. Антропогенная трансформация и самоочищающая способность малой реки // *Теоретическая и прикладная экология*. 2012. N 3. С. 44-49.
  24. Булгаков Н.Г., Левич А.П. Биогенные элементы в среде и фитопланктон: соотношение азота и фосфора как самостоятельный фактор регулирования структуры альгоценоза // *Успехи современной биологии*. 1995. Т. 15. N 1. С. 13-23.
  25. Алимов А.В. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
  2. Smetanin V. I. *Vosstanovlenie i ochistka vodnykh ob'ektov* [Restoration and purification of water bodies]. Moscow, Kolos Publ., 2003, 157 p. (In Russian)
  3. Yanin E.P. Sources and routes of pollutants entering rivers of industrialized urban areas. Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchei sredy [Scientific and technical aspects of environmental protection]. 2002, no. 6, pp. 2-56. (In Russian)
  4. Yasinskii S.V., Venitsianov E.V., Vishnevskaya I.A. Diffuse pollution of waterbodies and assessment of nutrient removal under different land-use scenarios in a catchment area. *Water Resources*, 2019, no. 2, pp. 232-244. (In Russian) DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244
  5. Datsenko Yu.S. *Evtrofirovaniye vodokhranilishch. Gidrologo-gidrokhimicheskie aspekty* [Eutrophication of reservoirs. Hydrological and hydrochemical aspects]. Moscow, GEOS Publ., 2007, 252 p. (In Russian)
  6. Antsiferova G.A., Kul'nev V.V., Shevyrev S.L., Bepalova E.V., Rusova N.I. Artificial water bodies of the Voronezh River basin and algae biotechnology in water quality management. *Ecology and Industry of Russia*, 2018, vol. 22, no. 8, pp. 50-54. (In Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2018-8-50-54
  7. Trifonova T.A., Senatov A.S. Assessment of the maximum permissible technogenic load on the watercourses of a small river basin. *Geoekologiya* [Geoecology]. 2008, no. 4, pp. 322-330. (In Russian)
  8. Askhabova Kh.N., Ozdykhanov M.S., Sapaev Kh.Kh. Environmental assessment of contamination of the Terek River in the territory of the Chechen Republic. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 212-220. (In Russian). DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-212-220
  9. Krivitskii S.V. Hydroecology: improving water quality in a water. *Ekologiya i promyshlennost'* [Ecology and Industry of Russia]. 2007, no. 7, pp. 18-21. (In Russian)
  10. Moiseenko T.I. *Zakislennie vod. Faktory, mekhanizmy i ekologicheskie posledstviya* [Acidification of water. Factors, mechanisms and environmental impacts]. Moscow, Nauka Publ., 2003, 276 p. (In Russian)
  11. Rubenchik B.L. *Obrazovanie kantserogenov iz soedinenii azota* [Formation of carcinogens from nitrogen compounds]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1990, 221 p. (In Russian)
  12. Winston, G.W., Traynor, C.A., Shane, B.S., Hajos, A.K.D. Modulation of the mutagenicity of three dinitropyrene isomers in vitro by rat-liver S9, cytosolic, and microsomal fractions following chronic ethanol ingestion. *Mutation Research*, 1992, vol. 279, pp. 289-298.
  13. Sirenko L.A., Kazitskaya V.N. *Biologicheski aktivnye veshchestva vodoroslei i kachestvo vody* [Biologically active substances of algae and water quality]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988, 256 p. (In Russian)
  14. Moiseenko T.I. Ecotoxicological approach to water quality assessment. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2005, vol. 32, no. 2, pp. 184-195. (In Russian)
  15. Zinchenko T.D., Vykhristyuk L.A., Shitikov V.K. Methodological approach to ecological condition assessment of river system for hydrochemical and hydrobiological indexes. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2000, vol. 2, no. 2, pp. 233-243. (In Russian)
  16. Bubenov R.N., Borisenko V.I., Danilenko A.A., Bubenova L.A. On some aspects of the assessment of negative

## REFERENCES

1. Zaccaroni A. Toxicity of fresh water algal toxins to humans and animals. Algal toxins: nature, occurrence, effect and detection. Dordrecht, Springer, 2008, pp. 45-89.

anthropogenic impact on the quality of surface water bodies in the environmental safety ensuring system. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 147-156. (In Russian). DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-147-156

17. *GOST R 59024-2020 Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [GOST R 59024-2020 Water. General requirements for sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2020, 32 p. (In Russian)

18. *GOST 23268.3-78 Vody mineral'nye pit'evye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye. Metody opredeleniya gidrokarbonat-ionov* [GOST 23268.3-78 Mineral waters for drinking, medicinal, medicinal-table and natural table. Methods for the determination of hydrocarbonate ions]. Moscow, USSR State Committee for Standards Publ., 1978, 4 p. (In Russian)

19. *PND F 14.1:2:3.98-97. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika izmerenii obshchei zhestkosti v probakh prirodnkh i stochnykh vod titrimetricheskimi metodami* [PND F 14.1: 2: 3.98-97. Quantitative chemical analysis of waters. Methods for measuring total hardness in natural and wastewater samples by titrimetric method]. Moscow, State Committee of the Russian Federation for Ecology Publ., 1997, 25 p. (In Russian)

20. *PND F 14.1:2:4.154-99. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenii permanganatnoi okislyaemosti v probakh pit'evykh, prirodnkh i stochnykh vod titrimetricheskimi metodami* [PND F 14.1: 2: 4.154-99. Quantitative chemical analysis of waters. Methods for performing measurements of

permanganate oxidizability in samples of drinking, natural and wastewaters by the titrimetric method]. Moscow, State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection Publ., 1999.11 p. (In Russian)

21. *RD 52.24.421-2012 Khimicheskoe potreblenie kisloroda v vodakh. Metodika izmerenii titrimetricheskimi metodami* [RD 52.24.421-2012 Chemical oxygen demand in waters. Titrimetric measurement technique]. Rostov-on-Don, Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) Publ., 2012.18 p. (In Russian)

22. Gal'tsova V.V., Dmitriev V.V. *Praktikum po vodnoi ekologii i monitoringu sostoyaniya vodnykh ekosistem* [Workshop on aquatic ecology and monitoring the status of aquatic ecosystems]. St. Petersburg, "Nauka" Publ., 2007, 364 p. (In Russian)

23. Zlyvko A.S., Chesnokova S.M., Borodina I.A. Anthropogenic transformation and self-cleaning ability of a small river. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology]. 2012, no. 3, pp. 44-49. (In Russian)

24. Bulgakov N.G., Levich A.P. Biogenic elements in the environment and phytoplankton: the ratio of nitrogen and phosphorus as an independent factor in regulating the structure of algocenosis. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Advances in Modern Biology]. 1995, vol. 15, no. 1, pp. 13-23. (In Russian)

25. Alimov A.V. *Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem* [Elements of the theory of the functioning of aquatic ecosystems]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2000, 147 p. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Олег В. Савельев производил отбор проб, проводил анализы. Татьяна А. Трифонова проанализировала данные. Светлана М. Чеснокова написала рукопись и несет ответственность за плагиат, самоплагиат или другие неэтические проблемы.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Oleg V. Savelev took samples and carried out analyses. Tatiana A. Trifonova analysed the data. Svetlana M. Chesnokova wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

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

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

Олег В. Савельев / Oleg V. Savelev <https://orcid.org/0000-0002-3425-8021>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 502.057  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-98-107

## Современное экологическое состояние вод Каспийского моря при освоении нефтегазовых месторождений

Аркадий Ф. Сокольский<sup>1</sup>, Асылбек Ш. Канбетов<sup>2</sup>, Николай Н. Попов<sup>3</sup>,  
Батыржиши А. Муташев<sup>4</sup>, Нухкади И. Рабазанов<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, Астрахань, Россия

<sup>2</sup>НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева», Атырау, Республика Казахстан

<sup>3</sup>ТОО «Казэкопроект», Атырау, Республика Казахстан

<sup>4</sup>Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

<sup>5</sup>Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

### Контактное лицо

Аркадий Ф. Сокольский, доктор биологических наук, профессор кафедры инженерных систем и экологии Астраханского государственного архитектурно-строительного университета; 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 18. Тел. +79378292720  
Email [a.sokolsky@mail.ru](mailto:a.sokolsky@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>

### Формат цитирования

Сокольский А.Ф., Канбетов А.Ш., Попов Н.Н., Муташев Б.А., Рабазанов Н.И. Современное экологическое состояние вод Каспийского моря при освоении нефтегазовых месторождений // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 98-107. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-98-107

Получена 10 ноября 2020 г.

Прошла рецензирование 2 декабря 2020 г.

Принята 19 января 2021 г.

### Резюме

**Цель.** Настоящее исследование явилось попыткой авторов выявить влияние осуществляемой в Каспийском море добычи нефти на качество окружающих нефтегазодобывающих платформ водной среды.

**Материал и методы.** В 2018 г. по заказу Комитета лесного хозяйства и животного мира МСХ РК ТОО «Казэкопроект» провело комплексные морские исследования по оценке состояния биологических ресурсов восточной части Каспийского моря (ВЧКМ). Все исследования проводились по стандартным, принятым в международной практике методам. Сбор проб осуществлялся в летний (июль-август) и осенний (сентябрь).

**Результаты.** Анализом материалов экологических исследований, проведенных в акватории восточной части Каспийского моря в 2018 году установлено отсутствие в морской воде сверх нормативных показателей концентрации биогенных элементов. Установлено, что на нескольких станциях летом и осенью в воде были превышены концентрации нефтепродуктов. Концентрации пестицидов в воде Северного Каспия в 2018 году не обнаружено.

**Заключение.** Установлено, что в восточной части Каспийского моря в 2018 году отсутствует в морской воде сверх нормативных показателей концентрация биогенных элементов. Из тяжёлых металлов превышение предельно-допустимых концентраций было обнаружено только на одной станции у меди. Летом в 159 квадрате, осенью в 121. Особое беспокойство вызывает тот факт, что на нескольких станциях летом и осенью в воде были превышены концентрации нефтепродуктов. Концентрации пестицидов в воде Северного Каспия в 2018 году не обнаружено.

### Ключевые слова

Каспийское море, биогенные элементы, тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды.

# Contemporary ecological state of waters of the Caspian Sea during development of oil and gas deposits

Arkadiy F. Sokolskiy<sup>1</sup>, Assylbek Sh. Kanbetov<sup>2</sup>, Nikolay N. Popov<sup>3</sup>,  
Batyrgishi A. Mutashev<sup>4</sup> and Nukhkadi I. Rabazanov<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia

<sup>2</sup>NJSC "Atyrau Oil and Gas University named after S. Utebayev", Atyrau, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup>TOO Kazekoproekt, Atyrau, Republic of Kazakhstan

<sup>4</sup>Dagestan State University, Makhachkala, Russia

<sup>5</sup>Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

## Principal contact

Arkadiy F. Sokolskiy, Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Engineering Systems and Ecology, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 18 Tatysheva St, Astrakhan, Russia 414056.

Tel. +79378292720

Email [a.sokolsky@mail.ru](mailto:a.sokolsky@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>

## How to cite this article

Sokolskiy A.F., Kanbetov A.Sh., Popov N.N., Mutashev B.A., Rabazanov N.I. Contemporary ecological state of waters of the Caspian Sea during development of oil and gas deposits. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 98-107. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-98-107

Received 10 November 2020

Revised 2 December 2020

Accepted 19 January 2021

## Abstract

**Aim.** This study was an attempt by the authors to identify the impact of oil production in the Caspian Sea on the quality of waters surrounding oil and gas-production platforms.

**Material and Methods.** In 2018, by order of the Committee for Forestry and Wildlife of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, Kazekoproekt carried out comprehensive marine research to assess the state of biological resources in the eastern part of the Caspian Sea. All studies were carried out according to standard methods accepted in international practice. Samples were collected in summer (July-August) 2018 and autumn (September) 2018.

**Results.** An analysis of the materials of environmental studies carried out in the water area of the eastern part of the Caspian Sea in 2018 established the absence of biogenic concentrations in sea water in excess of the standard indicators. It was found that in the waters surrounding several stations in summer and autumn, concentrations of oil products were exceeded. The concentrations of pesticides in the waters of the northern Caspian Sea recorded in 2018 were not detected.

**Conclusion.** It was found that in the eastern part of the Caspian Sea in 2018 there was no concentration of biogenic elements in sea water above the standard indicators. Of the heavy metals, an excess of maximum permissible concentrations was found only at one station - of copper in the summer over 159 sq. m and in the autumn over 121 sq. m. Of particular concern is the fact that at several stations in summer and autumn excessive concentrations of petroleum products were recorded. The concentrations of pesticides in the waters of the northern Caspian Sea recorded in 2018 were not detected.

## Key Words

Caspian Sea, biogenic elements, heavy metals, petroleum products, pesticides.

**ВВЕДЕНИЕ**

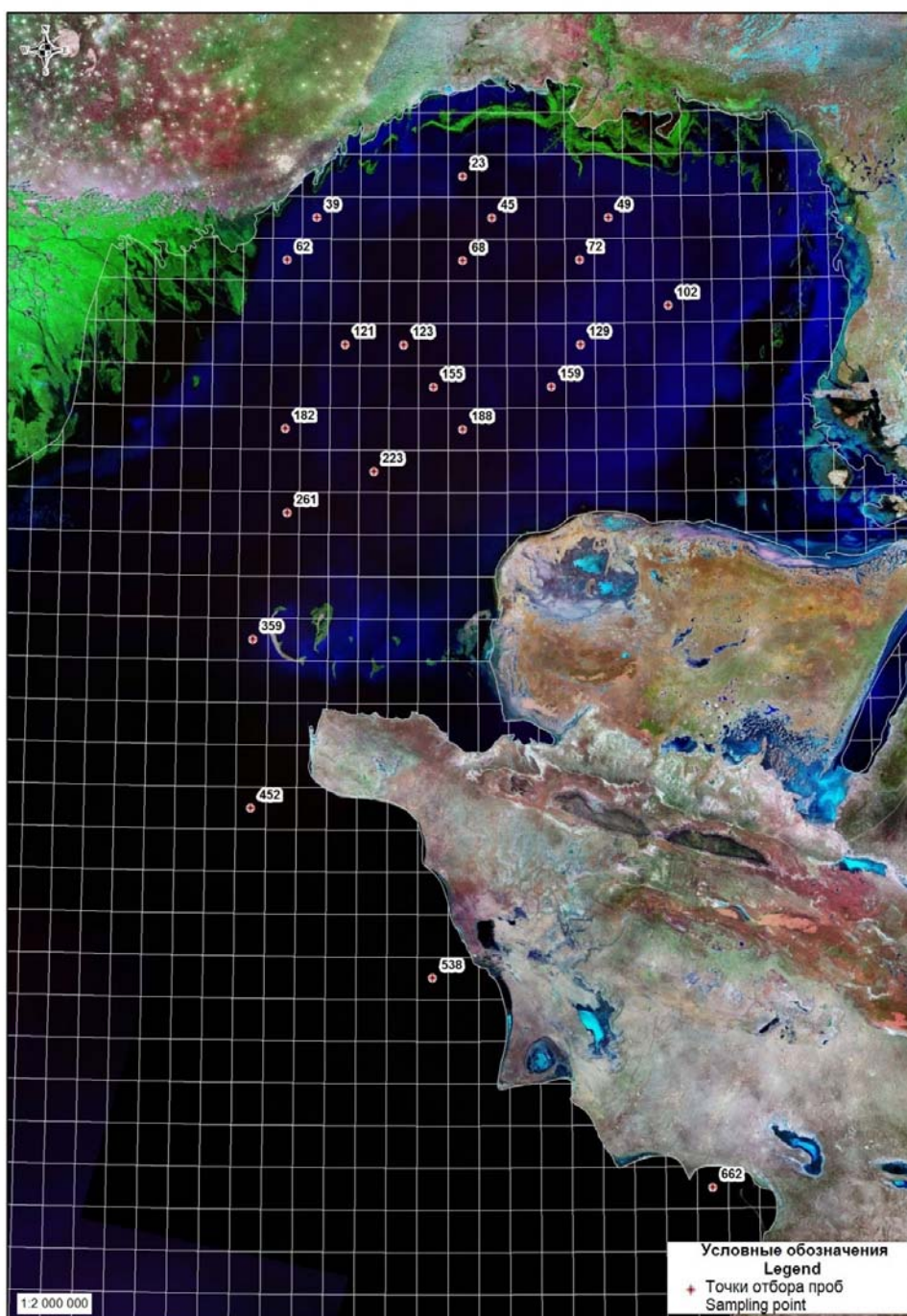
В настоящее время формирование биоресурсов Каспийского моря происходит под воздействием многофакторного антропогенного воздействия. Зарегулирование стока рек, промышленное и бытовое водопользование, хроническое загрязнение, нерациональный промысел и незаконное изъятие рыб обусловили сокращение численности и запасов многих ценнейших рыб. В последние годы антропогенное воздействие на морскую экосистему значительно увеличилось, чему способствовало освоение морских нефтегазовых месторождений всеми прикаспийскими государствами. Тревожной особенностью этой ситуации является совпадение областей повышенной биопродуктивности Каспийского моря с районами

наиболее сильного антропогенного пресса, что и попытались показать авторы данной работы.

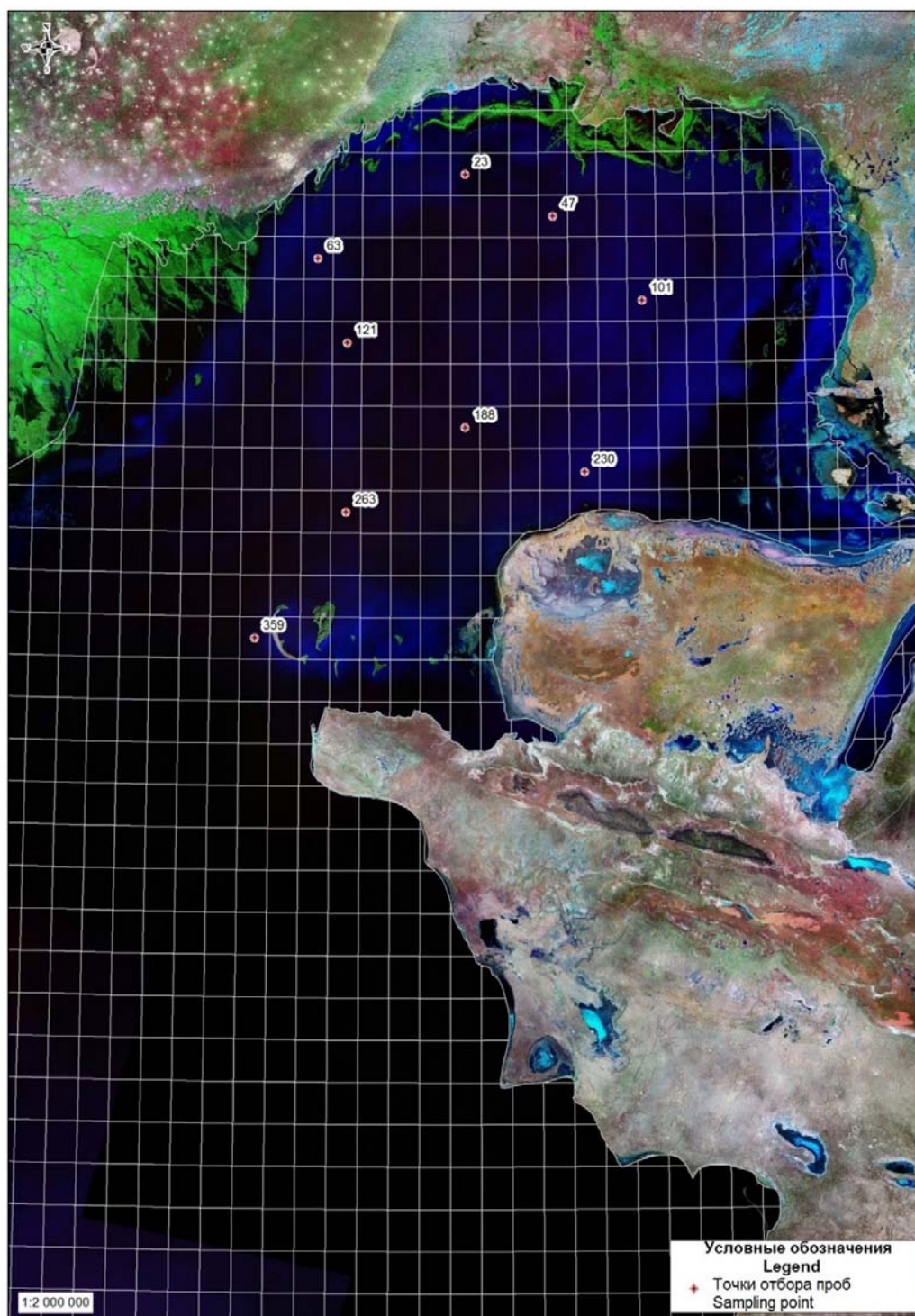
**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование проводилось в соответствии с Технической спецификацией согласно общепринятым в практике проведения аналогичных услуг методикам [1-6]. В результате проведенных исследований, получены данные по гидролого-гидрохимическому режиму, токсикологической обстановке в водоеме [7-8].

Исследования проводились в летний (июль-август) и осенний (сентябрь) периоды (рис. 1, 2). Все исследования производились на научно-исследовательских судах ТОО «Казэкопроект» – «Алтай» и «Зайсан».



**Рисунок 1.** Точки отбора проб в 2018 году (лето)  
**Figure 1.** Sampling points in 2018 (summer)



**Рисунок 2.** Точки отбора проб в 2018 году (осень)  
**Figure 2.** Sampling points in 2018 (autumn)

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Биогенные элементы.** Биогенные элементы играют важную роль в жизни гидробионтов Каспийского моря [5; 6]. Они являются продуктами жизнедеятельности различных организмов. В первую очередь к ним относятся соединения азота (нитраты, нитриты, органические и неорганические аммонийные соединения). Данные об их содержании биогенных элементов в водах восточной части Каспийского моря в летний период 2018 г. приведены в таблице 1.

Концентрации ионов аммония в воде (выше предела обнаружения метода анализа) определены в 17 квадратах из 22 исследованных: от 0,03 до 0,06 мг/дм<sup>3</sup> в среднем – 0,03 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрации нитрит-иона в воде определены в 14 квадратах из 22 исследованных: от 0,018 до 0,033 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем – 0,016 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрации нитрат-иона в воде определены в 20 квадратах из 22 исследованных: от 0,6 до 2,6 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем – 1,7 мг/дм<sup>3</sup>.

