

ISSN 1994-9952

НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

ПЕРМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

БИОЛОГИЯ



2025. Вып. 3

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней по научным специальностям:

1.5.9. Ботаника, 1.5.11. Микробиология, 1.5.12. Зоология, 1.5.7. Генетика, 1.5.18. Микология, 3.2.7. Аллергология и иммунология (биологические и медицинские науки), 3.3.8. Клиническая лабораторная диагностика

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Редакционный совет

В. С. Артамонова, д.б.н., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия
О. Ю. Баранов, д.б.н., Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь
О. Г. Баранова, д.б.н., Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. С.-Петербург, Россия
В. Д. Богданов, д.б.н., чл.-корр. РАН, Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
М. В. Винарский, д.б.н., Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
О. В. Долгих, д.м.н., Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения Роспотребнадзора, г. Пермь, Россия
С. А. Заморина, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Е. В. Зиновьев, д.м.н., Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
Р. А. Календарь, к.б.н., "National Laboratory Astana", Назарбаев Университет, г. Нур-Султан, Республика Казахстан
Э. А. Коркотян, к.б.н., Научно-исследовательский институт им. Вейцмана, г. Реховот, Израиль
Н. Кристофи, PhD, Эдинбургский Нэйпир университет, г. Эдинбург, Великобритания
А. И. Литвиненко, д.б.н., Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия
П. Б. Михеев, PhD, доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Е. Г. Плотникова, д.б.н., Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
Д. В. Политов, д.б.н., Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, г. Москва, Россия
А. В. Пузанов, д.б.н., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия
М. Б. Раев, д.б.н., Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
Е. В. Рахимова, д.б.н., Институт ботаники и фитоинтродукции Комитета лесного хозяйства и животного мира, г. Алматы, Республика Казахстан
В. А. Черешнев, д.м.н., академик РАН, Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
А. Г. Ширяев, д.б.н., Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Редакционная коллегия

С. В. Боронникова, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
С. В. Гейн, д.м.н., Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
А. А. Елькин, к.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
О. З. Еремченко, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
С. Л. Есюнин, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Е. Г. Ефимик (секретарь редколлегии), к.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Н. В. Зайцева, д.м.н., академик РАН, Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения Роспотребнадзора, г. Пермь, Россия
И. Б. Ившина, д.б.н., академик РАН, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
А. Р. Ишибирдин, д.б.н., профессор, Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия
М. С. Куюкина (гл. редактор), д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
С. А. Овеснов, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Л. Г. Переведенцева, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
О. Ю. Устинова, д.м.н., Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения Роспотребнадзора, г. Пермь, Россия

Ответственный редактор выпуска *С. А. Овеснов*

© Редакционная коллегия, 2025

Адрес учредителя и издателя:
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
Тел.: 8 (342)2396435; E-mail: info@psu.ru
Подписка на журнал осуществляется онлайн на сайте агентства «Урал-Пресс»
<https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8940022/>. Подписной индекс 41000
Адрес редакции: 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
Тел.: 8 (342)2396233
E-mail: vestnik_psu_bio@mail.ru
Сайт: press.psu.ru/index.php/bio

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свид. о регистрации средства масс. информации ПИ № ФС 77-66484 от 14 июля 2016 г.

Editorial Board

- V. S. Artamonova*, Dr. Biol. Sc., Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS, Novosibirsk, Russia
O. Yu. Baranov, Dr. Biol. Sc., Institute of Forest of the NAS of Belarus, Gomel, Belarus
O. G. Baranova, Dr. Biol. Sc., Botanical Institute of the RAS, St. Petersburg, Russia
V. D. Bogdanov, Dr. Biol. Sc., Corresponding Member of the RAS, Institute of Plant and Animal Ecology of UB RAS, Ekaterinburg, Russia
M. V. Vinarski, Dr. Biol. Sc., St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
O. V. Dolgikh, Dr. Med. Sc., Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russia
S. A. Zamorina, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
E. V. Zinoviev, Dr. Med. Sc., Institute of Plant and Animal Ecology of UB RAS, Ekaterinburg, Russia
R. A. Kalendar, Cand. Biol. Sc. "National Laboratory Astana", Nazarbaev University, Nur-Sultan, Kazakhstan
E. A. Korkotyan, Cand. Biol. Sc. Weizmann Institute of Science, Rehovot, Izrael
N. Christofi, PhD, Edinburgh Napier University, Edinburgh, Great Britain
A. I. Litvinenko, Dr. Biol. Sc., State agrarian University of Northern TRANS-Urals, Tyumen, Russia
P. B. Mikheev, PhD, Perm State University, Perm, Russia
E. G. Plotnikova, Dr. Biol. Sc., Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
D. V. Politov, Dr. Biol. Sc., Vavilov Institute of General Genetics of the RAS, Moscow, Russia
A. V. Puzanov, Dr. Biol. Sc., Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, Russia
M. B. Raev, Dr. Biol. Sc., Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
E. V. Rachimova, Dr. Biol. Sc., Institute of Botany and Phytointroduction of the Committee for Forestry and Wildlife, Almaty, Kazakhstan
V. A. Chereshevnev, Dr. Med. Sc., Full Member of the RAS, Institute of Immunology and Physiology of UB RAS, Ekaterinburg, Russia
A. G. Shiryayev, Dr. Biol. Sc., Institute of Plant and Animal Ecology of the UB RAS, Ekaterinburg, Russia

Editors

- S. V. Boronnikova*, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
S. V. Gein, Dr. Med. Sc., Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
A. A. Elkin, Cand. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
O. Z. Eremchenko, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
S. L. Esyunin, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
E. G. Efimik (secretary of the editorial board), Cand. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
N. V. Zaitseva, Dr. Med. Sc., Full Member of the RAS, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russia
I. B. Ivshina, Dr. Biol. Sc., Full Member of the RAS, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
A. R. Ishbirdin, Dr. Biol. Sc., Bashkir State University, Ufa, Russia
M. S. Kuyukina (editor in