**Таблица 1.** Концентрации биогенных элементов в воде восточной части Каспийского моря, лето 2018 г.  
**Table 1.** Concentrations of nutrient elements in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, summer 2018

| Table 27. Concentrations of nutrient elements in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, summer 2010 |                                                                                      |       |                 |                   |                 |                   |                         |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Номер квадрата<br>Square number                                                                                 | Содержание компонентов, мг/дм <sup>3</sup><br>Components content, mg/dm <sup>3</sup> |       |                 |                   |                 |                   | N,<br>общий /<br>common | P, общий /<br>common |
|                                                                                                                 | NH <sub>4</sub>                                                                      |       | NO <sub>2</sub> |                   | NO <sub>3</sub> |                   |                         |                      |
|                                                                                                                 | NH <sub>4</sub>                                                                      | N-NH4 | NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | N-NO <sub>3</sub> |                         |                      |
| 23                                                                                                              | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,028           | 0,009             | 2,6             | 0,6               | 0,7                     | 0,005                |
| 39                                                                                                              | 0,06                                                                                 | 0,05  | 0,026           | 0,008             | 2,4             | 0,5               | <0,5                    | 0,007                |
| 45                                                                                                              | 0,04                                                                                 | 0,03  | 0,026           | 0,008             | 2,5             | 0,6               | 0,6                     | <0,005               |
| 49                                                                                                              | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,026           | 0,008             | 2,2             | 0,5               | <0,5                    | 0,010                |
| 62                                                                                                              | 0,04                                                                                 | 0,03  | 0,023           | 0,007             | 2,5             | 0,6               | 0,5                     | 0,005                |
| 68                                                                                                              | <0,03                                                                                | <0,02 | <0,010          | <0,003            | <0,5            | <0,1              | 0,6                     | <0,005               |
| 72                                                                                                              | 0,04                                                                                 | 0,03  | 0,018           | 0,005             | 2,1             | 0,5               | <0,5                    | 0,007                |
| 102                                                                                                             | 0,05                                                                                 | 0,04  | 0,023           | 0,007             | 2,4             | 0,5               | 0,8                     | <0,005               |
| 121                                                                                                             | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,019           | 0,006             | 2,3             | 0,5               | 0,6                     | <0,005               |
| 123                                                                                                             | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,022           | 0,007             | 1,7             | 0,4               | 0,6                     | <0,005               |
| 129                                                                                                             | 0,03                                                                                 | 0,02  | <0,010          | <0,003            | 1,5             | 0,3               | 0,6                     | <0,005               |
| 155                                                                                                             | 0,05                                                                                 | 0,04  | 0,027           | 0,008             | 2,0             | 0,5               | 0,6                     | <0,005               |
| 159                                                                                                             | <0,03                                                                                | <0,02 | <0,010          | <0,003            | 1,9             | 0,4               | <0,5                    | <0,005               |
| 163                                                                                                             | 0,03                                                                                 | 0,02  | <0,010          | <0,003            | <0,5            | <0,1              | 0,5                     | <0,005               |
| 182                                                                                                             | 0,06                                                                                 | 0,05  | 0,033           | 0,010             | 2,2             | 0,5               | 0,5                     | 0,005                |
| 188                                                                                                             | <0,03                                                                                | <0,02 | <0,010          | <0,003            | 0,6             | 0,1               | 0,5                     | <0,005               |
| 223                                                                                                             | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,030           | 0,009             | 2,1             | 0,5               | <0,5                    | <0,005               |
| 261                                                                                                             | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,028           | 0,009             | 1,8             | 0,4               | 0,5                     | <0,005               |
| 359                                                                                                             | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,024           | 0,007             | 1,5             | 0,3               | <0,5                    | 0,005                |
| 452                                                                                                             | <0,03                                                                                | <0,02 | <0,010          | <0,003            | 0,9             | 0,2               | 0,5                     | <0,005               |
| 538                                                                                                             | <0,03                                                                                | <0,02 | <0,010          | <0,003            | 0,6             | 0,1               | 0,6                     | <0,005               |
| 662                                                                                                             | 0,04                                                                                 | 0,03  | <0,010          | <0,003            | 1,4             | 0,3               | 0,7                     | 0,005                |
| Мин / Min                                                                                                       | <0,03                                                                                | <0,02 | <0,010          | <0,003            | <0,5            | <0,1              | <0,5                    | <0,005               |
| Макс / Max                                                                                                      | 0,06                                                                                 | 0,05  | 0,033           | 0,010             | 2,6             | 0,6               | 0,8                     | 0,010                |
| Среднее<br>Average                                                                                              | 0,03                                                                                 | 0,02  | 0,016           | 0,005             | 1,7             | 0,4               | <0,5                    | <0,005               |
| ПДК*                                                                                                            |                                                                                      |       |                 |                   |                 |                   |                         |                      |
| Permissible<br>concentration                                                                                    | 2,9                                                                                  |       | 0,1             |                   | 40,0            |                   |                         |                      |

Примечание: \*Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для вод рыбохозяйственных водоемов. Москва 1990 г.

Note: \*Generalised list of maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances for the waters of fishery reservoirs. Moscow 1990

Концентрации общего азота в воде определены в 16 квадратах из 22 исследованных: от 0,5 до 0,8 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем <0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрации общего фосфора в воде определены в 7 квадратах из 22 исследованных: от 0,005 до 0,010 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем <0,005 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, в КЧКМ превышения ПДК в летний период для морских вод не обнаружены.

**Тяжелые металлы.** Тяжелые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдения за которыми обязательны в рыбохозяйственных водоемах. Из тяжелых металлов в воде ВЧКМ определились следующие элементы: кадмий, медь, свинец и цинк. Данные по их содержанию в летний период 2018 г. приведены в таблице 2.

Значимые концентрации кадмия, свинца и цинка (выше предела обнаружения метода анализа) не обнаружены ни в одном из исследованных квадратов. Несколько повышенные концентрации меди отмечены в 14 квадратах из 22 исследованных: от 0,0035 до 0,0220

мг/дм<sup>3</sup>. Превышение ПДК меди для морских вод в 2,2 раза обнаружено только в квадрате № 159. В среднем концентрация меди в воде были значительно ниже ПДК.

**Нефтепродукты.** К наиболее распространенным и токсическим опасным веществам, которые служат источниками загрязнения природной водной среды, специалисты относят нефтепродукты. Данные о содержании нефтепродуктов в воде в летний период 2018 г. приведены в таблице 3.

Незначительные превышения концентрации нефтепродуктов обнаружены в 6 квадратах из 22 исследованных: 0,06-0,07 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем <0,02 мг/дм<sup>3</sup>.

**Пестициды.** Данные о содержании пестицидов в воде в летний период 2018 г. приведены в таблице 4. В морской воде пестициды не обнаружены.

**Таблица 2.** Концентрация тяжелых металлов в воде восточной части Каспийского моря, лето 2018 г.**Table 2.** Concentration of heavy metals in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, summer 2018

| Номер квадрата<br>Square number      | Содержание компонентов, мг/дм <sup>3</sup><br>Components content, mg/dm <sup>3</sup> |         |        |        |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|
|                                      | Cd                                                                                   | Cu      | Pb     | Zn     |
| 23                                   | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 39                                   | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 45                                   | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 49                                   | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 62                                   | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 68                                   | <0,001                                                                               | 0,0091  | <0,005 | <0,005 |
| 72                                   | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 102                                  | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 121                                  | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 123                                  | <0,001                                                                               | 0,0084  | <0,005 | <0,005 |
| 129                                  | <0,001                                                                               | 0,0095  | <0,005 | <0,005 |
| 155                                  | <0,001                                                                               | 0,0091  | <0,005 | <0,005 |
| 159                                  | <0,001                                                                               | 0,0220  | <0,005 | <0,005 |
| 182                                  | <0,001                                                                               | 0,0083  | <0,005 | <0,005 |
| 188                                  | <0,001                                                                               | 0,0041  | <0,005 | <0,005 |
| 223                                  | <0,001                                                                               | 0,0098  | <0,005 | <0,005 |
| 261                                  | <0,001                                                                               | 0,0087  | <0,005 | <0,005 |
| 359                                  | <0,001                                                                               | 0,0076  | <0,005 | <0,005 |
| 452                                  | <0,001                                                                               | 0,0046  | <0,005 | <0,005 |
| 538                                  | <0,001                                                                               | 0,0035  | <0,005 | <0,005 |
| 662                                  | <0,001                                                                               | 0,0046  | 0,010  | <0,005 |
| Мин / Min                            |                                                                                      | <0,0025 | <0,005 |        |
| Макс / Max                           |                                                                                      | 0,0220  | 0,010  |        |
| Среднее<br>Average                   | <0,001                                                                               | 0,0052  | <0,005 | <0,005 |
| ПДК*<br>Permissible<br>concentration | 0,005                                                                                | 0,01    | 0,05   |        |

Примечание: \*Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Москва 1990 г.

Note: \*Generalised list of maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances for the waters of fishery reservoirs. Moscow 1990

**Таблица 3.** Концентрация нефтепродуктов в воде восточной части Каспийского моря, лето 2018 г.**Table 3.** Concentration of petroleum products in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, summer 2018

| Номер квадрата<br>Square number | Содержание нефтепродуктов, мг/дм <sup>3</sup><br>Petroleum product content, mg/dm <sup>3</sup> |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 23                              | <0,02                                                                                          |
| 39                              | <0,02                                                                                          |
| 45                              | <0,02                                                                                          |
| 49                              | <0,02                                                                                          |
| 62                              | <0,02                                                                                          |
| 68                              | <0,02                                                                                          |
| 72                              | <0,02                                                                                          |
| 102                             | 0,07                                                                                           |
| 121                             | <0,02                                                                                          |
| 123                             | 0,06                                                                                           |
| 129                             | <0,02                                                                                          |
| 155                             | 0,06                                                                                           |
| 159                             | <0,02                                                                                          |
| 163                             | <0,02                                                                                          |
| 182                             | 0,06                                                                                           |
| 188                             | <0,02                                                                                          |
| 223                             | 0,03                                                                                           |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 261                              | 0,05  |
| 359                              | 0,06  |
| 452                              | <0,02 |
| 538                              | <0,02 |
| 662                              | 0,06  |
| Мин / Min                        | <0,02 |
| Макс / Max                       | 0,07  |
| Среднее / Average                | <0,02 |
| ПДК* / Permissible concentration | 0,05  |

Примечание: \*Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов, Москва 1990 г.

Note: \*Generalised list of maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances for the waters of fishery reservoirs. Moscow 1990

**Таблица 4.** Концентрация пестицидов в воде восточной части Каспийского моря, лето 2018 г.

**Table 4.** Concentration of pesticides in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, summer 2018

| Номер квадрата<br>Square number     | Содержание пестицидов, мг/кг<br>Pesticide content, mg/kg                                                                   |       |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                     | Гексахлорциклогексан ГХЦГ – (α, d, γ-изомеры)<br>Hexachlorocyclohexane HCH – (α, d, γ-isomers)                             |       |
|                                     | Дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ – его остатки)<br>Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT – residues)                           |       |
|                                     | Дихлордифенил (2,4 – Д кислоты)<br>Dichlorodiphenyl (2,4 – D acid)                                                         |       |
| 23                                  | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 39                                  | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 45                                  | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 49                                  | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 62                                  | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 68                                  | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 72                                  | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 102                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 121                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 123                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 129                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 155                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 159                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 163                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 182                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 188                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 223                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 261                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 359                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 452                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 538                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| 662                                 | не обнаружено / not found                                                                                                  |       |
| Номер квадрата<br>Square number     | Содержание пестицидов, мг/кг<br>Pesticide content, mg/kg                                                                   |       |
|                                     | ГХЦГ – (α, d, γ-изомеры) / HCH – (α, d, γ-isomers)<br>ДДТ – его остатки / DDT – residues<br>2,4 – Д кислоты / 2,4 – D acid |       |
| ПДК<br>Permissible<br>concentration | ГХЦГ – (α, d, γ-изомеры)                                                                                                   | 0,002 |
|                                     | HCH – (α, d, γ-isomers)                                                                                                    |       |
|                                     | ДДТ – его остатки                                                                                                          | 0,002 |
|                                     | DDT – residues                                                                                                             |       |
|                                     | 2,4 – Д кислоты                                                                                                            | 0,03  |
|                                     | 2,4 – D acid                                                                                                               |       |

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В летний период 2018 г. не обнаружены превышения ПДК для морских вод биогенных веществ и нефтепродуктов.

Значимые концентрации кадмия, свинца и цинка (выше предела обнаружения метода анализа) не обнаружены ни в одном из исследованных квадратов. Несколько незначительное превышение ПДК меди

отмечены в 14 квадратах: от 0,0035 до 0,0220 мг/дм<sup>3</sup>. Превышение ПДК меди для морских вод в 2,2 раза обнаружено только в квадрате № 159. В среднем концентрация меди в воде были значительно ниже ПДК.

*Биогенные элементы.* Данные о содержании биогенных веществ в воде в осенний период 2018 г. приведены в таблице 5.

**Таблица 5.** Концентрации биогенных элементов в воде восточной части Каспийского моря, осень 2018 г.

**Table 5.** Concentrations of nutrient elements in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, autumn 2018

| Содержание компонентов, мг/дм³<br>Components content, mg/dm³ |       |       |       |       |      |       |                      |                      |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Номер<br>квадрата<br>Square number                           | NH₄   |       | NO₂   |       | NO₃  |       | N, общий /<br>common | P, общий /<br>common |
|                                                              | NH₄   | N-NH₄ | NO₂   | N-NO₂ | NO₃  | N-NO³ |                      |                      |
| 23                                                           | <0,03 | <0,02 | 0,019 | 0,006 | 2,5  | 0,6   | 0,7                  | <0,5                 |
| 47                                                           | <0,03 | <0,02 | 0,017 | 0,005 | 1,8  | 0,4   | <0,5                 | <0,5                 |
| 63                                                           | 0,04  | 0,03  | 0,025 | 0,008 | 2,0  | 0,5   | 0,6                  | <0,5                 |
| 101                                                          | 0,03  | 0,02  | 0,021 | 0,006 | 2,2  | 0,5   | <0,5                 | <0,5                 |
| 121                                                          | 0,04  | 0,03  | 0,023 | 0,007 | 2,1  | 0,5   | 0,6                  | <0,5                 |
| 188                                                          | <0,03 | <0,02 | 0,026 | 0,008 | 2,3  | 0,5   | <0,5                 | <0,5                 |
| 230                                                          | 0,03  | 0,02  | 0,016 | 0,005 | 1,9  | 0,4   | <0,5                 | <0,5                 |
| 263                                                          | <0,03 | <0,02 | 0,026 | 0,008 | 2,2  | 0,5   | 0,6                  | <0,5                 |
| 359                                                          | 0,05  | 0,04  | 0,019 | 0,006 | 2,6  | 0,6   | 0,7                  | <0,5                 |
| Мин / Min                                                    | <0,03 | <0,02 | 0,016 | 0,005 | 1,80 | 0,41  | <0,5                 | <0,5                 |
| Макс / Max                                                   | 0,05  | 0,04  | 0,026 | 0,008 | 2,60 | 0,59  | 0,70                 | -                    |
| Среднее<br>Average                                           | 0,04  | 0,03  | 0,021 | 0,006 | 2,18 | 0,49  | 0,64                 | -                    |
| ПДК*                                                         |       |       |       |       |      |       |                      |                      |
| Permissible<br>concentration                                 | 2,9   |       | 0,1   |       | 40   |       |                      |                      |

Примечание: \*Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Москва 1990 г.

Note: \*Generalised list of maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances for the waters of fishery reservoirs. Moscow 1990

Концентрация иона аммония в воде (выше предела обнаружения метода анализа) определены в 5 квадратах из 9 исследованных: от 0,03 до 0,05 мг/дм<sup>3</sup> в среднем – 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание нитрит-иона изменялось от 0,016 до 0,026 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем – 0,021 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание нитрат-иона изменялось от 1,8 до 2,6 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем – 2,18 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание общего азота варьировало от 0,5 до 0,7 мг/дм<sup>3</sup>, в

среднем – 0,64 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание общего фосфора на всем исследованном участке было ниже предела обнаружения (< 0,005 мг/дм<sup>3</sup>). Превышения ПДК для морских вод не обнаружены.

*Тяжелые металлы.* Данные по содержанию тяжелых металлов в воде в осенний период 2018 г. приведены в таблице 6.

**Таблица 6.** Концентрация тяжелых металлов в воде восточной части Каспийского моря, осень 2018 г.

**Table 6.** Concentration of heavy metals in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, autumn 2018

| Номер квадрата<br>Square number | Содержание компонентов, мг/дм <sup>3</sup><br>Components content, mg/dm <sup>3</sup> |         |        |        |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|
|                                 | Cd                                                                                   | Cu      | Pb     | Zn     |
| 23                              | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 47                              | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 63                              | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| 101                             | <0,001                                                                               | 0,0099  | <0,005 | <0,005 |
| 121                             | <0,001                                                                               | 0,0118  | <0,005 | <0,005 |
| 188                             | <0,001                                                                               | 0,0065  | <0,005 | <0,005 |
| 230                             | <0,001                                                                               | 0,0081  | <0,005 | <0,005 |
| 263                             | <0,001                                                                               | 0,0042  | <0,005 | <0,005 |
| 359                             | <0,001                                                                               | 0,0043  | <0,005 | <0,005 |
| Мин / Min                       | <0,001                                                                               | <0,0025 | <0,005 | <0,005 |
| Макс / Max                      | -                                                                                    | 0,0118  | -      | -      |
| Среднее / Average               | -                                                                                    | 0,0075  | -      | -      |
| ПДК*                            |                                                                                      |         |        |        |
| Permissible concentration       | 0,005                                                                                | 0,01    | 0,05   |        |

Примечание: \*Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Москва 1990 г.

Note: \*Generalised list of maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances for the waters of fishery reservoirs. Moscow 1990

Значимые концентрации кадмия и свинца и цинка не обнаружены ни на одной из исследованных станций.

Концентрации свинца были ниже предела обнаружения. Измеримые концентрации меди обнаружены в 6 квадратах из 9 исследованных. Превышение ПДК меди было отмечено однократно в квадрате 121. В среднем концентрации кадмия, меди и цинка были ниже предела обнаружения методов анализа.

**Нефтепродукты.** Данные о содержании нефтепродуктов в воде в осенний период 2018 г.

приведены в таблице 7. Измеримые концентрации нефтепродуктов обнаружены в 6 квадратах из 9 исследованных: 0,05-0,06 мг/дм<sup>3</sup>, в среднем 0,06 мг/дм<sup>3</sup>.

**Пестициды.** Данные о содержании пестицидов в воде в осенний период 2016 г. приведены в таблице 8. Осенью 2018 г. в морской воде пестициды обнаружены не были.

**Таблица 7.** Концентрация нефтепродуктов в воде восточной части Каспийского моря, осень 2018 г.

**Table 7.** Concentration of petroleum products in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, autumn 2018

| Номер квадрата<br>Square number | Содержание нефтепродуктов, мг/дм <sup>3</sup><br>Petroleum product content, mg/dm <sup>3</sup> |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 23                              | <0,02                                                                                          |
| 47                              | 0,06                                                                                           |
| 63                              | <0,02                                                                                          |
| 101                             | <0,02                                                                                          |
| 121                             | 0,06                                                                                           |
| 188                             | 0,06                                                                                           |
| 230                             | 0,05                                                                                           |
| 263                             | 0,06                                                                                           |
| 359                             | 0,06                                                                                           |
| Мин / Min                       | <0,02                                                                                          |
| Макс / Max                      | 0,06                                                                                           |
| Среднее / Average               | 0,04                                                                                           |
| ПДК*                            | 0,05                                                                                           |
| Permissible concentration       |                                                                                                |

*Примечание: \*Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Москва 1990 г.*

*Note: \*Generalised list of maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances for the waters of fishery reservoirs. Moscow 1990*

**Таблица 8.** Концентрация пестицидов в воде восточной части Каспийского моря, осень 2018 г.

**Table 8.** Concentration of pesticides in the waters of the eastern part of the Caspian Sea, autumn 2018

| Номер квадрата<br>Square number | Содержание пестицидов, мг/кг<br>Pesticide content, mg / kg                                    |                                                                                                  |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | Гексахлорциклогексан ГХЦГ –(a, d, γ-изомеры)<br>Hexachlorocyclohexane HCH – (a, d, γ-isomers) | Дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ – его остатки)<br>Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT – residues) |
|                                 | Дихлордифенил (2,4 –Д кислоты) / 2,4 – D acid                                                 |                                                                                                  |
| 23                              | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 47                              | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 63                              | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 101                             | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 121                             | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 188                             | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 230                             | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 263                             | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| 359                             | не обнаружено / not found                                                                     |                                                                                                  |
| ПДК                             | ГХЦГ –(a, d, γ-изомеры) / HCH – (a, d, γ-isomers)                                             | 0,002                                                                                            |
| Permissible concentration       | ДДТ – его остатки / DDT – residues                                                            | 0,002                                                                                            |
|                                 | 2,4 – Д кислоты / 2,4 – D acid                                                                | 0,03                                                                                             |

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты исследований, проведенных в акватории восточной части Каспийского моря в 2018 году, свидетельствуют об отсутствии в морской воде сверх нормативных показателей

биогенных элементов и пестицидов. Предельно-допустимые концентрации тяжелых металлов, кроме меди, находятся в норме. Превышение предельно-допустимых концентраций меди наблюдается на одной станции летом и осенью. Особое беспокойство

вызывает тот факт, что на нескольких станциях летом и осенью в воде были превышены концентрации нефтепродуктов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна. Астрахань, 2017. 406 с.
2. MBU 02-1109-08 Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой с помощью спектрометра ICPE-9000.
3. МВИ ЛАЭ- 04/05 Методика измерений содержания нефтепродуктов и n-алканов в почвах, донных отложениях, твердых отходах, природных и сточных водах методом хромато-масс-спектрометрии.
4. СТ РК 2010-2010 Вода, почва, фураж, продукты питания растительного и животного происхождения. Определение 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты) хроматографическими методами.
5. Сокольский А.Ф., Попов Н.Н., Кузьменко С.В., Канбетов А.Ш. Состояние биологических ресурсов Северного Каспия и пути их сохранения. Астрахань, 2018. 136 с.
6. Сокольский А.Ф., Рабазанов Н.И., Канбетов А.Ш. Методы оценки параметров состояния биоресурсов водоемов бассейна Каспийского моря. Атырау, 2014. 193 с.
7. Оразбаев Б.Б., Жумагалиев С.Ж., Кенжегалиева Д.А. Состояние гидробионтов в районе искусственного острова «Д» Кашаганского месторождения // Нефть и газ. 2017. N 1. С. 77-90.
8. Абилгазиева А.А., Шахманова А.К., Кулбатыров Д.К. Состояние гидробионтов в Тюбкараганского залива // Нефть и газ. 2018. N 2. С. 132-143.

#### REFERENCES

1. *Zagryaznyayushchie veshchestva v vodakh Volzhsko-Kaspiiskogo basseina* [Pollutants in the waters of the Volga-Caspian basin]. Astrakhan, 2017, 406 p. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Аркадий Ф. Сокольский определил цели статьи, редактировал рукопись. Асылбек Ш. Канбетов, Николай Н. Попов и Батыргыши А. Муташев собрали материал, объединили данные, написали статью. Нухкади И. Рабазанов редактировал рукопись перед подачей в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

2. MBU 02-1109-08 *Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza. Opredelenie metallov v pit'evoi, mineral'noi, prirodnoi, stochnoi vode i v atmosferynykh osadkakh metodom atomno-emissionnoi spektrometrii s induktivno svyazannoi plazmoi s pomoshch'yu spektrometra ICPE-9000* [MBU 02-1109-08 Quantitative Chemical Analysis Method. Identification of metals in drinking, mineral, natural, sewage and precipitation by the method of atomic emission spectrometry with inductively bound plasma using the ICPE-9000 spectrometer] (In Russian)
3. MVI LAE- 04/05 *Metodika izmerenii sodержaniya nefteproduktov i n-alkanov v pochvakh, donnykh otlozheniyakh, tverdykh otkhodakh, prirodnykh i stochnykh vodakh metodom khromato-mass-spektrometrii* [MVI LAE- 04/05 Method of measuring the content of petroleum products and n-alcans in soils, bottom sediments, solid waste, natural and wastewater by chromat-mass spectrometry]. (In Russian)
4. ST RK 2010-2010 *Voda, pochva, furazh, produkty pitaniya rastitel'nogo i zhivotnogo proiskhozhdeniya. Opredelenie 2,4-D (2,4-dikhlorfenoksiuksusnoi kisloty) khromatograficheskimi metodami* [CT RK 2010-2010 Water, soil, forage, plant and animal food. Definition of 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyoxyc acid) by chromatographic methods]. (In Russian)
5. Sokolsky A.F., Popov N.N., Kuzmenko S.V., Kanbetov A.S. *Sostoyaniye biologicheskikh resursov Severnogo Kaspiya i puti ikh sokhraneniya* [State of biological resources of the Northern Caspian and ways of preserving them]. Astrakhan, 2018, 136 p. (In Russian)
6. Sokolsky A.F., Rabazanov N.I., Kanbetov A.S. *Metody otsenki parametrov sostoyaniya bioresursov vodoemov basseina Kaspiiskogo morya* [Methods of assessing the parameters of bioresources of reservoirs of the Caspian Sea basin]. Atyrau, 2014, 193 p. (In Russian)
7. Orazbaev B.B., Zhumagaliev S.Zh., Kenzhegalieva D.A. The state of hydrobionts in the area of the artificial island "D" Kashagan field. *Neft' i gaz* [Oil and gas]. 2017, no. 1, pp. 77-90. (In Russian)
8. Abilgazieva A.A., Shakhmanova A.K., Kulbatyrov D.K. State of Hydrobionts in the Tube-Karagan Bay. *Neft' i gaz* [Oil and gas]. 2018, no. 2, pp. 132-143. (In Russian)

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Arkadiy F. Sokolskiy established the purpose of the article and edited the manuscript. Assylbek Sh. Kanbetov, Nikolay N. Popov and Batyrgishi A. Mutashev collected material, generalized the data and wrote the article. Nukhkadi I. Rabazanov edited the article and prepared it for publication. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Аркадий Ф. Сокольский / Arkadiy F. Sokolskiy <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>  
 Асылбек Ш. Канбетов / Assylbek Sh. Kanbetov <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>  
 Николай Н. Попов / Nikolai N. Popov <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>  
 Батыргыши А. Муташев / Batyrgishi A. Mutashev <https://orcid.org/0000-0002-6078-9002>  
 Нухкади И. Рабазанов / Nukhkadi I. Rabazanov <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>

Оригинальная статья / Original article  
УДК 631.46:631.445.4  
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-108-118

## Влияние биопрепаратов на разложение растительных остатков сельскохозяйственных культур в черноземе типичном

Нина П. Масютенко, Татьяна И. Панкова, Алексей В. Кузнецов,  
Максим Н. Масютенко, Галина М. Брескина, Наталия А. Чуян  
Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

### Контактное лицо

Нина П. Масютенко, лаборатория агропочвоведения ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 706.  
Тел. +79510894090  
Email [19861217@mail.ru](mailto:19861217@mail.ru); [yninp@mail.ru](mailto:yninp@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8348-0609>

### Формат цитирования

Масютенко Н.П., Панкова Т.И., Кузнецов А.В., Масютенко М.Н., Брескина Г.М., Чуян Н.А. Влияние биопрепаратов на разложение растительных остатков сельскохозяйственных культур в черноземе типичном // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 108-118. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-108-118

Получена 10 апреля 2020 г.  
Прошла рецензирование 12 июля 2020 г.  
Принята 21 сентября 2020 г.

### Резюме

**Цель.** Выявить влияние биопрепаратов на разложение растительных остатков сельскохозяйственных культур и состав подвижных гумусовых веществ в черноземе типичном слабоэродированном.

**Материалы и методы.** Исследования проведены в полевом опыте Курского ФАНЦ в звеньях зернового и зернопропашного севооборотов на вариантах с обработкой побочной продукции биопрепаратами, биопрепаратами + азотные минеральные удобрения; азотными минеральными удобрениями и без обработки. Для изучения разложения было определено содержание негумифицированного органического вещества в пахотном слое почвы методом монолитов после внесения в почву побочной продукции и через 30-45 дней после разложения. Одновременно был определен общепринятым методом состав подвижных гумусовых веществ в почве.

**Результаты.** Впервые изучено разложение обработанной биопрепаратами или азотными минеральными удобрениями побочной продукции и смешанных с ней в почве пожнивно-корневых остатков. Показаны особенности влияния изучаемых факторов на степень разложения растительных остатков и состав подвижных гумусовых веществ в почве.

**Заключение.** Выявлено, что обработка побочной продукции ячменя, гречихи, подсолнечника биопрепаратами, как с азотными удобрениями, так и без них, способствовала увеличению степени разложения растительных остатков по сравнению с контролем и внесением минеральных азотных удобрений. В благоприятные по гидротермическим условиям годы под влиянием биопрепаратов отмечается улучшение качества подвижных гумусовых веществ почвы, а в экстремальные – тенденция к их улучшению.

### Ключевые слова

Растительные остатки, биопрепараты, разложение, чернозем типичный слабоэродированный, сельскохозяйственные культуры, качество подвижных гумусовых веществ.

# Effect of biopreparations on the decomposition of plant residues of crops in typical chernozem

Nina P. Masyutenko, Tatiana I. Pankova, Alexei V. Kuznetsov,  
Maxim N. Masyutenko, Galina M. Breskina and Natalia A. Chuyan

Kursk Federal Agricultural Research Center, Kursk, Russia

## Principal contact

Nina P. Masyutenko, Laboratory of Agricultural Soil Science, Kursk Federal Agricultural Research Centre; 70b Karl Marx St, Kursk, Russia 305021. Tel. +79510894090  
Email [19861217@mail.ru](mailto:19861217@mail.ru); [vninp@mail.ru](mailto:vninp@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-9991-8348-0609>

## How to cite this article

Masyutenko N.P., Pankova T.I., Kuznetsov A.V., Masyutenko M.N., Breskina G.M., Chuyan N.A. Effect of biopreparations on the decomposition of plant residues of crops in typical chernozem. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 108-118. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-108-118

Received 10 April 2020

Revised 12 July 2020

Accepted 21 September 2020

## Abstract

**Aim.** To identify the effect of biological preparations applied with or without nitrogen fertilizers for crop by-product, their incorporation into the soil on the decomposition of plant residues and composition of mobile humus substances in typical slightly eroded chernozem.

**Materials and Methods.** The study was carried out in the field experimental station of Kursk FARC in the cycles of cereal and cereal-row crop rotations in variants with by-product treated with biopreparations; with applied biopreparations + nitrogen fertilizers; with applied nitrogen fertilizers and without biopreparations. To study decomposition the content of unhumified organic matter was determined in the topsoil by the monolith method after by-product incorporation into the soil and 30-45 days after their decomposition. Simultaneously the composition of mobile humus substances in the soil was determined.

**Results.** The decomposition of crop by-product and after harvesting and root residues mixed with it in the soil and treated with biopreparations or nitrogen mineral fertilizers was studied for the first time. The peculiarities of the effect of the factors studied on the degree of plant residue decomposition and the composition of mobile humus substances were shown.

**Conclusion.** It was determined that treating the by-product of barley, buckwheat and sunflower with bioproducts, both with applied nitrogen fertilizers and without them, contributed to the increase in the degree of plant residue decomposition as compared with the control and nitrogen mineral fertilizer application. In the years which are favourable according to hydrothermal conditions the improved quality of mobile humus substances of the soil influenced by biopreparations are noted and under extreme conditions the tendency to the improvement of their quality is observed.

## Key Words

Plant residues, biopreparations, decomposition, typical slightly eroded chernozem, crops, quality of mobile humus substances.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из важнейших вызовов современности является снижение содержания в почве гумуса и ухудшение его качества [1; 2]. Почвенное органическое вещество играет ведущую роль в формировании почвенного плодородия, продуктивности земель, создании агроэкологических условий для роста и развития растений и жизнедеятельности микроорганизмов, снижении отрицательных последствий антропогенного воздействия на почву, повышении её здоровья и устойчивости земледелия при неблагоприятных климатических условиях.

Современные интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, сочетающие в себе многократную за сезон механическую обработку почвы, частое использование пестицидов, высоких доз минеральных удобрений, приводят к увеличению минерализации гумусовых веществ.

Воспроизводство органического вещества в почве неразрывно связано с поступлением в почву органического вещества, с уровнем его минерализации и гумификации. Однако в последнее время наблюдается дефицит органических удобрений (подстилочного навоза) в Российской Федерации из-за снижения количества крупного рогатого скота и с изменением системы его содержания. Количество органического вещества, которое можно внести в почву, сокращается. В этих условиях актуально увеличение поступления растительных остатков в почву за счет внесения побочной продукции, а также разработка вопросов, связанных с активизацией процессов их разложения и гумификации. Эту функцию могут выполнять микробиологические препараты [3-6]. Установлено, что применение биопрепаратов ускоряет процессы минерализации и гумификации соломы в почве. Однако работ по этой проблеме пока немного [7-11], и они посвящены исследованию влияния биопрепаратов на разложение побочной продукции сельскохозяйственных культур в основном в лабораторных экспериментах или в поле только соломы, помещенной в специальных контейнерах.

Для разработки путей управления процессами разложения поступающего и находящегося в почве растительного материала необходимо изучение разложения не только побочной продукции, но и смешанных с ней в почве пожнивно-корневых остатков.

Следовательно, вопросы, связанные с изучением влияния биопрепаратов на разложение растительных остатков *in situ* и состав подвижных гумусовых веществ в черноземных почвах, еще практически не изучены, но перспективны, инновационны и актуальны.

Цель данной работы – выявление влияния биопрепаратов на разложение растительных остатков (побочной продукции и пожнивно-корневых остатков) сельскохозяйственных культур и состав подвижных гумусовых веществ в черноземе типичном слабоэродированном.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение влияния биопрепаратов на разложение растительных остатков (побочной продукции и пожнивно-корневых остатков) и состав подвижных гумусовых веществ проводили в черноземе типичном слабоэродированном тяжелосуглинистом в стационарном полевом опыте Курского ФАНЦ (Курская

область, Медвенский район, с. Панино) на двух полях с зерновым и зернопропашным севооборотами в 2018-2019 годах.

Схема опыта включала следующие варианты: 1. контроль – измельченная побочная продукция; 2. измельченная побочная продукция +  $N_{10}$  кг д.в. на 1 т продукции; 3. обработка измельченной побочной продукции биопрепаратами (Грибофит 5 л/га + Имуназот 3 л/га); 4. обработка измельченной побочной продукции биопрепаратами (Грибофит 5 л/га + Имуназот 3 л/га) +  $N_{10}$  кг д.в. на 1 т продукции.

Опыт заложен в соответствии с общепринятыми методиками [12] в трехкратной повторности на каждом из двух полей. Размещение вариантов систематическое. Общая площадь делянки составляла 600 м<sup>2</sup> (12х50), учетная – 480 м<sup>2</sup>. Исследования проводили в двух звеньях севооборотов: зерновом севообороте (поле 1) «яровой ячмень Суздалец – гречиха Деметра» и зернопропашном севообороте (поле 2) «подсолнечник масличный Имерия КС – яровой ячмень Суздалец». Предшественником была озимая пшеница. Технологии возделывания культур являются общепринятыми в регионе. Заделку измельченных растительных остатков на всех вариантах опыта проводили дисковыми боронами на глубину 10-12 см.

В качестве удобрений использовали аммиачную селитру, в качестве биопрепаратов – грибофит и имуназот. Грибофит – это биологический препарат, содержащий споры и мицелий гриба *Trichoderma*, а также, продуцируемые грибом в процессе производственного культивирования, биологически активные вещества (антибиотики, ферменты, витамины, фитогормоны), экологически безопасный биофунгицид, ростостимулятор. Имуназот – это биологический препарат, содержащий ризосферные бактерии *Pseudomonas*, биофунгицид, ростостимулятор, фосфатмобилизатор контактного и системного действия.

Почва – чернозем типичный слабоэродированный тяжелосуглинистый малогумусный на лессовидном карбонатном суглинке. В пахотном слое почвы поля 1 содержится: гумуса 5,08±0,02%; подвижного фосфора – 118-120 мг/кг почвы; обменного калия – 100-112 мг/кг почвы; обменного кальция – 22,0-23,3 мг-экв/100г почвы, реакция среды нейтральная или близкая к нейтральной, рН<sub>NH2O</sub> – 6,2-6,3. В пахотном слое почвы поля 2 содержится: гумуса 4,70-4,99%; подвижного фосфора – 88-96 мг/кг почвы; обменного калия – 97-103 мг/кг почвы; обменного кальция – 22,8-23,3 мг-экв/100г почвы, реакция среды нейтральная или близкая к нейтральной, рН<sub>NH2O</sub> – 6,4-6,5. Влажность завядания почвы (ВЗ) – 12%.

Впервые в данной работе изучено разложение не только обработанной биопрепаратами или минеральными удобрениями побочной продукции (соломы или стеблей подсолнечника), но и смешанных с ней в почве пожнивно-корневых остатков так, как это происходит на полях в производстве. Для этого после уборки урожая сельскохозяйственной культуры и внесения в почву 2 т/га побочной продукции, а также после их разложения через 30-45 дней на каждой делянке опыта определяли в почве содержание негумифицированного органического вещества (соломы зерновых или стеблей подсолнечника и пожнивно-корневых остатков) в монолитах, отобранных бурами объемом 500 см<sup>3</sup>, в трехкратной повторности в слоях 0-10 см и 10-20 см на всех вариантах с

последующей отмывкой на ситах [13]. Влажность почвы определяли общеизвестным весовым методом.

Для определения качества подвижных гумусовых веществ в почве в полевом опыте с биопрепаратами по вариантам опыта в те же сроки отбирали смешанные образцы почвы в слоях 0-10, 10-20 см по диагонали делянки из 5 точек буром. Содержание и состав подвижных гумусовых веществ определяли в 0.1н вытяжке NaOH из почвы без декальцирования в модификации Почвенного института им. В.В. Докучаева [13] с предварительным компостированием (ВНИИЗиЗПЭ).

Экспериментальные данные обработаны методами математической статистики [12] с использованием программных средств Microsoft office EXCEL, STATISTIKA.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованиями установлена низкая степень разложения побочной продукции и пожнивно-корневых остатков (СР) ячменя и подсолнечника (3,4-7,0%) в августе – сентябре 2018 года в черноземе типичном слабоэродированном, особенно на контроле (табл. 1). Причем, в слое почвы 10-20 см она была в 1,5-1,8 раза больше, чем в слое 0-10 см. Низкая степень разложения растительного материала связана с низкой влажностью почвы. В слое почвы 0-10 см средняя влажность за период наблюдений изменялась от 13,6 до 16,2%, что только на 1,6-4,2 абс.% больше влаги завядания, а в слое 10-20 см – на 2,9-4,9 абс.% выше (табл. 2).

**Таблица 1.** Степень разложения побочной продукции и пожнивно-корневых остатков в черноземе типичном слабоэродированном в 2018 году

**Table 1.** The degree of decomposition of by-product, afterharvesting and root residues in typical slightly eroded chernozem in 2018

| Вариант опыта<br>Variant of the experiment | Глубина, см<br>Depth, cm | Количество пожнивно-корневых остатков и внесенной побочной продукции в почву, т/га<br>Amount of after harvesting and root residues and incorporated by-product in the soil, t/ha | Количество пожнивно-корневых остатков и внесенной побочной продукции в почву после разложения, т/га<br>Amount of after harvesting and root residues and incorporated by-product in the soil after decomposition, t/ha | Степень разложения, %<br>Decomposition degree, % |
|--------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Ячмень / Barley</b>                     |                          |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                       |                                                  |
| <b>1</b>                                   | 0-10                     | 3,31±0,19                                                                                                                                                                        | 3,16±0,21                                                                                                                                                                                                             | 4,8±0,9                                          |
|                                            | 10-20                    | 1,15±0,15                                                                                                                                                                        | 1,07±0,13                                                                                                                                                                                                             | 7,2±1,0                                          |
|                                            | 0-20                     | 4,46±0,32                                                                                                                                                                        | 4,23±0,32                                                                                                                                                                                                             | 5,4±0,8                                          |
| <b>2</b>                                   | 0-10                     | 3,11±0,22                                                                                                                                                                        | 2,97±0,22                                                                                                                                                                                                             | 4,7±0,2                                          |
|                                            | 10-20                    | 2,03±0,12                                                                                                                                                                        | 1,67±0,12                                                                                                                                                                                                             | 17,7±0,8                                         |
|                                            | 0-20                     | 5,14±0,34                                                                                                                                                                        | 4,64±0,34                                                                                                                                                                                                             | 9,8±0,3                                          |
| <b>3</b>                                   | 0-10                     | 2,72±0,23                                                                                                                                                                        | 2,26±0,23                                                                                                                                                                                                             | 16,8±1,0                                         |
|                                            | 10-20                    | 2,44±0,08                                                                                                                                                                        | 2,01±0,08                                                                                                                                                                                                             | 17,7±2,1                                         |
|                                            | 0-20                     | 5,16±0,30                                                                                                                                                                        | 4,27±0,30                                                                                                                                                                                                             | 17,2±1,4                                         |
| <b>4</b>                                   | 0-10                     | 2,77±0,16                                                                                                                                                                        | 2,30±0,16                                                                                                                                                                                                             | 16,9±1,7                                         |
|                                            | 10-20                    | 2,45±0,18                                                                                                                                                                        | 2,00±0,18                                                                                                                                                                                                             | 18,4±0,8                                         |
|                                            | 0-20                     | 5,22±0,33                                                                                                                                                                        | 4,30±0,33                                                                                                                                                                                                             | 17,6±0,8                                         |
| <b>Подсолнечник / Sunflower</b>            |                          |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                       |                                                  |
| <b>1</b>                                   | 0-10                     | 6,47±0,18                                                                                                                                                                        | 6,25±0,18                                                                                                                                                                                                             | 3,3±0,9                                          |
|                                            | 10-20                    | 2,33±0,23                                                                                                                                                                        | 2,19±0,18                                                                                                                                                                                                             | 6,0±1,4                                          |
|                                            | 0-20                     | 8,80±0,40                                                                                                                                                                        | 8,44±0,35                                                                                                                                                                                                             | 4,0±0,5                                          |
| <b>2</b>                                   | 0-10                     | 11,57±0,55                                                                                                                                                                       | 9,79±0,18                                                                                                                                                                                                             | 15,4±2,2                                         |
|                                            | 10-20                    | 2,88±0,20                                                                                                                                                                        | 2,62±0,15                                                                                                                                                                                                             | 9,0±1,4                                          |
|                                            | 0-20                     | 14,45±0,72                                                                                                                                                                       | 12,41±0,32                                                                                                                                                                                                            | 14,1±1,6                                         |
| <b>3</b>                                   | 0-10                     | 6,34±0,19                                                                                                                                                                        | 4,95±0,16                                                                                                                                                                                                             | 21,9±2,6                                         |
|                                            | 10-20                    | 3,27±0,20                                                                                                                                                                        | 3,15±0,15                                                                                                                                                                                                             | 3,7±0,3                                          |
|                                            | 0-20                     | 9,61±0,38                                                                                                                                                                        | 8,10±0,28                                                                                                                                                                                                             | 15,7±1,8                                         |
| <b>4</b>                                   | 0-10                     | 6,40±0,27                                                                                                                                                                        | 4,91±0,20                                                                                                                                                                                                             | 23,3±1,7                                         |
|                                            | 10-20                    | 3,26±0,22                                                                                                                                                                        | 3,18±0,19                                                                                                                                                                                                             | 2,5±0,8                                          |
|                                            | 0-20                     | 9,66±0,48                                                                                                                                                                        | 8,09±0,39                                                                                                                                                                                                             | 16,3±1,4                                         |

Примечание: Варианты опыта: 1. контроль – измельченная побочная продукция; 2. измельченная побочная продукция + N<sub>10</sub> кг д.в. на 1 т продукции; 3. обработка измельченной побочной продукции биопрепаратами (Грибофит 5 л/га + Имуназот 3 л/га); 4. обработка измельченной побочной продукции биопрепаратами (Грибофит 5 л/га + Имуназот 3 л/га) + N<sub>10</sub> кг д.в. на 1 т продукции. ± – стандартное отклонение

Note: Variants of the experiment: 1. Control – crushed by-product; 2. Crushed by-product + N<sub>10</sub>, kg of PPN per 1 t of product; 3. Treatment of crushed by-product with biopreparations (Gribophyt 5 l/ha + Imunazot 3 l/ha) + N<sub>10</sub>, kg of PPN per 1 t of product. ± is the standard deviation.

Как отмечает R.G. Burns [14], степень и скорость разложения растительных остатков зависит от исходной прочности биомолекул, из которых состоят растительные ткани, а также от факторов окружающей среды, которые контролируют ферментредуцирующую активность почвенного микробиома. Солома зерновых,

имея в своём составе высокое содержание лигнина, целлюлозы и низкое – азота, отличается низкой скоростью разложения.

На варианте 2, где солома ячменя вносилась вместе с минеральным азотом, степень разложения была такой же, как и на контроле, но в слое 10-20 см в

3,4 раза больше. Это, вероятно, связано с тем, что в этом слое сформировались благоприятные условия для разложения. Внесенный минеральный азот способствовал усилению процессов разложения в слое

почвы 10-20 см при средней влажности, превышающей величину влаги завядания на 4,6 абс.%, а температура почвы была ниже, чем в слое 0-10 см.

**Таблица 2.** Влажность чернозема типичного слабоэродированного (%) в 2018 году

**Table 2.** Humidity of typical slightly eroded chernozem (%) in 2018

| Вариант опыта<br>Experiment variant | Глубина, см<br>Depth, cm | Даты отбора почвенных образцов / Soil sampling dates |          |           |          | Среднее<br>Average |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|--------------------|
|                                     |                          | 04.08                                                | 22.08    | 10.09     | 01.10    |                    |
| Ячмень / Barley                     |                          |                                                      |          |           |          |                    |
| 1                                   | 0-10                     | 11,1*±0,4                                            | 16,4±0,6 | 11,9*±0,6 | 15,0±0,4 | 13,6±2,5           |
|                                     | 10-20                    | 12,5±0,5                                             | 17,3±0,7 | 12,4±0,4  | 18,5±0,3 | 15,2±3,2           |
|                                     | 0-20                     | 11,8*±0,4                                            | 16,9±0,6 | 12,2±0,5  | 16,8±0,3 | 14,4±2,8           |
| 2                                   | 0-10                     | 11,8*±0,3                                            | 16,7±0,6 | 13,1±1,0  | 22,3±0,2 | 16,0±4,7           |
|                                     | 10-20                    | 13,9±0,3                                             | 15,9±0,4 | 13,0±0,4  | 23,5±0,1 | 16,6±4,8           |
|                                     | 0-20                     | 12,9±0,3                                             | 16,3±0,4 | 13,1±0,7  | 22,9±0,1 | 16,3±4,7           |
| 3                                   | 0-10                     | 12,3±0,2                                             | 16,2±0,4 | 13,2±0,2  | 22,9±0,4 | 16,2±4,8           |
|                                     | 10-20                    | 14,8±0,3                                             | 16,4±0,5 | 12,2±0,4  | 24,0±0,3 | 16,9±5,1           |
|                                     | 0-20                     | 13,6±0,3                                             | 16,3±0,5 | 12,7±0,3  | 23,5±0,2 | 16,5±4,9           |
| 4                                   | 0-10                     | 11,4*±0,2                                            | 16,3±0,3 | 13,1±0,2  | 22,8±0,2 | 15,9±5,0           |
|                                     | 10-20                    | 14,6±0,3                                             | 16,4±0,4 | 12,5±0,3  | 22,9±0,3 | 16,6±4,5           |
|                                     | 0-20                     | 13,0±0,3                                             | 16,4±0,4 | 12,8±0,2  | 22,9±0,2 | 16,3±4,7           |
| Подсолнечник / Sunflower            |                          |                                                      |          |           |          |                    |
| 1                                   | 0-10                     | 9,9*±0,2                                             | 16,3±0,6 | 13,8±1,0  | 20,4±0,5 | 15,1±4,4           |
|                                     | 10-20                    | 14,0±0,4                                             | 17,5±0,9 | 12,8±0,3  | 20,5±0,5 | 16,2±3,5           |
|                                     | 0-20                     | 12,0±0,3                                             | 16,9±0,7 | 13,3±0,7  | 20,5±0,4 | 15,7±3,8           |
| 2                                   | 0-10                     | 14,7±0,4                                             | 16,4±0,3 | 12,4±0,3  | 20,8±0,3 | 16,1±3,6           |
|                                     | 10-20                    | 13,0±0,3                                             | 15,8±0,8 | 13,0±0,3  | 20,2±0,5 | 15,5±3,4           |
|                                     | 0-20                     | 13,9±0,4                                             | 16,1±0,5 | 12,7±0,3  | 20,5±0,3 | 15,8±3,4           |
| 3                                   | 0-10                     | 14,8±0,5                                             | 16,1±0,6 | 12,2±0,1  | 20,8±0,1 | 16,0±3,6           |
|                                     | 10-20                    | 11,6*±0,2                                            | 17,1±0,4 | 12,0±0,1  | 18,9±0,3 | 14,9±3,7           |
|                                     | 0-20                     | 13,2±0,5                                             | 16,6±0,5 | 12,1±0,1  | 19,9±0,2 | 15,4±3,5           |
| 4                                   | 0-10                     | 14,9±0,5                                             | 16,2±0,5 | 12,1±0,2  | 20,7±0,2 | 16,0±3,6           |
|                                     | 10-20                    | 13,1±0,3                                             | 16,1±0,4 | 12,2±0,1  | 19,0±0,3 | 15,1±3,1           |
|                                     | 0-20                     | 14,0±0,4                                             | 16,2±0,5 | 12,2±0,2  | 19,8±0,2 | 15,6±3,3           |

Примечание: Обозначения вариантов опыта такие же, как в таблице 1; \*ниже влаги завядания; ± – стандартное отклонение  
 Note: Designations of the variants of the experiment are similar to those in Table 1; \*lower than wilting moisture; ± is the standard deviation

Обработка побочной продукции ячменя биопрепаратами, как с азотными удобрениями, так и без них, способствовала увеличению степени их разложения в слое 0-10 см по сравнению с контролем в 3,7 раза, а в слое 10-20 см – в 2,5 и 2,6 раза. По сравнению с вариантом 2, где солома вносилась с азотными минеральными удобрениями, внесение биопрепаратов обеспечило возрастание СР только в слое 0-10 см в 3,7 раза, а в слое 10-20 см разница была незначительной. При этом влажность почвы различалась незначительно.

Степень разложения стеблей и растительных остатков подсолнечника также зависела от внесения с ними азотных минеральных удобрений и биопрепаратов, а также и от влажности почвы.

Установлено, что после уборки подсолнечника влажность почвы (кроме контроля) была несколько выше в слое почвы 0-10 см, чем в слое 10-20 см, соответственно, и степень разложения на этих вариантах была больше в слое почвы 0-10 см. На варианте 2, где стебли подсолнечника заделывались в почву с азотными минеральными удобрениями, СР была в слое 0-10 см в 4,5 раза больше, чем на контроле, а в слое 10-20 см – только в 1,5 раза.

Обработка стеблей подсолнечника биопрепаратами, как с азотными удобрениями, так и без них способствовала увеличению степени их разложения в слое 0-10 см в 6,4-6,8 раз, чем на

контроле. В слое 10-20 см на этих вариантах их степень разложения была низкой, так как средняя влажность почвы была ниже, чем на контроле на 1,1-1,3 абс.%, т.е. была близка к влаге завядания.

Следовательно, обработка побочной продукции ячменя биопрепаратами, как с азотными удобрениями, так и без них, больше проявилась в слоях 0-10 и 10-20 см, а стеблей подсолнечника – только в слое 0-10 см. Это вероятно связано с особенностями развития культуры, её агротехники.

Выявлена закономерность возрастания степени разложения растительного материала в пахотном 0-20 см слое почвы на вариантах опыта при совместном внесении побочной продукции с азотными минеральными удобрениями и биопрепаратами по сравнению с контролем, где побочную продукцию вносили без всяких добавок.

Так, при внесении соломы ячменя с азотными минеральными удобрениями СР увеличилась в 1,9 раз, с биопрепаратами – в 3,3 раза, с биопрепаратами и азотными минеральными удобрениями – в 3,4 раза, чем на контроле. При этом средняя влажность пахотного слоя почвы на контроле была выше влаги завядания на контроле на 2,4%, на варианте с азотными минеральными удобрениями – на 4,3%, на вариантах с биопрепаратами, соответственно, – на 4,5% и 4,3%. Следовательно, степень разложения соломы и растительных остатков ячменя в пахотном слое 0-20 см

зависит как от внесения азотных минеральных удобрений или биопрепаратов, так и от влажности почвы.

Выявлено увеличение степени разложения стеблей и растительных остатков подсолнечника в слое почвы 0-20 см при внесении азотных минеральных удобрений в 3,4 раза, при внесении биопрепаратов – в 3,8 раза, при внесении биопрепаратов с азотными минеральными удобрениями – в 4,0 раза по сравнению с контролем. Средняя влажность пахотного слоя почвы на вариантах опыта была низкой и изменялась в пределах 15,4-15,8%, что только на 3,4-3,8% выше влаги завядания. Таким образом, на степень разложения стеблей и растительных остатков подсолнечника в пахотном слое важную роль оказало влияние внесение биопрепаратов и азотных минеральных удобрений.

Следует отметить, что в августе и сентябре 2018 года, когда проходило разложение растительного материала, средняя температура воздуха была выше нормы на 3,0-3,9°C и выпало рекордно низкое количество осадков: в августе – 3 мм (6% от нормы), в

сентябре – 35 мм (52% от нормы); средняя влажность почвы была низкой и превышала влагу завядания на 1,6-4,9 абс.%, а в некоторые периоды была и ниже её. Установлено наличие прямой средней корреляционной зависимости между степенью разложения растительного материала и средней влажностью почвы близкой к влаге завядания, коэффициент корреляции равен 0,6.

Иные погодные условия отмечены в августе-октябре 2019 года (табл. 3). Средняя температура воздуха в августе была только на 0,7°C выше нормы, а в сентябре и октябре, соответственно, ниже нормы на 0,4°C и 1,1°C. Осадков выпало за соответствующий период на 55 мм больше, чем в 2018 году. При этом средние значения влажности в почве с растительным материалом ячменя в 2019 году (табл. 4) в слое 0-10 см колебались от 19,8% до 20,2%, что выше влаги завядания на 7,8-8,2 абс.%, а в слое 10-20 см – от 14,8 до 22,2% с превышением влаги завядания на 2,8-10,8 абс.%.

**Таблица 3.** Влажность чернозема типичного слабоэродированного (%) в 2019 году

**Table 3.** Humidity of typical slightly eroded chernozem (%) in 2019

| Table 3. Fertility of typical highly eroded steppe soil (%) in 2015 |                          |                                                      |          |          |          |                    |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|--------------------|
| Вариант опыта<br>Experiment variant                                 | Глубина, см<br>Depth, cm | Даты отбора почвенных образцов / Soil sampling dates |          |          |          | Среднее<br>Average |
|                                                                     |                          | 05.08                                                | 26.08    | 10.09    | 15.10    |                    |
| Ячмень / Barley                                                     |                          |                                                      |          |          |          |                    |
| 1                                                                   | 0-10                     | 20,8±0,6                                             | 20,4±0,6 | 16,2±0,6 | 25,2±0,5 | 20,7±3,7           |
|                                                                     | 10-20                    | 19,3±0,5                                             | 24,5±0,7 | 17,4±0,5 | 27,7±1,1 | 22,2±4,7           |
|                                                                     | 0-20                     | 20,1±0,5                                             | 22,5±0,6 | 16,8±0,6 | 26,5±0,6 | 21,4±4,1           |
| 2                                                                   | 0-10                     | 18,8±0,5                                             | 18,7±0,6 | 17,7±0,5 | 23,9±0,9 | 19,8±2,8           |
|                                                                     | 10-20                    | 16,8±0,7                                             | 18,9±0,5 | 15,8±0,4 | 28,9±0,7 | 20,1±6,0           |
|                                                                     | 0-20                     | 17,8±0,6                                             | 18,8±0,5 | 16,8±0,5 | 26,4±0,7 | 19,9±4,4           |
| 3                                                                   | 0-10                     | 20,2±0,7                                             | 19,3±0,5 | 17,2±0,4 | 24,2±0,7 | 20,2±2,9           |
|                                                                     | 10-20                    | 15,3±0,5                                             | 18,3±0,4 | 16,9±0,4 | 28,2±0,9 | 19,7±5,8           |
|                                                                     | 0-20                     | 17,8±0,5                                             | 18,8±0,4 | 17,1±0,4 | 26,2±0,8 | 20,0±4,2           |
| 4                                                                   | 0-10                     | 15,6±0,4                                             | 23,2±0,7 | 18,3±0,6 | 25,7±0,2 | 20,7±4,6           |
|                                                                     | 10-20                    | 18,3±0,5                                             | 22,0±0,6 | 18,4±0,5 | 27,5±1,1 | 21,6±4,3           |
|                                                                     | 0-20                     | 17,0±0,5                                             | 22,6±0,6 | 18,4±0,5 | 26,6±0,7 | 21,1±4,3           |
| Гречиха / Buckweat                                                  |                          |                                                      |          |          |          |                    |
| 1                                                                   | 0-10                     | 12,9±0,2                                             | 20,5±0,6 | 16,5±0,4 | 24,1±1,6 | 18,5±4,9           |
|                                                                     | 10-20                    | 13,6±0,3                                             | 24,4±0,7 | 17,8±0,5 | 25,8±0,4 | 20,4±5,7           |
|                                                                     | 0-20                     | 13,3±0,2                                             | 22,5±0,6 | 17,2±0,4 | 25,0±0,9 | 19,5±5,3           |
| 2                                                                   | 0-10                     | 11,0*±0,3                                            | 18,4±0,5 | 16,7±0,4 | 25,4±1,0 | 17,9±4,6           |
|                                                                     | 10-20                    | 10,3*±0,4                                            | 18,7±0,4 | 15,6±0,3 | 27,3±0,4 | 18,0±6,1           |
|                                                                     | 0-20                     | 10,7*±0,3                                            | 18,6±0,4 | 16,2±0,3 | 26,4±1,6 | 17,9±5,3           |
| 3                                                                   | 0-10                     | 8,0*±0,2                                             | 19,5±0,5 | 17,4±0,7 | 23,1±1,5 | 17,0±2,9           |
|                                                                     | 10-20                    | 9,4*±0,3                                             | 17,4±0,4 | 15,9±0,5 | 26,8±1,4 | 17,4±5,9           |
|                                                                     | 0-20                     | 8,7*±0,2                                             | 18,5±0,4 | 16,7±0,5 | 25,0±0,6 | 17,2±4,4           |
| 4                                                                   | 0-10                     | 11,4*±0,4                                            | 23,5±0,5 | 18,4±0,5 | 24,4±0,6 | 19,4±3,2           |
|                                                                     | 10-20                    | 10,6*±0,3                                            | 20,3±0,6 | 17,9±0,4 | 27,7±0,8 | 19,1±5,1           |
|                                                                     | 0-20                     | 11,0*±0,3                                            | 21,9±0,4 | 18,2±0,4 | 26,1±0,7 | 19,3±4,0           |

Примечание: Обозначения вариантов опыта такие же, как в таблице 1; \*ниже влаги завядания; ± – стандартное отклонение  
Note: Designations of the variants of the experiment are similar to those in Table 1; \*lower than wilting moisture; ± is the standard deviation

В связи с этим, и степень разложения побочной продукции и пожнивно-корневых остатков в 2019 году была выше, чем в 2018 году и колебалась в слое 0-10 см от 50,7% до 67,1%, а в слое 10-20 см – от 27,0% до 63,7% (табл. 4). В большинстве случаев степень разложения растительного материала в слое 0-10 см была больше, чем в слое 10-20 см.

Установлено, что влияние азотных минеральных удобрений и биопрепаратов больше проявилось в слоях почвы 10-20 см и 0-20 см. Отмечено увеличение степени разложения соломы и растительных остатков

ячменя в 2019 году в слое почвы 10-20 см при внесении азотных минеральных удобрений в 1,5 раза, а при внесении биопрепаратов с азотными минеральными удобрениями и без них – в 2,2 раза по сравнению с контролем, а в слое 0-20 см, соответственно, в 1,1; 1,2; 1,3 раза.

Наибольшее повышение степени разложения соломы и растительных остатков гречихи в 2019 году по сравнению с контролем отмечается при внесении биопрепаратов с азотными минеральными удобрениями в слое 0-10 см в 1,3 раза, в слое 10-20 см – в 2,0 раза, в слое 0-20 см – в 1,4 раза.

**Таблица 4.** Степень разложения побочной продукции и пожнивно-корневых остатков в черноземе типичном слабоэродированном в 2019 году**Table 4.** The degree of decomposition of by-product, after harvesting and root residues in typical slightly eroded chernozem in 2019

| Вариант опыта<br>Experiment variant | Глубина, см<br>Depth, cm | Количество пожнивно-корневых остатков и внесенной побочной продукции в почву, т/га<br>Amount of afterharvesting and root residues and incorporated by-product in the soil, t/ha | Количество пожнивно-корневых остатков и внесенной побочной продукции в почву после разложения, т/га<br>Amount of afterharvesting and root residues and incorporated by-product in the soil after decomposition, t/ha | Степень разложения, %<br>Decomposition degree, % |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Ячмень / Barley</b>              |                          |                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                      |                                                  |
| <b>1</b>                            | 0-10                     | 5,49±0,20                                                                                                                                                                       | 2,59±0,36                                                                                                                                                                                                            | 52,8±4,9                                         |
|                                     | 10-20                    | 2,74±0,05                                                                                                                                                                       | 2,00±0,34                                                                                                                                                                                                            | 27,0±7,4                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>8,23±0,15</b>                                                                                                                                                                | <b>4,59±0,29</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>44,2±3,7</b>                                  |
| <b>2</b>                            | 0-10                     | 6,10±0,26                                                                                                                                                                       | 2,79±0,35                                                                                                                                                                                                            | 54,3±7,8                                         |
|                                     | 10-20                    | 3,36±0,19                                                                                                                                                                       | 2,01±0,42                                                                                                                                                                                                            | 40,2±9,2                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>9,46±0,15</b>                                                                                                                                                                | <b>4,80±0,16</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>49,3±3,6</b>                                  |
| <b>3</b>                            | 0-10                     | 5,72±0,19                                                                                                                                                                       | 2,82±0,20                                                                                                                                                                                                            | 50,7±4,8                                         |
|                                     | 10-20                    | 2,87±0,10                                                                                                                                                                       | 1,19±0,13                                                                                                                                                                                                            | 58,5±3,2                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>8,59±0,12</b>                                                                                                                                                                | <b>4,01±0,32</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>53,3±4,0</b>                                  |
| <b>4</b>                            | 0-10                     | 5,38±0,07                                                                                                                                                                       | 2,15±0,27                                                                                                                                                                                                            | 60,0±4,3                                         |
|                                     | 10-20                    | 2,59±0,18                                                                                                                                                                       | 1,1±0,17                                                                                                                                                                                                             | 57,5±4,3                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>7,97±0,17</b>                                                                                                                                                                | <b>3,25±0,25</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>59,2±3,8</b>                                  |
| <b>Гречиха / Buckwheat</b>          |                          |                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                      |                                                  |
| <b>1</b>                            | 0-10                     | 6,01±0,20                                                                                                                                                                       | 2,81±0,48                                                                                                                                                                                                            | 53,2±9,0                                         |
|                                     | 10-20                    | 2,78±0,11                                                                                                                                                                       | 1,90±0,27                                                                                                                                                                                                            | 31,7±3,5                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>8,79±0,21</b>                                                                                                                                                                | <b>4,71±0,23</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>46,4±7,5</b>                                  |
| <b>2</b>                            | 0-10                     | 6,72±0,32                                                                                                                                                                       | 2,72±0,32                                                                                                                                                                                                            | 59,5±4,0                                         |
|                                     | 10-20                    | 2,56±0,17                                                                                                                                                                       | 1,69±0,18                                                                                                                                                                                                            | 34,0±7,9                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>9,28±0,48</b>                                                                                                                                                                | <b>4,41±0,50</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>52,5±4,9</b>                                  |
| <b>3</b>                            | 0-10                     | 8,02±0,20                                                                                                                                                                       | 2,76±0,25                                                                                                                                                                                                            | 65,6±3,2                                         |
|                                     | 10-20                    | 3,61±0,26                                                                                                                                                                       | 2,07±0,27                                                                                                                                                                                                            | 42,7±9,3                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>11,63±0,34</b>                                                                                                                                                               | <b>4,83±0,39</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>58,5±4,6</b>                                  |
| <b>4</b>                            | 0-10                     | 7,09±0,22                                                                                                                                                                       | 2,33±0,25                                                                                                                                                                                                            | 67,1±4,5                                         |
|                                     | 10-20                    | 3,33±0,13                                                                                                                                                                       | 1,21±0,10                                                                                                                                                                                                            | 63,7±3,8                                         |
|                                     | <b>0-20</b>              | <b>10,42±0,31</b>                                                                                                                                                               | <b>3,54±0,36</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>66,0±4,3</b>                                  |

Примечание: Обозначения вариантов опыта такие же, как в таблице 1. ± – стандартное отклонение

Note: Designations of the variants of the experiment are similar to those in Table 1. ± is the standard deviation

Подтверждается выявленная закономерность возрастания степени разложения растительного материала гречихи (46,4%-52,5%-58,5%-66,0%) в пахотном 0-20 см слое почвы на вариантах опыта: солома (контроль) – солома с азотными минеральными удобрениями – солома с биопрепаратами – солома с биопрепаратами и азотными минеральными удобрениями. Однако в условиях, когда средняя влажность почвы была на 64-85% выше влаги завядания (12%), различия в степени разложения побочной продукции и растительных остатков по вариантам опыта снизились.

Таким образом, влияние внесения биопрепаратов и азотных минеральных удобрений с побочной продукцией больше проявилось в экстремальных условиях при средней влажности почвы в период разложения близкой к влаге завядания и при повышенной средней температуре воздуха. Особенно это прослеживается на ячмене, который возделывался и в 2018, и в 2019 годах.

В процессе разложения побочной продукции и растительных остатков сельскохозяйственных культур в почве образуются молодые формы гумуса, непрочные связанные с минеральной частью почвы и обогащенные азотом – подвижные гумусовые вещества (ПГВ). Рассмотрим изменение их качественного состава в черноземе типичном слабоэродированном в звеньях зернового и зернопарового севооборотов.

Установлено, что в звене зернового севооборота на поле 1 в августе-октябре 2018 года в процессе разложения соломы и растительных остатков ячменя на

контроле и на варианте с азотными минеральными удобрениями отмечается ухудшение качественного состава подвижных гумусовых веществ, снижается соотношение углерода подвижных гуминовых кислот к подвижным фульвокислотам (Спгк:Спфк) как в слое 0-10 см, так и в слое 10-20 см по сравнению с периодом уборки культуры (табл. 5).

В начале октября после разложения внесенной в почву побочной продукции и пожнивно-корневых остатков ячменя на вариантах с биопрепаратами установлено улучшение качества ПГВ и увеличение соотношения Спгк:Спфк на 15% в слое почвы 0-10 см, а в слое 0-20 см – на 12%, по сравнению с контролем. В августе-октябре 2019 года в процессе разложения гречихи на вариантах с биопрепаратами отмечено увеличение соотношения Спгк:Спфк в составе ПГВ на 10-20% и улучшение их качества.

Следует отметить, что отношение углерода подвижных гуминовых кислот к подвижным фульвокислотам в составе подвижных гумусовых веществ в почве первого поля было несколько выше, чем второго поля. Это, вероятно, связано с тем, что почва первого поля отличалась большим содержанием гумуса и подвижных питательных элементов.

В звене зернопарового севооборота на поле 2 в августе-октябре 2018 года в процессе разложения подсолнечника отмечалось снижение качества ПГВ на контроле и тенденция к его уменьшению на варианте с азотными минеральными удобрениями (табл. 5), а на вариантах с биопрепаратами выявлена тенденция к его увеличению.

**Таблица 5.** Динамика качественного состава подвижных гумусовых веществ ( $C_{\text{ПК}}$  /  $C_{\text{ПК}}$ ) в черноземе типичном слабоэродированном на опыте с биопрепаратами в зернопропашном севообороте

**Table 5.** Dynamics of qualitative compositions of mobile humus substances ( $C_{\text{ПК}}$  /  $C_{\text{ПК}}$ ) in typical slightly eroded chernozem in the experiment with biopreparations in the links of cereal and cereal-row crop rotations in 2018-2019

| Вариант опыта<br>Experiment variant | Глубина, см<br>Depth, cm | Поле 1 / Field 1                                                                     |                                      |                                                                                        |                                      | Поле 2 / Field 2                                                                       |                                      |                                                                                      |                                        |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                     |                          | Зерновой севооборот / Cereal crop rotation                                           |                                      | Зернопропашной севооборот / Cereal-row crop rotation                                   |                                      | Зерновой севооборот / Cereal crop rotation                                             |                                      | Зернопропашной севооборот / Cereal-row crop rotation                                 |                                        |
|                                     |                          | 2018 год – ячмень<br>2018 – Barley                                                   |                                      | 2019 год – гречиха<br>2019 – Buckwheat                                                 |                                      | 2018 год – подсолнечник<br>2018 – Sunflower                                            |                                      | 2019 год – ячмень<br>2019 – Barley                                                   |                                        |
|                                     |                          | 4 августа<br>(период уборки культуры)<br>4 <sup>th</sup> August<br>(crop harvesting) | 1 октября<br>1 <sup>st</sup> October | 29 августа<br>(период уборки культуры)<br>29 <sup>th</sup> August<br>(crop harvesting) | 1 октября<br>1 <sup>st</sup> October | 29 августа<br>(период уборки культуры)<br>29 <sup>th</sup> August<br>(crop harvesting) | 1 октября<br>1 <sup>st</sup> October | 4 августа<br>(период уборки культуры)<br>4 <sup>th</sup> August<br>(crop harvesting) | 15 октября<br>15 <sup>th</sup> October |
| 1                                   | 0-10                     | 0,87                                                                                 | 0,66                                 | 0,80                                                                                   | 1,00                                 | 0,73                                                                                   | 0,52                                 | 0,50                                                                                 | 0,63                                   |
|                                     | 10-20                    | 0,78                                                                                 | 0,72                                 | 1,10                                                                                   | 1,00                                 | 0,58                                                                                   | 0,50                                 | 0,56                                                                                 | 0,52                                   |
|                                     | 0-20                     | 0,83                                                                                 | 0,69                                 | 0,95                                                                                   | 1,00                                 | 0,66                                                                                   | 0,51                                 | 0,53                                                                                 | 0,57                                   |
| 2                                   | 0-10                     | 0,68                                                                                 | 0,62                                 | 1,10                                                                                   | 0,80                                 | 0,58                                                                                   | 0,56                                 | 0,56                                                                                 | 0,55                                   |
|                                     | 10-20                    | 0,66                                                                                 | 0,61                                 | 0,70                                                                                   | 0,70                                 | 0,50                                                                                   | 0,57                                 | 0,45                                                                                 | 0,57                                   |
|                                     | 0-20                     | 0,67                                                                                 | 0,62                                 | 0,90                                                                                   | 0,75                                 | 0,54                                                                                   | 0,57                                 | 0,50                                                                                 | 0,56                                   |
| 3                                   | 0-10                     | 0,67                                                                                 | 0,77                                 | 1,00                                                                                   | 1,20                                 | 0,52                                                                                   | 0,53                                 | 0,53                                                                                 | 0,97                                   |
|                                     | 10-20                    | 0,76                                                                                 | 0,78                                 | 1,00                                                                                   | 1,10                                 | 0,50                                                                                   | 0,50                                 | 0,51                                                                                 | 0,70                                   |
|                                     | 0-20                     | 0,72                                                                                 | 0,78                                 | 1,00                                                                                   | 1,15                                 | 0,51                                                                                   | 0,52                                 | 0,52                                                                                 | 0,82                                   |
| 4                                   | 0-10                     | 0,68                                                                                 | 0,77                                 | 1,00                                                                                   | 1,10                                 | 0,52                                                                                   | 0,54                                 | 0,50                                                                                 | 0,79                                   |
|                                     | 10-20                    | 0,75                                                                                 | 0,76                                 | 0,80                                                                                   | 1,10                                 | 0,51                                                                                   | 0,52                                 | 0,54                                                                                 | 0,71                                   |
|                                     | 0-20                     | 0,72                                                                                 | 0,77                                 | 0,90                                                                                   | 1,10                                 | 0,52                                                                                   | 0,53                                 | 0,52                                                                                 | 0,75                                   |

Примечание: Варианты опыта те же, что в таблице 1.  $C_{\text{ПК}}$  – углерод подвижных гумусовых веществ, мг/кг почвы;  $C_{\text{ПК}}$  – углерод подвижных гумусовых кислот, мг/кг почвы;

$C_{\text{ПК}}$  – углерод подвижных фульвокислот, мг/кг почвы

Note: Variants of the experiment are similar to those in Table 1: 1. –  $C_{\text{ПК}}$  is the carbon of mobile humus substances, mg/kg of soil;  $C_{\text{ПК}}$  is the carbon of mobile humic acids, mg/kg of soil;

$C_{\text{ПК}}$  is the carbon of mobile fulvic acids, mg/kg of soil.

В августе-октябре 2019 года после разложения внесенной в почву побочной продукции и пожнивно-корневых остатков ячменя в пахотном слое отмечается тенденция к увеличению качества ПГВ на контроле, тенденция к снижению на варианте с азотными минеральными удобрениями в слое 0-10 см и увеличение в 1,2 раза в слое 10-20 см. При внесении биопрепаратов с азотными минеральными удобрениями или без них установлено возрастание соотношения Спгк:Спфк в составе ПГВ в слое 0-10 см, соответственно, в 2,0 и 1,6 раза, а в слое 10-20 см – в 1,4 раза.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые определена степень разложения в черноземе типичном слабоэродированном обработанной биопрепаратами побочной продукции и пожнивно-корневых остатков в полевом стационарном опыте на двух полях в звеньях зернового и зернопропашного севооборотов. Выявлено, что обработка побочной продукции (соломы или стеблей) ячменя, гречихи и подсолнечника биопрепаратами (Грибофит 5 л/га + Имуназот 3 л/га) и биопрепаратами + N<sub>10</sub> кг д.в. на 1 т продукции, заделка её в почву способствует увеличению степени разложения в черноземе типичном слабоэродированном растительных остатков по сравнению с контролем и внесением минеральных азотных удобрений. Внесение N<sub>10</sub> кг д.в. на 1 т побочной продукции тоже оказывают положительное влияние на разложение растительных остатков, но в меньшей степени, чем биопрепараты.

Степень разложения растительных остатков (побочной продукции и пожнивно-корневых остатков) зависит от гидротермических условий периода, в котором происходит разложение, от влажности почвы и культуры. В зависимости от культуры и её агротехники формируется различное увлажнение слоев 0-10 и 10-20 см. При влажности почвы близкой к влаге завядания отмечена её прямая средняя корреляционная зависимость со степенью разложения растительных остатков.

Влияние изучаемых факторов – биопрепаратов, биопрепаратов с азотными минеральными удобрениями – на степень разложения растительных остатков больше проявилось в экстремальных гидротермических условиях.

Внесение биопрепаратов способствует не только повышению степени разложения побочной продукции и пожнивно-корневых остатков, но и улучшению качества подвижных гумусовых веществ в почве. Причем, в благоприятные по гидротермическим условиям годы при внесении биопрепаратов с побочной продукцией отмечается увеличение соотношения углерода подвижных гуминовых кислот к углероду подвижных фульвокислот в подвижных гумусовых веществах почвы, а в экстремальные – только тенденция к их увеличению.

Результаты исследований имеют важное значение для изучения процессов разложения растительных остатков при внесении биологических препаратов, их влияния на гумусное состояние почвы, для разработки инновационных путей оптимизации содержания, состава органического вещества в

черноземных почвах, сохранения и повышения их плодородия, агроэкологического состояния, рационального землепользования.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» по теме № 0632–2019–0014.

#### ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out within the framework of the state task for FSBSI Kursk Federal Agricultural Research Centre according to theme No. 0632–2019–0014.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. Москва: ГЕОС, 2015. 233 с.
2. Масютенко Н.П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства. Москва: Россельхозакадемия, 2012. 150 с.
3. Богатырева Е.В. Влияние биопрепаратов на темпы разложения солоmistых остатков озимой пшеницы и продуктивность чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения // Земледелие. 2015. N 8. С. 34-36.
4. Русакова И.В. Влияние микробных препаратов и минерального азота на разложение соломы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. N 3-1. С. 107-111.
5. Fan F., Yu B., Wang B., George T.S., Yin H., Xu D., Li D., Song A. Microbial mechanisms of the contrast residue decomposition and priming effect in soils with different organic and chemical fertilization histories // Soil Biology and Biochemistry. 2019. V. 135. P. 213-221. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.05.001
6. Maarastawi S.A., Frindte K., Bodelier P.L.E., Knief C. Rice straw serves as additional carbon source for rhizosphere microorganisms and reduces root exudate consumption // Soil Biology and Biochemistry. 2019. V. 135. P. 235-238. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.05.007
7. Semenov V.M., Pautova N.B., Lebedeva T.N., Khromyckina D.P., Semenova N.A., Lopes de Gerenyu V.O. Plant Residues Decomposition and Formation of Active Organic Matter in the Soil of the Incubation Experiments // Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. N 10. P. 1183-1194. DOI: 10.1134/S1064229319100119
8. Воробьев Н.И., Свиридова О.В. и др. Особенности применения микробиологических препаратов для гумификации растительных остатков зерновых сельскохозяйственных культур // Материалы международной научно-практической конференции «Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения». Н.-Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. С. 29-32.
9. Русакова И.В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах // Juvenis scientia. 2018. N 9. С. 4-9. DOI: 10.32415/jscientia.2018.09.01
10. Abro S., Tian X., You D. Ba Y., Li M., Wu F. Influence inoculants on soil response to properties with and without straw under different temperature regimes // African

Journal of Microbiology Research. 2011. V. 5(19). P. 3054-3061. DOI: 10.5897/AJMR11.193

11. Gaid S., Nain L. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants // *Biodegradation*. 2007. V. 18. Iss. 4. P. 495-503. DOI: 10.1007/s10532-006-9082-6

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

13. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1984. 96 с.

14. Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. V. 58. P. 216-234. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.11.009

## REFERENCES

1. Semenov V.M., Kogut B.M. *Pochvennoye organicheskoye veshchestvo* [Soil organic matter]. Moscow, GEOS Publ., 2015, 233 p. (In Russian)

2. Masyutenko N.P. *Transformatsiya organicheskogo veshchestva v chernozemnykh pochvakh TsCR i sistemy yego vosproizvodstva* [Organic matter transformation in chernozem soils of CCR and systems of its reproduction], Moscow, Rossel'khozakademia Publ., 2012, 150 p. (In Russian)

3. Bogatyryova E.V. Influence of biological preparations on the rates of decomposition of straw residues of winter wheat and fertility of typical chernozem in the zone of unstable moistening. *Zemledelie* [Zemledelie]. 2015, no. 8, pp. 34-36. (In Russian)

4. Rusakova I.V. Influence of microbial preparations and mineral nitrogen on straw decomposition. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [Int. J. Appl. & Fund. Res.]. 2016, no. 3-1, pp. 107-111. (In Russian)

5. Fan F., Yu B., Wang B., George T.S., Yin H., Xu D., Li D., Song A. Microbial mechanisms of the contrast residue decomposition and priming effect in soils with different organic and chemical fertilization histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 2019, vol. 135, pp. 213-221. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.05.001

6. Maarastawi S.A., Frindte K., Bodelier P.L.E., Knief C. Rice straw serves as additional carbon source for rhizosphere microorganisms and reduces root exudate consumption.

*Soil Biology and Biochemistry*, 2019, vol. 135, pp. 235-238. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.05.007

7. Semenov V.M., Pautova N.B., Lebedeva T.N., Khromyckina D.P., Semenova N.A., Lopes de Gerenyu V.O. Plant Residues Decomposition and Formation of Active Organic Matter in the Soil of the Incubation Experiments. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 10, pp. 1183-1194. DOI: 10.1134/S1064229319100119

8. Vorob'ev, N.I., Sviridova, O.V. et al. Osobennosti primeneniya mikrobiologicheskikh preparatov dlya gumifikatsii rastitel'nykh ostatkov zernovykh sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Peculiarities of the application of microbiological preparations for humification of cereal crop residues] *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Agrokhimikaty v KhKhI veke: teoriya i praktika primeneniya», N.-Novgorod, 2017* [Materials of the international scientific-practical conference "Agrochemicals in the XXI century: theory and practice of application"]. 2017, pp. 29-32. (In Russian)

9. Rusakova I.V. Biopreparations for decomposition of plant residues in agroecosystems. *Juvenis scientia*, 2018, no. 9, pp. 4-9. DOI: 10.32415/jscientia.2018.09.01 (In Russian)

10. Abro S., Tian X., You D. Ba Y., Li M., Wu F. Influence inoculants on soil response to properties with and without straw under different temperature regimes. *African Journal of Microbiology Research*, 2011, vol. 5(19), pp. 3054-3061. DOI: 10.5897/AJMR11.193

11. Gaid S., Nain L. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants. *Biodegradation*, 2007, vol. 18, iss. 4, pp. 495-503. DOI: 10.1007/s10532-006-9082-6

12. Dospikhov B.A. *Metodika opytnogo dela (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy)* [Methods of the Field Experiment (with the fundamentals of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)

13. *Rekomendatsii dlya issledovaniya balansa i transformatsii organicheskogo veshchestva pri sel'skokhozyaistvennom ispolzovanii i intensivnom okultiviraniy pochv* [Recommendations for the study of the balance and transformation of organic matter in agricultural use and intensive soil cultivation]. Moscow, Soil Institute named after V.V. Dokuchaev Publ., 1984, 96 p. (In Russian)

14. Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N. and Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, vol. 58, pp. 216-234. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.11.009

## КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Нина П. Масютенко разработала алгоритм исследований, проанализировала данные, написала рукопись. Татьяна И. Панкова проводила полевые и лабораторные исследования по изменению содержания в почве негумифицированного органического вещества, подготовила и интерпретировала данные к статье. Алексей В. Кузнецов проводил полевые и лабораторные исследования по изменению качественного состава в почве подвижных гумусовых веществ, подготовил и интерпретировал данные к статье. Максим Н. Масютенко проводил полевые и лабораторные

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nina P. Masyutenko developed an algorithm for the research, analysed the data and wrote the manuscript. Tatiana I. Pankova conducted field and laboratory studies on changes in the content of non-humified organic matter and prepared and interpreted the data for the article. Alexei V. Kuznetsov conducted field and laboratory studies on changes in the quality of the composition of mobile humus substances in the soil and prepared and interpreted the data for the article. Maxim N. Masyutenko conducted field and laboratory studies on changes in the content of non-humified organic matter and conducted statistical

исследования по изменению содержания в почве негумифицированного органического вещества, провел статистическую обработку материала к статье. Галина М. Брескина проводила полевые и лабораторные исследования по изменению влажности в почве в почве, провела статистическую обработку материала к статье. Наталия А. Чуян организовала проведение полевых и лабораторных исследований, написала обзор литературы к статье. Авторы в равной степени несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

processing of the material for the article. Galina M. Breskina conducted field and laboratory studies on changes in soil humidity and conducted statistical processing of the material for the article. Natalia A. Chuyan arranged the conducting of field and laboratory studies and wrote a review of the literature for the article. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors declare no conflict of interest.

**ORCID**

Нина П. Масютенко / Nina P. Masyutenko <https://orcid.org/0000-0001-8348-0609>

Татьяна И. Панкова / Tatiana I. Pankova <https://orcid.org/0000-0001-8917-1428>

Алексей В. Кузнецов / Alexei V. Kuznetsov <https://orcid.org/0000-0002-0230-7503>

Максим Н. Масютенко / Maxim N. Masyutenko <https://orcid.org/0000-0001-8844-2433>

Галина М. Брескина / Galina M. Breskina <https://orcid.org/0000-0003-2381-312X>

Наталия А. Чуян / Natalia A. Chuyan <https://orcid.org/0000-0002-4212-3143>

Оригинальная статья / Original article

УДК 582.661.56:577.21

DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-119-128

# Инновационный способ контроля численности *Diaspis echinocacti* Bouche при помощи ДНК-инсектицида на *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. в Никитском ботаническом саду

Юрий В. Плугатарь<sup>1</sup>, Елена С. Чичканова<sup>1</sup>, Екатерина В. Яцкова<sup>1</sup>,  
Александр К. Шармагий<sup>1</sup>, Владимир В. Оберемок<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный Научный Центр» РАН, Ялта, Россия

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

## Контактное лицо

Елена С. Чичканова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории дендрологии, парковедения и ландшафтной архитектуры, отдела дендрологии, цветоводства и ландшафтной архитектуры, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Никитский ботанический сад – Национальный Научный Центр» РАН; 298648, Россия, Республика Крым, г. Ялта, ул. Никитский спуск, 52.

Тел. +79780873242

E-mail [lena.chichkanovarevenko@mail.ru](mailto:lena.chichkanovarevenko@mail.ru)

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8930-8022>

## Формат цитирования

Плугатарь Ю.В., Чичканова Е.С., Яцкова Е.В., Шармагий А.К., Оберемок В.В. Инновационный способ контроля численности *Diaspis echinocacti* Bouche при помощи ДНК-инсектицида на *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. в Никитском ботаническом саду // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 119-128. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-119-128

Получена 7 июля 2020 г.

Прошла рецензирование 12 сентября 2020 г.

Принята 21 сентября 2020 г.

## Резюме

**Цель.** Выявление эффективности действия ДНК-инсектицида с высоким уровнем экологичности на *Diaspis echinocacti* Bouche в условиях оранжереи Никитского ботанического сада.

**Материал и методы.** Объектом исследования являлось насекомое-вредитель *Diaspis echinocacti* Bouche. Учёт численности особей *D. echinocacti* в колониях, выявленных на сегментах *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.), проводился с помощью микроскопа Nikon SMZ 745T с использованием компьютерной микрофотосъемки. В опыте исследовали действие ДНК-инсектицида «Cactus-NBG» на *D. echinocacti*, в качестве эталона был использован препарат Танрек ВК, ВРК – инсектицид из класса неоникотиноидов.

**Результаты.** Выявлено, что обработка ДНК-инсектицидом – «Cactus-NBG» против личинок *D. echinocacti* показала положительный результат. Биологическая эффективность препарата составила 82,0%. Процент гибели личинок щитовки после обработки достоверно увеличивался по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ) и на 3-и сут. составил  $43,2 \pm 5,0\%$ , на 7-е сут. –  $53,2 \pm 2,3\%$ , на 14-е сут. –  $84,2 \pm 2,2\%$ .

**Заключение.** В результате обработки *O. ficus-indica* ДНК-инсектицидом «Cactus-NBG» против *D. echinocacti* получили положительный результат. На 14-е сут. после обработки ДНК-инсектицидом гибель *D. echinocacti* составила  $84,2 \pm 2,2\%$ , в эталоне («Танрек») –  $86,0 \pm 1,4\%$ , а в контроле –  $11,2 \pm 1,2\%$ . Биологическая эффективность препарата «Cactus-NBG» на 14-е сут. составила 82,0%. Инновационный препарат «Cactus-NBG», основанный на антисмысловом фрагменте генома *D. echinocacti*, вызывал гибель фитофага на протяжении 14-ти дней. Таким образом, препарат «Cactus-NBG», основанный на антисмысловом фрагменте генома *D. echinocacti*, вызывал значительную гибель насекомого-вредителя и может составить конкуренцию современным химическим препаратам.

## Ключевые слова

*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., *Diaspis echinocacti* Bouche, ДНК-инсектицид, оранжерея, Никитский ботанический сад.

# An innovative method of *Diaspis echinocacti* Bouche control using DNA insecticide on *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. in the Nikitsky Botanical Garden, Crimea

Yurii V. Plugatar<sup>1</sup>, Elena S. Chichkanova<sup>1</sup>, Ekaterina V. Yatskova<sup>1</sup>,  
Alexander K. Sharmagii<sup>1</sup> and Vladimir V. Oberemok<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Nikitsky Botanical Garden, National Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia

<sup>2</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

## Contact person

Elena S. Chichkanova, PhD, Research Associate,  
Laboratory of Dendrology, Park Science and  
Landscape Architecture, Department of  
Dendrology, Floriculture and Landscape  
Architecture, The Nikitsky Botanical Garden-  
National Scientific Centre, Russian Academy of  
Sciences; 52 Nikitsky Spusk St, Yalta, Republic of the  
Crimea, Russia 298648.

Tel. +79780873242

E-mail [lena.chichkanovarevenko@mail.ru](mailto:lena.chichkanovarevenko@mail.ru)

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8930-8022>

## How to cite this article

Plugatar Yu.V., Chichkanova E.S., Yatskova E.V.,  
Sharmagii A.K., Oberemok V.V. An innovative  
method of *Diaspis echinocacti* Bouche control using  
DNA insecticide on *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. in  
the Nikitsky Botanical Garden, Crimea. *South of  
Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2,  
pp. 119-128. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-  
1098-2021-2-119-128

Received 7 July 2020

Revised 12 September 2020

Accepted 21 September 2020

## Abstract

**Aim.** Investigation of the effectiveness of a DNA insecticide with a high level of environmental friendliness on *Diaspis echinocacti* Bouche in the greenhouse of the Nikitsky Botanical Garden.

**Materials and Methods.** The object of the study was the insect pest *Diaspis echinocacti* Bouche. The number of *D. echinocacti* larvae was identified on segments of *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) using a Nikon SMZ 745T microscope and computer microphotography. In the experiment, the effectiveness of the DNA insecticide "Cactus-NBG" on *D. echinocacti* was studied, the preparation "Tanrek VK", VRK, from the class of neonicotinoids being used as a standard insecticide.

**Results.** It was revealed that the treatment with the DNA insecticide "Cactus-NBG" against *D. echinocacti* larvae had a significant insecticidal effect. The biological effectiveness of the preparation was 82.0%. The mortality of larvae after treatment significantly increased in comparison with the control ( $p < 0.05$ ) and was measured at  $43.2 \pm 5.0\%$ ,  $53.2 \pm 2.3\%$ , and  $84.2 \pm 2.2\%$  on the 3<sup>rd</sup>, 7<sup>th</sup>, and 14<sup>th</sup> day after treatment respectively.

**Conclusion.** As a result of treatment of *O. ficus-indica* against *D. echinocacti* with the contact DNA insecticide "Cactus-NBG", a significant insecticidal effect was found. On the 14<sup>th</sup> day after treatment, the mortality of *D. echinocacti* in "Cactus-NBG" was  $84.2 \pm 2.2\%$ , in the "Tanrek" group –  $86.0 \pm 1.4\%$  and in the control group treated with water –  $11.2 \pm 1.2\%$ . The biological effectiveness of "Cactus-NBG" on the 14<sup>th</sup> day was 82.0%. Thus, the preparation "Cactus-NBG", based on the antisense fragment of the *D. echinocacti* genome, caused a significant mortality of the target insect pest and can compete with modern chemical preparations.

## Key Words

*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., *Diaspis echinocacti* Bouche, DNA insecticide, greenhouse, Nikitsky Botanical Garden.

## ВВЕДЕНИЕ

Род *Opuntia* Mill. один из самых древних родов семейства Cactaceae Juss., изображение которого входит в государственный герб Мексики [1]. Впервые род *Opuntia* был описан в 1754 г. Ф. Миллером (Miller Philipp) [2]. Кактусы выделяются оригинальностью габитуса, обильным цветением, разнообразной цветовой гаммой цветков и плодов, а также относительной неприхотливостью в культуре в условиях открытого и закрытого грунта, поэтому могут по праву считаться солидными представителями в коллекциях отечественных и зарубежных ботанических садов [3-5].

Согласно данным отечественных и зарубежных авторов, *Opuntia* является одним из крупнейших родов семейства Cactaceae Juss., включающий по данным разных авторов от 90 до 250 видов [6-7]. Природный ареал растений охватывает местности Мексики, Перу, Чили [8]. В США опунции растут до 50 градусов с. ш., которые были интродуцированы из Америки и широко распространены на юге Европы, севере Африки; на Канарских островах, в Азии, Австралии, Канаде, Швейцарии [9-12].

Установлено, что не менее 27 видов рода *Opuntia* отмечены в качестве инвазивных растений в различных частях Земного шара [13; 14]. Первые случаи их натурализации на Крымском полуострове относятся, вероятно, к середине этого же столетия. С первых лет существования Никитского ботанического сада (1812-1824 гг.), большое внимание уделялось интродукции представителей рода *Opuntia* [15-17].

На сегодняшний день площадь оранжереи, где расположена основная часть коллекции суккулентов Никитского ботанического сада составляет 960,0 м<sup>2</sup>; площадь открытого участка, где расположена остальная часть коллекционных экземпляров составляет 1240,0 м<sup>2</sup> (всего: 2,200 м). Коллекция включает 985 таксонов из 12 семейств и 106 родов; «ядро» коллекции – 619 таксонов семейства Cactaceae Juss. [18].

Следует отметить, что в Никитском ботаническом саду проводились исследования биологических и физиологических особенностей видов рода *Opuntia* [19-23], изучены биоморфологические особенности некоторых натурализовавшихся в Крыму видов [24; 25]. В зарубежных ботанических учреждениях были изучены морфологические, анатомические, физиологические аспекты некоторых видов рода *Opuntia* [26-30], с последующей возможностью применения растительного сырья этих растений для изготовления лекарственных препаратов, масел и кремов, а также для изучения пищевых свойств плодов опунции. В связи с тем, что *Opuntia* представляет большую ценность и достаточно глубоко изучается в ботанических учреждениях мира, сохранение растений этого рода является первостепенной задачей коллекционных фондов. Так, один из представителей рода *Opuntia* – *O. ficus-indica* L. (Mill.) имеет широкое применение в косметологии, медицине, пищевой промышленности, а также является перспективным растением для декоративного садоводства. На декоративность, а также долговечность растения влияют не только экологические и антропогенные факторы, но и повреждаемость насекомыми-вредителями.

В настоящее время в оранжерее на растениях отмечено массовое размножение *Diaspis echinocacti* Bouché на *O. ficus-indica*. Фитофаг распространён на юге Европы, в Азии (Индия), в Африке (Алжир, Египет), Северной и Южной Америке, в Средней Азии, в Туркмении, Таджикистане, Узбекистане, как правило, на представителях рода *Opuntia*. Подтверждено, что в Абхазии данный вид фитофага сильно вредит видам из рода *Opuntia* [31]. Насекомое развивается на всех надземных органах опунции и при массовом заселении приводит к усыханию отдельных частей растения [32]. В связи с высокой численностью фитофага и особым статусом Никитского ботанического сада были испытаны инновационные ДНК-инсектициды [33], на основе коротких антисмысловых фрагментов гена 28S рибосомальной РНК, которые хорошо зарекомендовали себя на других видах щитовок [34]. Данный постгеномный подход основывается на применении антисмысловых ДНК-фрагментов, которые блокируют экспрессию целевых генов насекомых-вредителей, вызывая их гибель. По сути, инновационные ДНК-инсектициды являются полимером природного происхождения и будут оказывать минимальный негативный эффект на нецелевые организмы, благодаря уникальной комбинации применяемого инновационного ДНК-инсектицида [35; 36]. Кроме этого, инновационные ДНК-инсектициды обладают высоким уровнем экологичности по той причине, что на каждом трофическом уровне у целевых и нецелевых организмов имеются ферменты дезоксирибонуклеазы (ДНКазы), осуществляющие быстрый распад инновационных ДНК-инсектицидов в клетках. На сегодняшний день ни один из химических инсектицидов не способен обеспечить высокий уровень избирательности действия, исходя из понятного алгоритма, каковым обладают ДНК-инсектициды – это уникальная комбинация азотистых оснований в ДНК-инсектициде. В такой ситуации выход на рынок ДНК-инсектицидов позволит с минимальным побочным действием для окружающей среды регулировать численность насекомых-вредителей там, где высока вероятность существенного негативного влияния на экосистемы и здоровье людей.

Цель работы выявление эффективности действия ДНК-инсектицида с высоким уровнем экологичности на *D. echinocacti* в условиях оранжереи Никитского ботанического сада.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в лаборатории энтомологии и фитопатологии ФГБУН «НБС-ННЦ». Объектом исследований являлась *D. echinocacti* Bouché, выявленная на *O. ficus-indica*. Степень вредоносности кактусовой щитовки определяли при обследовании опунции в оранжерее Никитского ботанического сада [37]. Видовую принадлежность *D. echinocacti* определяли по Н.С. Борхсениусу [38]. Учёт численности особей *D. echinocacti* в колониях проводился с помощью микроскопа Nikon SMZ 745 T с использованием компьютерной микрофотосъемки. Жизнеспособность личинок определяли по изменению тургора тела и их питанию [39]. В опыте исследовали действие ДНК-инсектицида Cactus-NBG на *D. echinocacti*, в качестве эталона был использован препарат Танрек ВК, ВРК –

инсектицид из класса неоникотиноидов. Контролем служили сегменты опунции, обработанные водой. Биологическую эффективность препаратов на личиночных стадиях *D. echinocacti* рассчитывали по формуле Хендерсона и Тилтона [40]. Подсчет особей *D. echinocacti* проводился до обработки, далее после обработки ДНК-инсектицидом (5'-ATCGCTGCGGA-3') с нормой применения 1,0 г на 10,0 л H<sub>2</sub>O сегментов и препаратом Танрек ВК, ВРК с нормой применения – 8,0 г на 10,0 л H<sub>2</sub>O (расход рабочей жидкости составил 10,0 л на 100,0 м<sup>2</sup>). Подсчет гибели особей кактусовой щитовки проводился на 3-й, 7-й и 14-й сутки. Подсчитывали количество сформировавшихся взрослых особей *D. echinocacti* на растении, в частности, брали контроль (обработанный водой сегмент), опыт 1 – препарат Танрек ВК, ВРК, опыт 2 – препарат «Cactus-NBG».



Растение в природном ареале  
Plant in natural habitat

Рисунок 1. Габитус *O. ficus-indica*

Figure 1. *O. ficus-indica* habit

В качестве лекарственного сырья используют сегменты, плоды и семена опунции, в которых содержатся альбумины, алкалоиды, природный антибиотик, гормоны, красители, ферменты, жирные кислоты; железо, цинк, магний, калий, кальций, натрий, фосфор, медь. Опунцию используют при лечении сахарного диабета, при болезнях дыхательной системы, болезнях кожи (язвы и порезы), ревматизме, радикулите, подагре, болезнях сердечно-сосудистой системы, при цистите и уретрите. Запрещено применять растительное сырье при хроническом геморрое и остром цистите. Вредны гложидии, которые вызывают зуд и дискомфорт, а вследствие этого отек и воспаление кожи.

В условиях оранжереи *D. echinocacti* является доминирующим вредителем. Развивается фитофаг в 4-х поколениях, которые наслаиваются друг на друга. Тело личинки стекловидное, не правильной формы, в виде овала; молодая самка покрыта щитком. Щиток самки выпуклый, белого цвета, состоящий из 2-х личиночных шкур (рис. 2).

В результате проведенного эксперимента нами была установлена инсектицидная активность ДНК-препарата на *D. echinocacti*. Обработка препаратами проводилась по личинкам первого и второго возрастов

Таксономическое положение вида рода *Opuntia* приведено по общепринятой системе «The Plant List» [41] и IPNI [42]. Ареал и общая характеристика *O. ficus-indica* указаны согласно Ф. Вухаум [43]. Статистическая обработка данных проведена с помощью компьютерной программы «STATISTICA 13.0» [44].

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Опунция индийская фи́га, колючая груша; или опунция инжирная** – это одревесневающее растение, высотой около 3,0 м, сегменты зелёного цвета от продолговатой до овальной формы, с расположенными на них – колючками и ареолами. Цветки оранжевого или красного цвета. Плоды красного цвета с жёлтым оттенком; семена жёлтого цвета (рис. 1).



Растение в оранжерее Никитского ботанического сада  
Plant in the greenhouse of Nikitsky Botanical Garden

на различных сегментах опунции (рис. 3). Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

К данным опыта введена поправка по формуле Хендерсона и Тилтона [40]:

$$\mathcal{E} = 100 \times (1 - O_n K_d / O_d K_n),$$

где  $\mathcal{E}$  – биологическая эффективность, выраженная в процентах снижения численности вредителя с поправкой на контроль;

$O_d$  – число живых особей перед обработкой в опыте;

$O_n$  – число живых особей после обработки в опыте;

$K_d$  – число живых особей в контроле в предварительном учете;

$K_n$  – число живых особей в контроле в последующие учеты.

Исходя из таблицы 1 видно, что перед обработкой количество личинок *D. echinocacti* составляло 400 особей на 1,0 см<sup>2</sup>; и во всех опытных вариантах. Численность живых личинок в контроле на 3-й и 7-е сут. составила 369 особ. на 1,0 см<sup>2</sup>; на 7-е сут. – 367 особ.; на 14-е сут. – 355 особ. Установлено, что после применения препарата Cactus-NBG, численность личинок данного вредителя составляла на 3-й сут. 227 особ. на 1,0 см<sup>2</sup>, на 7-е сут. – 188 особ. и на 14-е сут. – 63 особ. Биологическая эффективность составила – 82,0%.



**Рисунок 2.** Внешний вид особей *D. echinocacti* паразитирующих на сегменте *O. ficus-indica*  
**Figure 2.** The appearance of *D. echinocacti* larvae on a segment of *O. ficus-indica*



**Колония личинок *D. echinocacti* (контроль)**  
 Colony of *D. echinocacti* larvae (control)



**14-е сут. после обработки ДНК-инсектицидом («Cactus-NBG»)**  
 14<sup>th</sup> day after treatment with DNA insecticide ("Cactus-NBG")



**14-е сут. после обработки химическим препаратом «Танрек»**  
 14<sup>th</sup> day after treatment with chemical preparation "Tanrek"

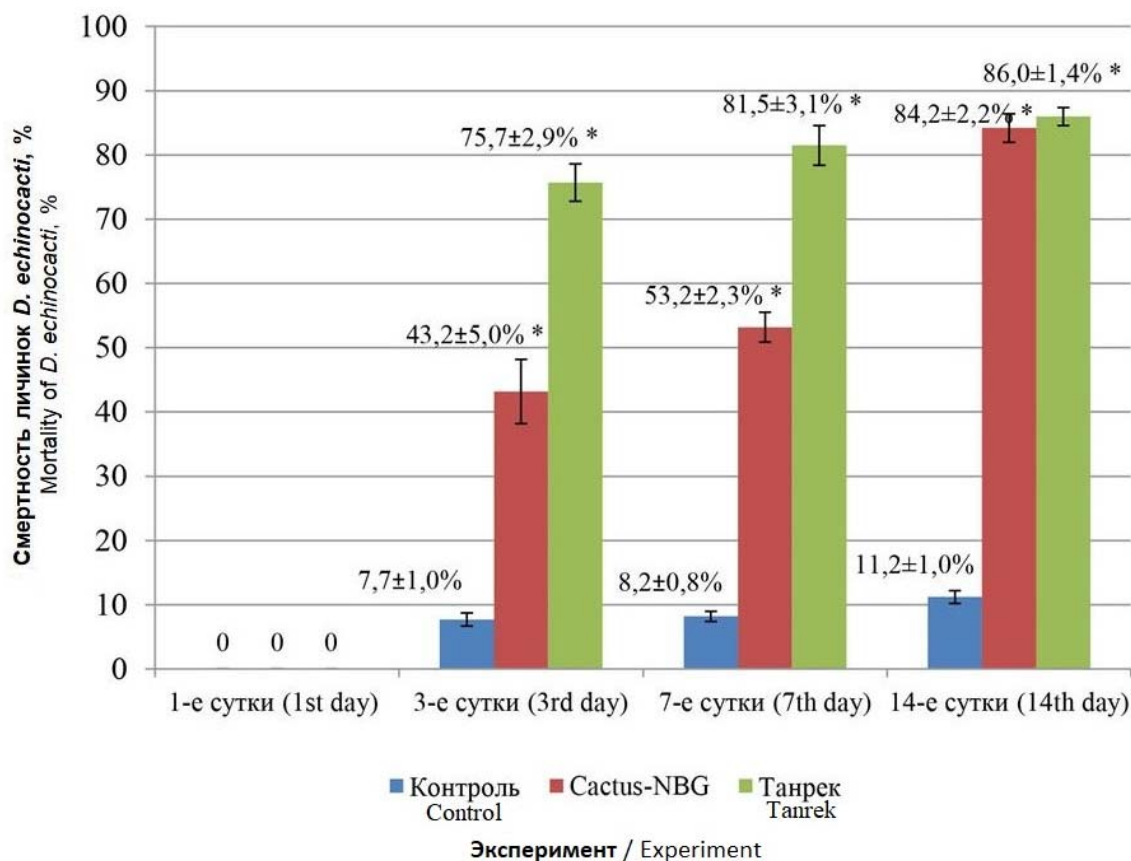
**Рисунок 3.** *D. echinocacti* на сегментах *O. ficus-indica*  
**Figure 3.** *D. echinocacti* on *O. ficus-indica* segments

**Таблица 1** Динамика смертности кактусовой щитовки, обнаруженной на *O. ficus-indica***Table 1.** Dynamics of mortality of the cactus scale found on *O. ficus-indica*

| Вариант опыта<br>Experiment variant     | Норма применения<br>Application rate | Количество живых личинок на см <sup>2</sup> (шт.)<br>Number of live larvae per cm <sup>2</sup> (pieces) |                                                        |                                                        |                                                          | Биологическая эффективность, %<br>Biological effectiveness, % |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                                         |                                      | До обработки<br>Before treatment                                                                        | На 3-е сутки после обработки<br>3 days after treatment | На 7-е сутки после обработки<br>7 days after treatment | На 14-е сутки после обработки<br>14 days after treatment |                                                               |
| <b>Cactus-NBG</b><br>Cactus-NBG         | 1,0 г/10,0 л                         | 400                                                                                                     | 227                                                    | Cactus-NBG<br>Cactus-NBG                               | 1,0 г / 10,0 л                                           | 400                                                           |
| <b>Танрек ВК, ВРК</b><br>Tanrek VK, VRK | 8,0 г/10,0 л                         | 400                                                                                                     | 97                                                     | Танрек ВК, ВРК<br>Tanrek VK, VRK                       | 8,0 г/10,0 л                                             | 400                                                           |
| <b>Контроль</b><br>Control              | –                                    | 400                                                                                                     | 369                                                    | Контроль<br>Control                                    | –                                                        | 400                                                           |

В варианте с препаратом Танрек ВК, ВРК количество живых личинок *D. echinocacti* уже на 3-и сут. составляло 97 особ. на 1,0 см<sup>2</sup>, на 7-е сут. 74 особ. и на 14-е сут. – 56 особ., соответственно. Биологическая эффективность в данном случае составила – 84,0%.

Установлено, что действие препаратов Cactus-NBG и Танрек ВК, ВРК показали действительно положительный результат уже на 3-и сут., о чем свидетельствует уменьшение численности личинок *D. echinocacti* в сравнении с контролем (рис. 4).



**Рисунок 4.** Динамика смертности кактусовой щитовки обнаруженной на *O. ficus-indica* («Cactus-NBG» – ДНК-инсектицид и «Танрек ВК, ВРК» – химический препарат); на графике представлены средние и ошибки средних; \* – при  $p < 0,05$

**Figure 4.** Dynamics of mortality of the cactus scale found on *O. ficus-indica* ("Cactus-NBG" – DNA insecticide and "Tanrek VK, VRK" – chemical preparation); graph shows the means and errors of the means; \* is marked when  $p < 0.05$

Выявлено, что обработка инновационным ДНК-инсектицидом «Cactus-NBG», разработанным для уничтожения особей *D. echinocacti* показала

положительный результат. % гибели личинок после обработки постепенно увеличивался и на 3-и сут. составил 43,2±5,0%, на 7-е сут. – 53,2±2,3%, на 14-е сут. –

84,2±2,2% (см. рис. 4). Обработка *O. ficus-indica* препаратом «Танрек ВК, ВРК» также показала положительный результат. На 3-и сут. после обработки, гибель составила 75,7±2,9%, на 7-е сут. – 81,5±3,1% и на 14-е сут. – 86,0±1,4%. Численность погибших личинок в контроле составила на 3-и сут. 7,75±1,0%, на 7-е сут. – 8,25±0,8%, на 14-е сут. – 11,25±1,0%.

Таким образом, инновационный препарат «Cactus-NBG», основанный на антисмысловом фрагменте генома *D. echinocacti*, вызывал гибель фитофага в течение 2-х недель после его применения и может составить конкуренцию современным не избирательно действующим химическим препаратам.

Исходя из полученных результатов, планируется проведение серии экспериментов с целью разработки новых, более эффективных инновационных ДНК-инсектицидов в защите видов кактусов от щитовок и сохранения биоразнообразия, представленного в оранжерее Никитского ботанического сада

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В коллекции Никитского ботанического сада представлен уникальный вид семейства Cactaceae – *O. ficus-indica*, растительное сырье которого содержит комплекс биологически активных веществ, обладающих широким спектром действия на человеческий организм, что подтверждает действительную значимость данного вида растения; растение широко используется в декоративном садоводстве на родине. В связи с этим опунция представляет большую ценность и достаточно глубоко изучается в ботанических учреждениях мира, а ее сохранение является первостепенной задачей коллекции.

В результате обработки *O. ficus-indica* инновационным ДНК-инсектицидом «Cactus-NBG» против *D. echinocacti*, препарат проявил значительное инсектицидное действие на фитофага. На 14-е сут. после обработки ДНК-инсектицидом гибель *D. echinocacti* составляла 84,2±2,2%, в эталоне («Танрек») – 86,0±1,4%, а в контроле – 11,2±1,2%. Биологическая эффективность препарата «Cactus-NBG» на четырнадцатый день составила 82,0%. Таким образом, планируется расширение экспериментов с применением экологически безопасных ДНК-инсектицидов с охватом большого количества щитовок с целью сохранения растительного биоразнообразия, представленного в оранжерейном комплексе Никитского ботанического сада.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Андерсон М. Кактусы и суккуленты. Классификация и описание кактусов: иллюстрированная энциклопедия. Москва: Наука, 2002. 264 с.
- Буренков А. Кактусы в гостях и дома. Киев: Феникс, 2007. 472 с.
- Багрикова Н.А., Чичканова Е.С. Роль ботанических садов в сохранении представителей семейства Cactaceae Juss. // Материалы международной научно-практической конференции «Редкие виды живых организмов: проблемы, перспективы и уровни охраны», Тамбов, 17 ноября, 2017. С. 828-832. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-828-832

- Гайдаржи М.М. Суккулентні рослини: анатомо-морфологічні особливості, поширення й використання. Київ: Київський університет, 2011. 175 с.
- Чичканова Е.С., Багрикова Н.А., Гончарова О.И., Науменко Т.С. Лекарственные суккулентные растения в оранжерее Никитского ботанического сада // Овощи России. 2019. N 2. С. 53-57. DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-53-57.
- Anderson E.F. The cactus family. Oregon: Portland, Timber Press, 2001. 777 p.
- Backeberg C. Das Kakteenlexikon. Enumeratio diagnostic Cactacearum. Jena, "Magnus Poser", 1976. 589 p.
- Britton N.L., Rose J.N. The Cactaceae Juss.: descriptions and illustrations of plants of the Cactus family. Washington, Timber Press, 1919. 256 p.
- Гольцберг И.А. Мировой агро-климатический справочник. Ленинград: Наука, 1972. 115 с.
- Гумбольт А. География растений. Москва, Ленинград: Сельхозгиз, 1936. 239 с.
- Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Ленинград: Наука, 1978. 247 с.
- Sajeva M., Costanzo M. Succulents The Illustrated Dictionary. Oregon: Timber Press, 1997. 240 p.
- Nobel P.S. Cacti University of California. London: University of California Press, 2002. 280 p.
- Багрикова Н.А., Рыфф Л.Э. Инвазионный вид *Opuntia lindheimeri* Engelm. в Южном Крыму // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2014. Т. 139. С. 47-66.
- Багрикова Н.А., Рыфф Л.Э. О натурализации представителей рода *Opuntia* Mill. на территории Крымского полуострова // Матер. міжнарод. наук. конф. "VI ботанічні читання пам'яті Й.К. Пачоського", Херсон, 19-22 мая, 2014. С. 19-21.
- Анисимова А.И. Итоги интродукции древесных растений в Никитском ботаническом саду за 30 лет (1926-1955) // Труды Всесоюз. ордена Ленина акад. с. х. наук им. В.И. Ленина. Гос. Никитский ботан. сад. Ялта: Никитский ботанический сад, 1957. 239 с.
- Интродукция и селекция декоративных растений в Никитском ботаническом саду (современное состояние, перспективы развития и применение в ландшафтной архитектуре) / под общ. ред. Ю.В. Плугатаря. Ялта: ГБУ РК "НБС-ННЦ", 2015. 435 с.
- Чичканова Е.С., Багрикова Н.А., Коротков О.И., Гончарова О.И. Таксономический состав коллекционных фондов суккулентных растений в некоторых ботанических садах и научных учреждениях СНГ // Сборник научных трудов ГНБС. 2018. Т. 148. С. 167-169.
- Белоусова О.В. Интродукция видов рода *Opuntia* Mill. в Никитском ботаническом саду (Крым, Украина) // Суккуленты/Succulents bilingual. 1998. N 1. С. 8-10.
- Губанова Т.Б., Белоусова О.В. Физиологические аспекты морозоустойчивости видов рода *Opuntia* Mill. // Вісті біосферного заповідника "Асканія-Нова". 2003. N 5. С. 104-109.
- Губанова Т.Б. Аспекты низкотемпературной адаптации стеблевых и листовых суккулентов // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. 2007. Вып. 20. N 3. С. 24-31.
- Губанова Т.Б. Сравнительная характеристика низкотемпературной устойчивости стеблевых и листовых суккулентов // Сборник научных трудов ГНБС. 2008. N 129. С. 22-36.

23. Губанова Т.Б. Влияние температурного фактора на зимостойкость суккулентов в условиях Южного берега Крыма // Вісті Біосферного заповідника "Асканія-Нова". 2012. N 14. С. 63-67.
24. Багрикова Н.А., Бондарева Л.В., Рыфф Л.Э. Особенности распространения *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. на территории г. Севастополя // Сборник научных трудов ГНБС. 2014. Т. 139. С. 32-46.
25. Белоусова О.В., Багрикова Н.А. Натурализация *Opuntia* (Tournef.) Mill. в Центральном Южном берегу Крыма // Интродукция растений. 1999. N 3-4. С. 33-37.
26. Degano C., Alonso M.E., Ochoa J., Catan A. Seed characterization and scanning electron microscope (SEM) morphology of the testa of three groups of Argentine *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae) // J. PACD. 1997. P. 103-113.
27. Habibi Y., Heux L., Mahrouz M., Vignon M.R. Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits // Carbohydrate polymers Journal. 2008. V. 72. N 1. P. 102-112. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.07.032
28. Samah S., Valadez-Moctezuma E., Ventura-Zapata E. Morphological seed differentiation between cultivars of xocnostles and tunas (*Opuntia* spp.) // Acta Hort. 2015. V. 1067. N 45. DOI: 10.17660/Acta Hort.2015.1067.49
29. Verloove F., Pascual M.S. New records of Cactaceae from Gran Canaria (Canary, Islands, Spain) // Haseltonia. 2017. N 23. P. 79-91. DOI: 10.2985/026.023.0111
30. Verloove F., Rodriguez A.M., Salas-Pascual M., Guiggi A. New Cactus records from Gran Canaria with a key to the *Opuntioideae* species now established in the Canary Islands (Spain) // Haseltonia. 2018. V. 2018. N 25. P. 115-124. DOI: 10.11646/zootaxa.4674.5.5
31. Вадзюк В.Н. Обзор вредной фауны древесных, кустарниковых и цветочных декоративных насаждений Черноморского побережья Западной Грузии // Труды Сухумского ботанического сада. 1955. Вып. 8. С. 387-396.
32. Козаржевская Э.Ф. Вредители декоративных растений. Щитовки, ложнощитовки, червецы. Москва: Наука, 1992. 358 с.
33. Оберемок В.В., Лайкова Е.В., Зайцев А.С., Ницдар П.М., Гушин В.А., Макаров В.В., Шумских М.Н., Талипова Н.Р., Гальчинский Н.В., Гниненко Ю.И. Создание ДНК-инсектицидов – новое направление в защите растений // Защита и карантин растений. 2016. N 11. С. 14-16.
34. Gal'chinsky N., Useinov R., Yatskova E., Laikova K., Novikov I., Gorlov M., Trikoz N., Sharmagiy A., Plugatar Yu., Oberemok V.A. breakthrough in the efficiency of contact DNA insecticides: rapid high mortality rates in the sap-sucking insects *Dynaspidiotus britannicus* Comstock and *Unaspis euonymi* Newstead // Journal of Plant Protection Research. 2020. V. 60. Iss. 2. P. 220-223. DOI: 10.24425/jppr.2020.133315
35. Оберемок В.В. Экологические основы контроля численности листогрызущих насекомых с применением ДНК-инсектицидов. Автореф. дис. на соискание ученой степени доктора биологических наук. Ялта, 2019. 50 с.
36. Oberemok V.V., Laikova K.V., Useinov R.Z., Gal'chinsky N.V., Novikov I.A., Yurchenko K.A., Volkov M.E., Gorlov M.V., Brailko V.A., Plugatar Yu.V. Insecticidal activity of three 10-12 nucleotides long antisense sequences from 5.8 S ribosomal RNA gene of gypsy moth *Lymantria dispar* L. against its larvae // Journal of Plant Protection Research. 2019. V. 59. N 4. P. 561-564.
37. Долженко В.И., Лаптев А.Б., Буркова Л.А., Долженко О.В., Кунгурцева О.В., Гришечкина Л.Д., Ишкова Т.И., Маханькова Т.А., Голубев А.С., Черменская Т.Д., Яковлев А.А., Довгилевич А.В., Касатов И.С., Кручина С.Н., Орехов Д.А., Ракитский В.Н., Синицкая Т.А., Федорова Н.Е., Закладной Г.А., Шаповал О.А. и др. Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности / Под общ. ред. академика РАН В.И. Долженко, академика РАН В.Н. Ракитского. Москва: Минсельхоз России, 2018. 56 с.
38. Борхсениус Н.С. Карантинные и близкие к ним виды кокцид (Coccidae) СССР (под ред. проф. Ф.А. Зайцева). Тбилиси: Госиздат, 1937. С. 120-126.
39. Борхсениус Н.С. Практический определитель кокцид культурных растений и лесных пород СССР. Москва: Академии наук, 1963. 277 с.
40. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве / под ред. член-корр. Россельхозакадемии В.И. Долженко. Санкт-Петербург, 2009. С. 29-30.
41. The Plant List. 2013. URL: <http://www.theplantlist.org/> (дата обращения: 15.02.2019)
42. IPNI: The International Plant Names Index. 2019. URL: <http://www.ipni.org> (дата обращения: 12.02.2019)
43. Buxbaum F. Morphology of cacti. Section III. Fruits and seeds. Pasadena: Abbey Garden Pasadena, 1953. 401 p.
44. Боровиков В.П. "Statistica13.0": Искусство анализа данных на компьютере. СПб: Питер, 2003. 688 с.

#### REFERENCES

1. Anderson M. *Kaktusy i sukkulenty. Klassifikatsiya i opisaniye kaktusov: illyustrirovannaya entsiklopediya* [Cacti and Succulents. Classification and description of cacti: an illustrated encyclopedia]. Moscow, Nauka Publ., 2002, 264 p. (In Russian)
2. Burenkov A. *Kaktusy v gostyakhidoma* [Cacti at a party and at home]. Kiev, Pheniks Publ., 2007, 472 p. (In Russian)
3. Bagrikova N.A., Chichkanova E.S. Rol' botanicheskikh sadov v sokhraneniі predstavitelei semeistva Cactaceae Juss. [The role of botanical gardens in preserving the representatives of the Cactaceae Juss family] *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Redkie vidy zhivyykh organizmov: problemy, perspektivy i urovni okhrany"*, Tambov, 17 noyabrya, 2017 [Materials of the international scientific-practical conference "Rare species of living organisms: problems, prospects and protection levels", Tambov, 17 November 2017]. Tambov, 2017, pp. 828-832. (In Russian) DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-828-832
4. Gaidarzhi M.M. *Sukulentni roslini: anatomo-morfologichni osoblivosti, poshirenniya i vikoristannya* [Succulent plants: anatomical and morphological features, distribution and use]. Kiev, Kyiv University Publ., 2011, 175 p. (In Ukrainian)
5. Chichkanova E.S., Bagrikova N.A., Goncharova O.I., Naumenko T.S. Medicinal succulent plants in the greenhouse of the Nikitsky Botanical Garden. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia]. 2019, no. 2, pp. 53-57. (In Russian) DOI: 10.18619/2072-9146-2019-2-53-57
6. Anderson E.F. The cactus family. Oregon, Portland, Timber Press., 2001, 777 p.
7. Backeberg C. Das Kakteenlexicon. Enumeratio diagnostic Cactacearum. Jena, "Magnus Poser", 1976, 589 p.

8. Britton N.L., Rose J.N. The Cactaceae Juss.: descriptions and illustrations of plants of the Cactus family. Washington, Timber Press, 1919, 256 p.
9. Goltsberg I.A. *Mirovoi agro-klimaticheskii spravochnik* [World agro-climatic directory]. Leningrad, Nauka Publ., 1972, 115 p. (In Russian)
10. Gumbolt A. *Geografiya rastenii* [Geography of plants]. Moscow, Leningrad, Selkhozgiz Publ., 1936, 239 p. (In Russian)
11. Takhtadzhyan A.L. *Floristicheskie oblasti Zemli* [Floristic areas of the Earth]. Leningrad, Nauka Publ., 1978, 247 p. (In Russian)
12. Sajeve M., Costanzo M. Succulents The Illustrated Dictionary. Oregon, Timber Press, 1997, 240 p.
13. Nobel P.S. Cacti University of California. London, University of California Press, 2002, 280 p.
14. Bagrikova N.A., Ryff L.E. Invasive species *Opuntia lindheimeri* Engelm. in Southern Crimea. In: *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden]. 2014, vol. 139, pp. 47-66. (In Russian)
15. Bagrikova N.A., Ryff L.E. O naturalizatsii predstavitelei roda *Opuntia* Mill. na territorii Krymskogo poluostrova [On the naturalization of representatives of the genus *Opuntia* Mill. on the territory of the Crimean peninsula]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "VI botanichni chitannya pam'yati I.K. Pachos'kogo"*, Kherson, 19-22 maya, [Material international community. sciences. conf "VI botanical reading of the memory of Y.K. Pachoskogo", Kherson, 19-22 May 2014]. Kherson, 2014, pp. 19-21. (In Ukrainian)
16. Anisimova A.I. Itogi introduktsii drevesnykh rastenii v Nikitskom botanicheskom sadu za 30 let (1926-1955) [Results of the introduction of woody plants in the Nikitsky Botanical Garden for 30 years (1926-1955)]. *Trudy Vsesoyuznogo ordena Lenina akademika sel'skokhozyaistvennykh nauk imeni V.I. Lenina, Yalta, 1957* [Proceedings of the All-Union Order of Lenin, Academician of Agricultural Sciences named after V.I. Lenin, Yalta, 1957]. Yalta, Nikitsky Botanical Garden Publ., 1957, 239 p. (In Russian)
17. Plugatar Yu.V., ed. *Introduktsiya i selektsiya dekorativnykh rastenii v Nikitskom botanicheskom sadu (sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya i primeneniye v landshaftnoi arkhitekture)* [Introduction and selection of ornamental plants in the Nikitsky Botanical Garden (current status, development prospects and application in landscape architecture)]. Yalta, GBU RK "NBS-NSC" Publ., 2015, 435 p. (In Russian)
18. Chichkanova E.S., Bagrikova N.A., Korotkov O.I., Goncharova O.I. Taxonomic composition of collection funds of succulent plants in some botanical gardens and scientific institutions of the CIS. In: *Sbornik nauchnykh trudov GNBS* [Collection of scientific works of the GNBS]. 2018, vol. 148, pp. 167-169. (In Russian)
19. Belousova O.V. Introduction of species of the genus *Opuntia* Mill. in the Nikitsky Botanical Garden (Crimea, Ukraine). *Sukkulenty. Succulents bilingual* [Succulents. Succulents bilingual]. 1998, no. 1, pp. 8-10. (In Russian)
20. Gubanov T.B., Belousova O.V. Physiological aspects of frost resistance of species of the genus *Opuntia* Mill. Vistibiosferonogozapovidnika "Askaniya-Nova" [News of the Askania-Nova Biosphere Reserve]. 2003, no. 5, pp. 104-109. (In Russian)
21. Gubanov T.B. Aspects of low-temperature adaptation of stem and leaf succulents. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo* [Scientific notes of the Tavrichesky National University named after V.I. Vernadsky]. 2007, vol. 20, no. 3, pp. 24-31. (In Russian)
22. Gubanov T.B. Comparative characteristic of low-temperature stability of stem and leaf succulents. In: *Sbornik nauchnykh trudov GNBS* [Collection of scientific works of GNSS]. 2008, no. 129, pp. 22-36. (In Russian)
23. Gubanov T.B. Influence of temperature factor on winter hardiness of succulents in the conditions of the Southern coast of Crimea. *Visti Biosfernogo zapovidnika "Askaniya-Nova"* [News of the Askania-Nova Biosphere Reserve]. 2012, no. 14, pp. 63-67. (In Russian)
24. Bagrikova N.A., Bondareva L.V., Ryff L.E. Features of the distribution of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in the city of Sevastopol. In: *Sbornik nauchnykh trudov GNBS* [Collection of scientific works of the GNSS]. 2014, vol. 139, pp. 32-46. (In Russian)
25. Belousova O.V., Bagrikova N.A. Naturalization of *Opuntia* (Tournef.) Mill. in the Central South Coast of Crimea. *Introduktsiya roslin* [Introduction plants]. 1999, no. 3-4, pp. 33-37. (In Russian)
26. Degano C., Alonso M. E., Ochoa J., Catan A. Seed characterization and scanning electron microscope (SEM) morphology of the testa of three groups of Argentine *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae). *J. PACD*. 1997, pp. 103-113.
27. Habibi Y., Heux L., Mahrouz M., Vignon M. R. Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate polymers Journal*, 2008, vol. 72, no. 1, pp. 102-112. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.07.032
28. Samah S., Valadez-Moctezuma E., Ventura-Zapata E. Morphological seed differentiation between cultivars of xocnostles and tunas (*Opuntia* spp.). *Acta Horti*, 2015, vol. 1067, no. 45, pp. 1027-1044. DOI: 10.17660/Acta Horti.2015.1067.49
29. Verloove F., Pascual M. S. New records of Cactaceae from Gran Canaria (Canary, islands, Spain). *Haseltonia*, 2017, no. 23, pp. 79-91. DOI: 10.2985/026.023.0111
30. Verloove F., Rodriguez A. M., Salas-Pascual M., Guiggi A. New Cactus records from Grain Canaria with a key to the *Opuntioideae* species now established in the Canary Islands (Spain). *Haseltonia*, 2018, vol. 2018, no. 25, pp. 115-124. DOI: 10.11646/zootaxa.4674.5.5
31. Vashadze V.N. Review of the harmful fauna of woody, shrubby and decorative flower stands of the Black Sea coast of Western Georgia. In: *Trudy Sukhumskogo botanicheskogo sada* [Transactions of Sukhumi Botanical Garden]. 1955, vol. 8, pp. 387-396. (In Russian)
32. Kozarzhenskaya E.F. *Vrediteli dekorativnykh rastenii. Shchitovki, lozhnoshchitovki, chervetsy* [Pests of ornamental plants. Scabies, false shields, worms]. Moscow, Nauka Publ., 1992, 358 p. (In Russian)
33. Oberemok V.V., Laikova E.V., Zaitsev A.S., Niadar P.M., Gushchin V.A., Makarov V.V., Shumskikh M.N., Talipova N.R., Galchinsky N.V., Gninenko Yu.I. Creation of DNA insecticides – a new direction in plant protection. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine]. 2016, no. 11, pp. 14-16. (In Russian)
34. Gal'chinsky N., Useinov R., Yatskova E., Laikova K., Novikov I., Gorlov M., Trikoz N., Sharmagiy A., Plugatar Yu., Oberemok V.A. breakthrough in the efficiency of contact DNA insecticides: rapid high mortality rates in the sap-

- sucking insects *Dynaspidiotus britannicus* Comstock and *Unaspis euonymi* Newstead. *Journal of Plant Protection Research*, 2020, vol. 60, iss. 2, pp. 220-223. DOI: 10.24425/jppr.2020.133315
35. Oberemok V.V. *Ekologicheskie osnovy kontrolya chislennosti listogryzushchikh nasekomykh s primeneniem DNK-insektitsidov*. Avtoref. dis. na soiskanie uchenoi stepeni doktora biologicheskikh nauk [Ecological basis for controlling the number of leaf-eating insects using DNA insecticides. Abstract. dis. for the degree of Doctor of Biological Sciences]. Yalta, Nikitsky Botanical Garden, 2019, 50 p. (In Russian)
36. Oberemok V.V., Laikova K.V., Useinov R.Z., Gal'chinsky N.V., Novikov I.A., Yurchenko K. A., Volkov M.E., Gorlov M.V., Brailko V.A., Plugatar Yu.V. Insecticidal activity of three 10-12 nucleotides long antisense sequences from 5.8 S ribosomal RNA gene of gypsy moth *Lymantria dispar* L. against its larvae. *Journal of Plant Protection Research*, 2019, vol. 59, no. 4, pp. 561-564.
37. Dolzhenko V.I., Laptiev A.B., Burkova L.A., Dolzhenko O.V., Kungurtseva O.V., Grishechkina L.D., Ishkova T.I., Makhankova T.A., Golubev A.S., Chermenskaya T.D., Yakovlev A.A., Dovgilevich A.V., Kasatov I.S., Kruchina S.N., Orekhov D.A., Rakitsky V.N., Sinitskaya T.A., Fedorova N.E., Mortgage G.A., Shapoval O.A. et al. *Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam pestitsidov v chaste biologicheskoi effektivnosti* [Methodological guidelines for registration tests of pesticides in terms of biological effectiveness]. Moscow, Ministry of Agriculture of Russia Publ., 2018, 56 p. (In Russian)
38. Borchsenius N.S. *Karantinnye i blizkie k nim vidy koktsid (Coccidae) SSSR* [Quarantine and close species of coccid (Coccidae) of the USSR]. Tbilisi, Gosizdat Publ., 1937, pp. 120-126. (In Russian)
39. Borchsenius N.S. *Prakticheskii opredelitel' koktsid kul'turnykh rastenii lesnykh porod SSSR* [A practical guide to coccidum of cultivated plants and forest species of the USSR]. Moscow, Academy of Sciences Publ., 1963, 150 p. (In Russian)
40. *Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam insektitsidov, akaritsidov, molluskotsidov i rodentsidov v sel'skom khozyaistve*. [Methodological guidelines for registration tests of insecticides, acaricides, molluskocides and rodenticides in agriculture]. Saint Petersburg, 2009, pp. 29-30. (In Russian)
41. The Plant List. 2013. Available at: <http://www.theplantlist.org/> (accessed 15.02.2019)
42. IPNI: The International Plant Names Index. 2019. Available at: <http://www.ipni.org> (accessed 12.02.2019)
43. Buxbaum F. *Morphology of cacti. Section III. Fruits and seeds* [Morphology of cacti. Section III. Fruits and seeds]. Pasadena, Abbey Garden Pasadena, 1953, 401 p.
44. Borovikov V.P. *"Statistica 13.0": Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere* ["Statistica 13.0": The art of analyzing on a computer]. St. Petersburg, Piter Publ., 2003, 688 p. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Юрий В. Плугатарь проанализировал данные, написал рукопись. Е.С. Чичканова проанализировала данные, написала рукопись, внесла редакторские правки, оформила статью. Владимир В. Оберемок разработал ДНК-инсектицид, на основе которого проведены исследования, проанализировал данные, написал рукопись, внес редакторские правки, оформил статью. Екатерина В. Яцкова провела эксперимент. Александр К. Шармагий помог провести эксперимент, проанализировать данные. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yurii V. Plugatar, Elena S. Chichkanova, Vladimir V. Oberemok analysed the data and wrote the manuscript. Elena S. Chichkanova and Vladimir V. Oberemok made editorial changes to the article. Vladimir V. Oberemok developed the DNA insecticide "Cactus-NBG" used for investigations. Ekaterina V. Yatskova conducted the experiment. Alexander K. Sharmagii helped conduct the experiment and analysed the data. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Юрий В. Плугатарь / Yurii V. Plugatar <http://orcid.org/0000-0001-5262-8957>  
 Елена С. Чичканова / Elena S. Chichkanova <http://orcid.org/0000-0002-8930-8022>  
 Екатерина В. Яцкова / Ekaterina V. Yatskova <http://orcid.org/0000-0002-0620-9724>  
 Александр К. Шармагий / Alexandr K. Sharmagii <http://orcid.org/0000-0003-0418-1980>  
 Владимир В. Оберемок / Vladimir V. Oberemok <http://orcid.org/0000-0001-7472-2389>

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.45:938.6

DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-129-136

## Флористические районы Самурско-Чирахчайского междуречья и Джуфудага (Южный Дагестан) по анализу видового состава петрофитов

Гисамудин А. Юсуфов<sup>1</sup>, Абдулгамид А. Теймуров<sup>2</sup>, Зарема И. Солтанмурадова<sup>2</sup>,  
Булул Н. Сайпулаева<sup>3</sup>, Константин В. Борцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Горный ботанический сад Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия

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

<sup>3</sup>Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия

### Контактное лицо

Абдулгамид А. Теймуров, кандидат биологических наук, доцент, заместитель директора, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета; 367000, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.

Тел. +79882047311

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

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1832-7864>

### Формат цитирования

Юсуфов Г.А., Теймуров А.А., Солтанмурадова З.И., Сайпулаева Б.Н., Борцов К.В. Флористические районы Самурско-Чирахчайского междуречья и Джуфудага (Южный Дагестан) по анализу видового состава петрофитов // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16, N 2. С. 129-136. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-129-136

Получена 18 ноября 2020 г.

Прошла рецензирование 21 декабря 2020 г.

Принята 19 января 2021 г.

### Резюме

**Цель.** Проведение флористического районирования Самурско-Чирахчайского междуречья и Джуфудага по анализу видового состава петрофильных комплексов.

**Материал и методы.** Список облигатных петрофитов составлен по результатам обработки собственных полевых сборов авторов и с учетом сведений из флористических сводок и определителей. Оценка сходства видового состава петрофитов районов выполнена по коэффициентам Жаккара ( $K_j$ ) и Серенсена-Чекановского ( $K_{sc}$ ).

**Результаты.** Выполнено оригинальное расчленение исследуемой горной территории на 7 флористических районов, основанное на сравнении флористических списков и наличии эндемичных видов.

**Заключение.** Выраженная у петрофитов склонность к обособлению видовых форм, обусловленное пространственной изоляцией в связи со спецификой местообитаний, позволяет достаточно точно проводить границы, соответствующие естественным рубежам дифференциации флор.

### Ключевые слова

Дагестан, петрофиты, эндемичные виды, флористические районы, флорогенез.

# Floristic regions of the Samur-Chirakhchay interfluvium and Dzhufudag (Southern Dagestan) according to analysis of petrophyte species composition

Gisamudin A. Yusufov<sup>1</sup>, Abdulgamid A. Teymurov<sup>2</sup>, Zarema I. Soltanmuradova<sup>2</sup>,  
Bulul N. Saypulaeva<sup>3</sup> and Konstantin V. Bortsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

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

<sup>3</sup>Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia

## Principal contact

Abdulgamid A. Teymurov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor & Deputy Director, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79882047311

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

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1832-7864>

## How to cite this article

Yusufov G.A., Teymurov A.A., Soltanmuradova Z.I., Saypulaeva B.N., Bortsov K.V. Floristic regions of the Samur-Chirakhchay interfluvium and Dzhufudag (Southern Dagestan) according to analysis of petrophyte species composition. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 129-136. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-129-136

Received 18 November 2020

Revised 21 December 2020

Accepted 19 January 2021

## Abstract

**Aim.** To undertake floristic zoning of the Samur-Chirakhchay interfluvium and Dzhufudag for the analysis of the species composition of petrophytic complexes.

**Material and Methods.** A list of obligate petrophytes was compiled based on the results of processing the authors' own field collections and taking into account information from floristic reports and determinations. The assessment of similarity of species composition of petrophytes in the regions was carried out using the Jaccard ( $K_j$ ) and Sørensen-Czekanowski ( $K_{sc}$ ) coefficients.

**Results.** A subdivision of the mountain area studied into 7 floristic regions was carried out, based on a comparison of floristic lists and the presence of endemic species.

**Conclusion.** The tendency in petrophytes to isolation of species forms, arising from spatial isolation relating to habitat specificity, makes it possible to quite accurately draw boundaries corresponding to the natural boundaries of differentiation of floras.

## Key Words

Dagestan, petrophytes, endemic species, floristic regions, florogenesis.

**ВВЕДЕНИЕ**

За все время изучения флоры и растительности Кавказа накоплен большой опыт в расчленении его территории на районы по разным показателям. Предпринимались флорогенетические, ботанико-географические, геоботанические и др. расчленения Южного Дагестана в плане общекавказского, северокавказского и дагестанского районирования. Наиболее известны районирования Н.И. Кузнецова [1], А.А. Гроссгейма, Д.И. Сосновского [2], А.А. Гроссгейма [3], Е.В. Шифферс [4], А.Л. Харадзе [5], А.Г. Долуханова [6], Р.И. Гагидзе [7; 8], А.И. Галушко [9]. Оригинальное районирование, основанное на анализе флоры субнивальных высот Восточного Кавказа предложено В.И. Прима [10].

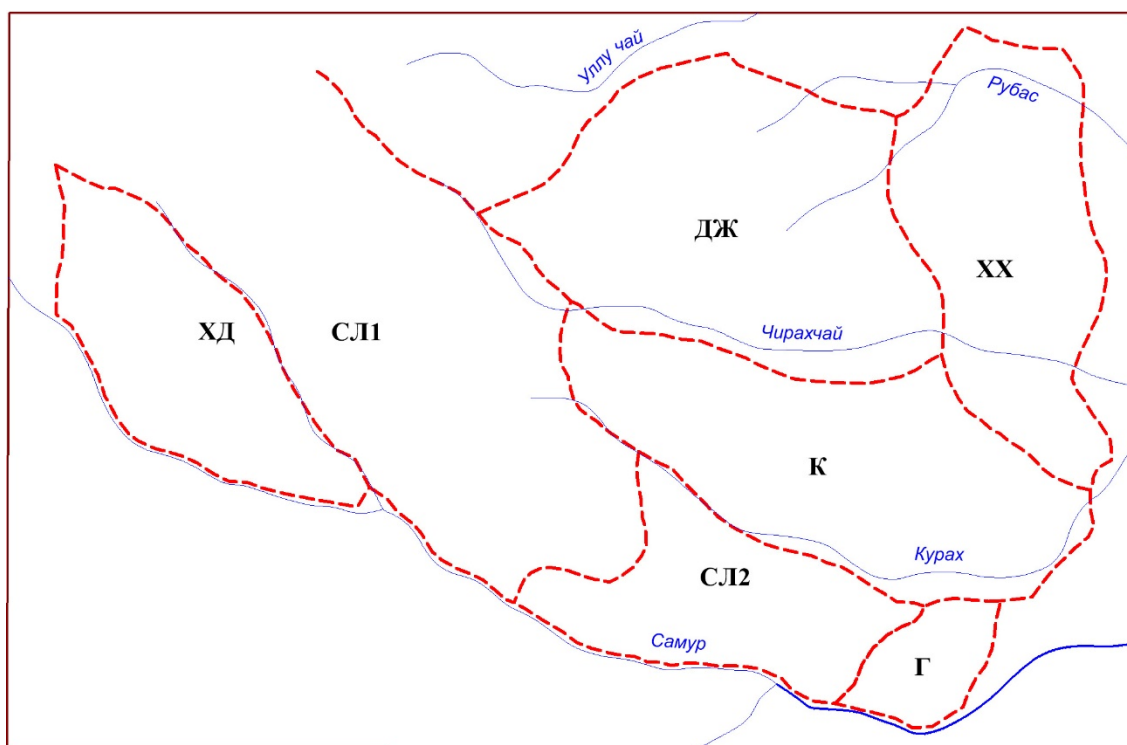
По ботанико-географическому районированию Н.И. Кузнецова [1], хребты Самурский, Хултайдаг и Саладаг относятся к провинции Х.Д., а Джугудатский массив и хребет Колохдаг – С.Д.-К. С этим трудно согласиться, т.к. на Самурском хребте к северо-западу от вершины Ялак (а это более 2/3 хребта) и на большей части, резко воздымающихся над соседними долинами, хребтов Саладаг и Хултайдаг представлен растительный покров типа альпийского разнотравья, перемежающийся с фрагментами растительности пустынного типа и криофильные группировки скально-осыпных, моренных и щебнистых местообитаний. Что касается Джугудатского массива, то лесным является только северо-восточный склон, а верхние горизонты и остальная часть безлесны, если не считать небольшие фрагменты березняков. На хребте Колохдаг леса представлены только в низкорослой юго-восточной половине.

По районированию А.А. Гроссгейма, Д.И. Сосновского [2] и его доработанного варианта А.А.

Гроссгейма [3] высокогорная северо-западная часть Самурского хребта, Хултайдаг и Саладаг отнесены к флористическому району Дагестан, понимая под последним Внутренний Дагестан со своеобразным ксерофильным растительным покровом. Остальная часть Самурского хребта, Джугудатский массив и хребет Колохдаг включены в обширный район Восточный Кавказ. К последнему А.А. Гроссгеймом отнесены также горные районы Чечни и Ингушетии, Внешнегорный Дагестан (включая Приморскую низменность), азербайджанская часть Большого Кавказа (до Апшеронского полуострова). Даже при беглом поверхностном сравнении усматривается сборный характер флористического района Восточный Кавказ (в смысле А.А. Гроссгейма).

В районированиях Е.В. Шифферс, А.Л. Харадзе, А.Г. Долуханова, Р.И. Гагидзе при различиях в подходах и названиях единиц районирования, общее состоит в отнесении высокогорий Самурского хребта с отрогами к одной, а Джугудатского массива и хребта Колохдаг к другой единицам районирования. Последние у разных авторов различны как по рангу, так и по занимаемой площади.

Указанные районирования крупномасштабны. Даже самое детальное из них [9] не показывает подлинную контрастность и оригинальность флор хребтов и изолированных массивов на региональном уровне [11]. Считая каждое из них в общем оправданным для целей соответствующего исследования, мы предлагаем оригинальное расчленение исследуемой территории на 7 флористических районов (рис. 1), основанное на сравнении флористических списков петрофитов исследуемой горной территории.



**Рисунок 1.** Флористические районы петрофитов: ХД – Хултайдагский, СЛ1 – Самурский левобережный 1, СЛ2 – Самурский левобережный 2, К – Курахский, ДЖ – Джугудатский, ХХ – Хучнинско-Хивский, Г – Гестинкильский  
**Figure 1.** Petrophyte floristic regions: ХД – Khultaydag, СЛ1 – Samurskiy left bank 1, СЛ2 – Samurskiy left bank 2, К – Kurakhskiy, ДЖ – Dzhufudatskiy, ХХ – Khuchninsko-Khivskiy, Г – Gestinkilskiy

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованием охвачены петрофильные комплексы на скальных, осыпных, щебнистых, галечниковых и моренных местообитаниях на площади около 5,8 тыс. км<sup>2</sup> горной части Южного Дагестана в системах хребтов Самурского, Колохдаг и Джуфудагского массива с их отрогами.

Предпринимая данное районирование, мы хотели показать то, что по анализу видового состава петрофильных комплексов можно достаточно точно проводить границы, соответствующие естественным рубежам дифференциации флор.

Экспедиционными маршрутами охвачены все части исследованной территории. В ходе маршрутных исследований выделялись временные стационары, от которых предпринимались однодневные радиальные экспедиции.

Список облигатных петрофитов составлен по результатам обработки собственных полевых сборов авторов и с учетом сведений из флористических сводок и определителей. Оценка сходства видового состава петрофитов районов выполнена по коэффициентам Жаккара ( $K_j$ ) и Серенсена-Чекановского ( $K_{sc}$ ).

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важных элементов при флористических районированиях считается наличие эндемичных таксонов. Именно таксоны из категории эндемичных в областях с горным рельефом больше всего отмечается среди петрофитов. Петрофиты – это своеобразная квинтэссенция, обуславливающая оригинальность любой естественноисторической территории. Эндемики нами установлены для всех выделенных нами районов, за исключением Курахского. О том, что это так, свидетельствуют дендрит-схема сходства видового состава флористических районов и цифровой материал в таблице 1 на рис. 2, иллюстрирующие, что в пределах междуречья Самур-Чирахчай и Джуфудага с их отрогами, кроме выделенных районов, можно обозначить 3 естественноисторические территории с другой степенью родства петрофильных флор.

**Хултайдагский район (ХД)** охватывает междуречье рр. Кара-Самур и Ак-Самур. Высотные границы района 1500-3507 м. Наиболее высокие вершины Гак (3507 м), Гунтуца (3442 м), Бечул (3434 м). Основные геоморфологические структуры рельефа (хребты Хултайдаг и Саладаг) сложены нижне- и среднеюрскими сланцами. В отличие от территории других флористических районов, здесь имеется хорошо выдержанный в рельефе лесной пояс. Хребты крутосклонны и отличаются меньшей изрезанностью, чем Самурский. В верхних частях долин хорошо сохранились следы деятельности древних ледников в виде ступенчато расположенных моренных валов. Общее число облигатных петрофитов в Хултайдагском районе составляет 119 видов. В их числе 3 региональных эндема. Эукавказских эндемиков 20, восточно-кавказских – 17, дагестанских и дагестанско-закавказских – 13. Важными реликтами, которые встречаются в этом районе являются *Paenonia mlokozewitschii* Lom., *Primula juliae* Kusn., *Paracaryum laxiflorum* Trautv., *Gentiana lagodechiana* (Kusn.) Grossh. В районе хорошо представлены высокогорные криофилизированные петрофиты кавказского и некавказского корней: *Pseudovesicaria digitata* (C.A.

Mey.) Rupr., *Anthriscus ruprechtii* Boiss., *Silene humilis* C.A. Mey., *Arabis farinacea* Rupr., *Viola minuta* Bieb., *Nepeta brevifolia* C.A.Mey., *Cynoglossum holosericeum* Stev. и много других.

**Самурский левобережный 1 (СЛ1).** К району относится высокогорная часть к северо-западу от вершины Ялак. Северо-западная граница района не устанавливается, поскольку, сведения достаточные для ее проведения в нашем распоряжении отсутствовали. Высотные границы района 1300-3857 м. Здесь много вершин поднимающихся выше 3500. В числе самых высоких Виралю (3857 м), Алахундаг (3844 м), Алахундаг Северный (3801 м). В районе хорошо выражены формы древнегляциального рельефа (троги, кары) и имеет место деградирующее современное оледенение. Малоустойчивые к денудации сланцы нижней и средней юры, которыми сложена эта часть Самурского хребта, подверглись сильному разрушению. Левые притоки Самура глубоко врезаются в пределы хребта, интенсивно расчленив его в поперечном направлении. Флористический список облигатных петрофитов СЛ1 района включает 126 видов, из которых 7 региональных эндемиков, 23 – эукавказских, 17 – восточно-кавказских, 13 – дагестанских и дагестанско-закавказских. Некоторые из петрофитов (*Vavilovia formosa* A.Fed., *Delphinium caucasicum* C.A. Mey., *Ziziphora borzhomica* Juz., *Erysimum babadagense* Prima, *Sedum pilosum* Bieb.) на исследуемой территории обнаружены только в этом районе. Наряду с предыдущим районом, СЛ1 является областью широкого распространения высокогорных криофильных форм.

**Самурский левобережный 2 (СЛ2)** район охватывает более низкогорную часть Самурского хребта юго-восточнее вершины Ялак. Высотные границы 1000-2751 м. Наиболее высокие вершины Гирахиль (2682 м), Борза (2731 м), Текиндаг (2412 м). Среди горообразующих пород доминируют сланцы средней юры. Нижнеюрские отложения представлены в гребневой части хребта. В районе нет современных ледников и отсутствуют следы древнего оледенения. Эта часть Самурского хребта отличается менее разрушенными формами рельефа. Эрозионно-денудационные явления выражены начиная от средней части склонов и до гребня, где и представлены более или менее обширные площади обнаженного рельефа. Всего в СЛ2 районе обнаружено 96 видов, относящихся к разряду облигатных петрофитов. Особенностью флористического состава петрофитов данного района является снижение числа высокогорных петрофитов кавказского корня и видов бореального происхождения и, наоборот, возрастание роли переднеазиатских и средиземноморских ксерофильных элементов. В этом отношении Самурский левобережный 2 район сближается с Курахским. Эукавказских эндемиков в этом районе 15, восточно-кавказских – 6, дагестанских и дагестанско-закавказских – 15. Региональный эндем – *Cladocheta caspica* Sosn.

**Курахский район (К)** включает территорию междуречья Чирахчай – Курах к востоку от меридиана с. Рича до касумкенских предгорий. Высотные границы 1000-2891 м. Орографическая структура района определяется хребтом Колохдаг и его отрогами. Наиболее высокие вершины Карах (2876 м.), Дамабаши (2891 м), Ратран (2562 м). Район сложен средне- и

верхнеюрскими сланцами и песчаниками, а в более высокогорной части на дневную поверхность выходят нижнеюрские сланцы. В северо-западной части представлены ледниковые формы рельефа (вероятно позднеплейстоценовые). Общее число облигатных петрофитов в Курахском районе составляет 98 видов. В целом, как сказано выше, данный район по флористическому составу близок к предыдущему. Но отсутствие таких важных элементов, как *Dianthus orientalis* Adams, *Campanula kolenatiana* Regel, *Stipa caucasica* Schmalh., *Cerastium dagestanicum* Schischk., *Silene solenantha* Trautv. и, наоборот, наличие *Trisetum buschianum* Seregin, *Alliaria brachycarpa* Bieb., *Asperula alpina* Bieb. и ряда других, с криофильной экологией, указывает на своеобразие петрофильной флоры Курахского района. Структура эндемизма района определяется наличием 17 – эукавказских, 9 – восточно-кавказских, 12 – дагестанских и дагестанско-закавказских и 3 региональных эндемиков.

**Джугудатский район (ДЖ)** в геоморфологическом отношении представляет собой систему параллельных хребтов Джугудаг, Карендаг и Хургабек. Высотные границы 1300-3015 м. Наиболее высокие точки Джугудаг (3015 м), Хургабек (2909 м), Фитедаг (2831 м). В пределы района включается территория к северу от р. Чирахчай и горы в верховьях р. Рубас и его левого притока р. Ханагчая. Западная граница проходит по меридиану с. Чираг, северная – по правой стороне р. Уллучай, восточная западнее меридиана с. Хив. У северного и северо-восточного подножия Джугудага хорошо сохранились древнеледниковые (вероятно позднеплейстоценовые) формы рельефа. В высокогорной части на склонах северной и северо-восточной экспозиции иногда сохраняются снежники до конца июня. Для ДЖ характерно большее, по сравнению с другими районами, распространение песчаников. В петрофильной флоре Джугудатского района отмечено 112 видов, из которых 24 – эукавказских, 12 – восточнокавказских, 12 – дагестанских и дагестанско-закавказских эндемиков. Региональным эндемиком является *Asplenium daghestanicum* H. Christ.

**Хучнинско-Хивский район (ХХ).** Геоморфологическое строение и петрографический состав субстратов района определяется наличием известняков (доломитов и мергелей) и куэстовидным рельефом. Высотные границы 800-1799 м. Наиболее высокие вершины Коркуль (1799 м), Гарзигуль (1675 м), Борчекуль (1567 м). Западная граница совпадает с восточной границей Джугудатского и Курахского районов, восточная проходит примерно по 48-му меридиану. Вытянуто-клиновидную форму района ограничивают с севера и юга долины рр. Курах и Рубас. Петрофильные комплексы формируются в основном на западных и юго-западных скалистых обрывах куэст и на крупнокаменистых осыпях у их подножия. В Хучнинско-Хивском районе обнаружено 56 видов облигатных петрофитов. Для района характерны многочисленные полупетрофиты: *Ononis pusila* L., *Convulvulus cantabrica* L. и др., отсутствующие в других районах. Из числа облигатных петрофитов только здесь встречаются *Anthemis marschalliana* Willd., *Anthemis fruticulosa* Bieb., *Psathyrostachys daghestanica* (Alexeenko) Nevski, *Salvia verbascifolia* Bieb.. Региональный эндем *Campanula rubasensis* Teimurov et Taisumov. Эукавказских эндемиков

13, восточно-кавказских – 3, дагестанских и дагестанско-закавказских – 5.

**Гестинкильский район (Г)** занимает юго-восточную оконечность Самурского хребта, вокруг вершины Гестинкиль (2788 м.). Высотные границы 800-2788 м. Здесь единственное место в системе Самурского хребта, где сохранились известняковые породы верхней юры и мела, т.е. геоморфологическая структура района и геологический состав пород сближаются с таковыми Ахты-Кусарских гор, а не остальной части Самурского хребта. Массивная известняковая “шапка” в гребневой части хребта имеет по периметру крутые обрывы, под которыми сформировались обширные крупнокаменистые обвалы и осыпи, имеющие длинные шлейфы вниз по склонам. Несмотря на небольшую площадь, в Гестинкильском районе выявлено 63 вида облигатных петрофитов. Здесь сформировался своеобразный и явно реликтовый флористический комплекс петрофитов, в котором наметились эндемичные расы *Campanula petrophila* Rupr. (количество цветков на одном цветоносе достигает 10 и более), *Kemulariella rosea* (Stev.) Tamamsch. (однокорзинчатая форма с иным соотношением длины волосков внутреннего и наружного круга хохолка). Некоторые отличия показывают популяции *Psephellus hymenolepis* (Trautv.) Boiss. и *Arabis mollis* Stev. Последний вместе с *Veronica petrea* (Bieb.) Stev. на исследуемой территории обнаружены только в Гестинкильском районе. Для данного района характерны 11 – эукавказских, 3 – восточно-кавказских, 9 – дагестанских и дагестанско-закавказских эндемиков.

Коэффициенты сходства флористических списков из табл. 1 вполне рельефно отражают современную картину соотношения петрофильных флор районов. Высокий размах между минимальными и максимальными значениями коэффициентов Жаккара ( $K_j$ ) и Серенсена-Чекановского ( $K_{sc}$ ) свидетельствует о достаточно серьезных различиях в флористических списках. На это указывает и то, что из 193 видов облигатных петрофитов, зарегистрированных на исследуемой территории, только 28 видов общие для всех районов. Это виды в большинстве своем с ареалами, выходящими за пределы Большого Кавказа. Данная группа видов, встречается почти повсеместно на скально-осыпных субстратах в Южном Дагестане и за его пределами.

В табл. 1 выделяются три группы районов с более выраженным внутренним сходством. К первой группе относятся районы ХД и СЛ1, которые имеют наиболее близкие флористические составы петрофитов. Во вторую группу выделяются СЛ1, К, ДЖ, где коэффициенты  $K_j$  и  $K_{sc}$  указывают на большее сходство между ними, чем каждого из них с другими районами. Наконец, третью группу составляют районы ХХ и Г, обладающие достаточно сходными флористическими составами петрофитов. «Мост» между первой и второй группами устанавливается через районы К и Г, а между первой и третьей через районы ДЖ и СЛ2, где соответственно имеют место более высокие коэффициенты сходства среди районов, относящихся к разным группам. Следует отметить подчеркнuto низкие значения коэффициентов сходства СЛ1 и ХД, с одной стороны, и районами ХХ и Г – с другой. Интерес представляет и тот факт, что цифровой материал

таблицы 1 и дендрит-схема на рисунке 2 достаточно убедительно свидетельствуют о различиях режимов

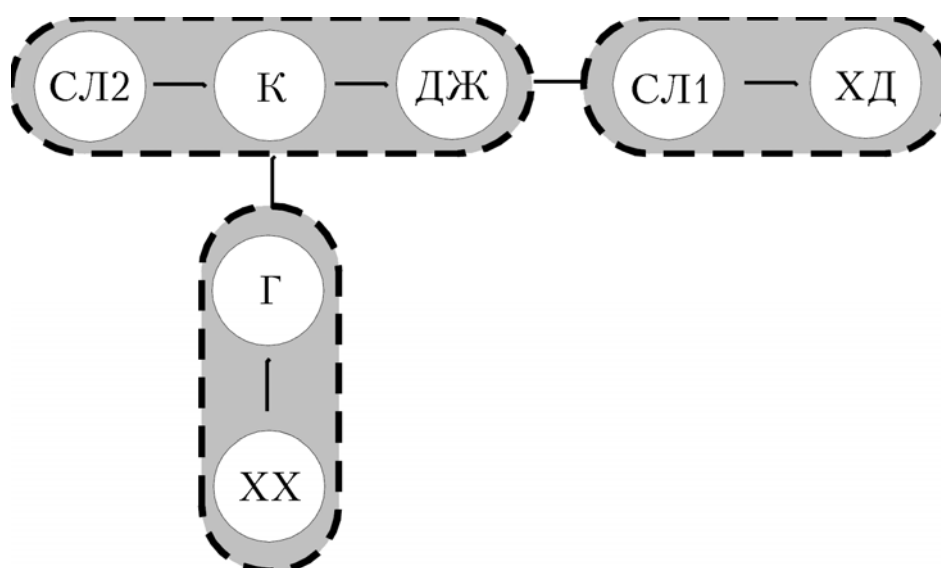
экологических условий на территориях районов в позднелейстоцен-голоценовой ретроспективе.

**Таблица 1.** Коэффициенты сходства Жаккара ( $K_j$ ) и Серенсена-Чекановского ( $K_{sc}$ ) для флористических районов  
**Table 1.** Jaccard ( $K_j$ ) and Sørensen-Czekanowski ( $K_{sc}$ ) similarity coefficients for floristic regions

| $K_{sc}$ | $K_j$ | ХД   | СЛ1  | СЛ2  | К    | ДЖ   | ХХ   | Г    |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| ХД       |       |      | 0,81 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,19 | 0,27 |
| СЛ1      |       | 0,89 |      | 0,40 | 0,42 | 0,49 | 0,18 | 0,25 |
| СЛ2      |       | 0,60 | 0,57 |      | 0,63 | 0,52 | 0,36 | 0,41 |
| К        |       | 0,59 | 0,59 | 0,77 |      | 0,59 | 0,33 | 0,42 |
| ДЖ       |       | 0,60 | 0,63 | 0,68 | 0,74 |      | 0,31 | 0,38 |
| ХХ       |       | 0,32 | 0,31 | 0,53 | 0,51 | 0,48 |      | 0,57 |
| Г        |       | 0,43 | 0,40 | 0,58 | 0,60 | 0,55 | 0,72 |      |

Примечание: ХД – Хултайдагский, СЛ1 – Самурский левобережный 1, СЛ2 – Самурский левобережный 2, К – Курахский, ДЖ – Джугудагский, ХХ – Хучнинско-Хивский, Г – Гестинкильский

Note: ХД – Khultaydag, СЛ1 – Samurskiy left bank 1, СЛ2 – Samurskiy left bank 2, К – Kurakhskiy, ДЖ – Dzhufudagskiy, ХХ – Khuchninsko-Khivskiy, Г – Gestinkilskiy



**Рисунок 2.** Дендрит – схема сходства видового состава флористических районов по коэффициентам Серенсена-Чекановского. Обозначение такие же как в таблице 1.

**Figure 1.** Dendrite – diagram of the similarity of species composition of floristic regions according to the Sørensen-Czekanowski coefficients. The regional designations are the same as in Table 1.

Выделение каждого из районов основано, в первую очередь, на объективно существующих различиях таксономического состава петрофитов. При этом также учитывалось наличие эндемичных и реликтовых видов. Информация об участии видов во флористическом составе районов и полные списки по районам приводятся в конспекте флоры и в сводной географо-биолого-экологической таблице в диссертации Теймурова А.А. [12].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Климатическому фактору, как известно, принадлежит ведущая роль в формировании типов растительности и определении флористического состава той или иной географической области. Современный климатический фон Южного Дагестана, несмотря на его континуальность, достаточно дифференцированно выражен на территории каждого флористического района. Сочетание холодных и теплых периодов с влажным или сухим режимом создает разные

климатические фоны. Крайние варианты последних выделяют как криоксеротический – холодный и сухой, криогигротический – холодный и влажный, термоксеротический – теплый и сухой, термогигротический – теплый и влажный [13-15]. В природных условиях переход между этими вариантами, даже на относительно небольших территориях, в пространственно-временных границах имеет более или менее плавный характер. Растительный покров, как чувствительный индикатор, тонко реагирует на все изменения физико-географической среды. Он регистрирует колебание условий на малые градиенты (иногда недоступные точным приборам), меняя характер растительности и состав флоры. Поэтому можно считать, что общая современная картина видового состава петрофитов флористических районов сложилась в ходе позднелейстоценовых и голоценовых осцилляций климата и отражает масштабы и направление последних.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Н.И. Принципы деления Кавказа на ботанико-географические провинции // Зап. Импер. АН по физ.-мат. 1909. Т. 24. N 1. 174 с.
2. Гроссгейм А.А., Сосновский Д.И. Опыт ботанико-географического районирования Кавказского края // Изв. Тифл. гос. политехн. ин-та. Вып. 3. Тифлис, 1928. 60 с.
3. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа. Баку: Красный Восток, 1936. 260 с.
4. Шифферс Е.В. Растительность Северного Кавказа и его природные кормовые угодья. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 400 с.
5. Харадзе А.Л. К ботанико-географическому районированию Большого Кавказа // Проблемы ботаники: Совещание по вопросам изучения и освоения высокогорий. Л.: Наука, 1966. Т. 8. С. 1-28.
6. Долуханов А.Г. Растительный покров // Природные условия и естественные ресурсы СССР: Кавказ. М.: Наука, 1966. С. 223-255.
7. Гагнидзе Р.И. Ботанико-географический анализ флороценотического комплекса субальпийского высокогорья Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1974. 226 с.
8. Гагнидзе Р.И. Спектры географо-генетических элементов флороценотического комплекса субальпийского высокогорья Кавказа // Зам. по сист. и геогр. растений. Вып. 33. Тбилиси: Мецниереба, 1976. С. 36-63.
9. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа: Определитель. В 3 т. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1978-1980. Т. 1. 1978. 317 с.
10. Прима В.М. Субнивальная флора Восточного Кавказа, ее состав, эколого-биологический и географический анализ // Флора и растительность Восточного Кавказа: Сб. статей / Под ред. А.И. Галушко. Орджоникидзе, 1974. С. 46-69.
11. Джамалдинова М.А. Эколого-биологический и географический анализ петрофитов Андийского хребта: дисс. ... канд. биол. наук. Махачкала, 2010. 118 с.
12. Теймуров А.А. Эколого-географическая и биологическая характеристика петрофитов Самурского хребта и Джугуды в связи с историей формирования флоры Южного Дагестана: дисс. ... канд. биол. наук. Махачкала, 1998. 211 с.
13. Агаханянц О.Е. Аридные горы СССР. М.: Мысль, 1981. 270 с.
14. Васильев Ю.М. Некоторые проблемы палеогеографии четвертичного периода // Проблемы геологии и истории четвертичного периода (антропогена). М.: Наука, 1982. С. 172-213.
15. Кожевников А.В. Антропоген гор и предгорий. М.: Недра, 1985. 181 с.
- [News of the Tiflis State Polytechnic Institute]. Tiflis, 1928, iss. 3, 60 p. (In Russian)
3. Grossgeim A.A. *Analiz flory Kavkaza* [Analysis of the flora of the Caucasus]. Baku, Krasnyi Vostok Publ., 1936, 260 p. (In Russian)
4. Shiffers E.V. *Rastitel'nost' Severnogo Kavkaza i ego prirodnye kormovye ugod'ya* [Vegetation of the North Caucasus and its natural forage lands]. Moscow-Leningrad, AN SSSR Publ., 1953, 400 p. (In Russian)
5. Kharadze A.L. To botanical-geographical zoning of the Greater Caucasus. In: *Problemy botaniki: Soveshchanie po voprosam izucheniya i osvoeniya vysokogorii* [Problems of botany: Meeting on the study and development of highlands]. Leningrad, Nauka Publ., 1966, vol. 8, pp. 1-28. (In Russian)
6. Dolukhanov A.G. Vegetation cover. In: *Prirodnye usloviya i estestvennye resursy SSSR: Kavkaz* [Natural conditions and natural resources of the USSR: Caucasus]. Moscow, Nauka Publ., 1966, pp. 223-255. (In Russian)
7. Gagnidze R.I. *Botaniko-geograficheskii analiz floroecenoticheskogo kompleksa subalpiiskogo vysokotrav'ya Kavkaza* [Botanical-geographical analysis of the florocenotic complex of the subalpine tall grasses of the Caucasus]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1974, 226 p. (In Russian)
8. Gagnidze R.I. Spectra of geographic and genetic elements of the florocenotic complex of the subalpine highlands of the Caucasus. In: *Zametki po sistematike i geografii rastenii* [Notes on the taxonomy and geography of plants]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1976, iss. 33, pp. 36-63. (In Russian)
9. Galushko A.I. *Flora Severnogo Kavkaza: Opredelitel'* [Flora of the North Caucasus: Keys]. Rostov-on-Don, RSU Publ., 1978, vol. 1, 317 p. (In Russian)
10. Prima V.M. Subnival flora of the Eastern Caucasus, its composition, ecological-biological and geographical analysis. In: *Flora i rastitel'nost' Vostochnogo Kavkaza* [Flora and vegetation of the Eastern Caucasus]. Ordzhonikidze, 1974, pp. 46-69. (In Russian)
11. Dzhamalidina M.A. *Ekologo-biologicheskii i geograficheskii analiz petrofitov Andiiskogo khrebt: diss. ... kand. biol. nauk* [Ecological, biological and geographical analysis of petrophytes of the Andean ridge: diss. ... cand. biol. sciences]. Makhachkala, 2010, 118 p. (In Russian)
12. Teimurov A.A. *Ekologo-geograficheskaya i biologicheskaya kharakteristika petrofitov Samurskogo khrebt i Dzhufudaga v svyazi s istoriei formirovaniya flory Yuzhnogo Dagestana: diss. ... kand. biol. nauk* [Ecological, geographical and biological characteristics of petrophytes of the Samur ridge and Dzhufudag in connection with the history of the formation of the flora of Southern Dagestan: diss. ... cand. biol. sciences]. Makhachkala, 1998, 211 p. (In Russian)
13. Agakhanyants O.E. *Aridnye gory SSSR* [Arid mountains of the USSR]. Moscow, Mysl' Publ., 1981, 270 p. (In Russian)
14. Vasil'ev Yu.M. Some problems of paleogeography of the Quaternary period. In: *Problemy geologii i istorii chetvertichnogo perioda (antropogena)* [Problems of geology and history of the Quaternary period (anthropogen)]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 172-213. (In Russian)
15. Kozhevnikov A.V. *Antropogen gor i predgorii* [Anthropogen of mountains and foothills]. Moscow, Nedra Publ., 1985, 181 p.

## REFERENCES

1. Kuznetsov N.I. Principles of dividing the Caucasus into botanical-geographical provinces. *Zapiski Imperatorskoi akademii nauk po fiz.-mat.* [Notes of the Imperial Academy of Sciences on Phys.-Math.]. 1909, vol. 24, no. 1, 174 p. (In Russian)
2. Grossgeim A.A., Sosnovskii D.I. Experience of botanical-geographical zoning of the Caucasian region. In: *Izvestiya Tiflisskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo instituta*

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Гисамудин А. Юсуфов собрал материал, проанализировал данные и написал рукопись. Абдулгамид А. Теймуров интерпретировал результаты исследования, корректировал окончательный вариант статьи. Зарема И. Солтанмурадова, Булул Н. Сайпулаева и Константин В. Борцов работали с научной литературой, собирали материал. Авторы в равной степени несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Gisamudin A. Yusufov collected research material, analysed the data and wrote the manuscript. Abdulgamid A. Teymurov interpreted the research results and corrected the final version of the article. Zarema I. Soltanmuradova, Bulul N. Saypulaeva and Konstantin V. Bortsov worked with the scientific literature and collected research material. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism or other ethical transgressions.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors declare no conflict of interest.

**ORCID**

Гисамудин А. Юсуфов / Gisamudin A. Yusufov <https://orcid.org/0000-0001-9102-294X>  
Абдулгамид А. Теймуров / Abdulgamid A. Teymurov <https://orcid.org/0000-0003-1832-7864>  
Зарема И. Солтанмурадова / Zarema I. Soltanmuradova <https://orcid.org/0000-0003-3018-9097>  
Булул Н. Сайпулаева / Bulul N. Saypulaeva <https://orcid.org/0000-0003-4874-6621>  
Константин В. Борцов / Konstantin V. Bortsov <https://orcid.org/0000-0002-1827-972X>

**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 Орджоникидзе**на, к.б.н., доцент, Email dagecolog@mail.ru  
моб. тел. +79285375323  
**Иванушенко Юлия Юрьевна**, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

**Адрес редакции:** 367001, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,  
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ, тел./факс: +7(8722) 56-21-40

**Учредитель (соучредители) журнала:**  
ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

**CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"**

If you have any questions, please contact the editorial office:  
**Nadira O. Guseynova**, Candidate of Biological Sciences, Associate  
Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323  
**Yuliya Yu. Ivanushenko**, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

**Editorial address:** 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.  
tel. / fax: +7 (8722) 56-21-40

**Founders of journal:**  
The limited liability company Publishing House «Kamerton»  
Dagestan State University

Издание зарегистрировано Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.  
Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.  
Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:  
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.  
Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.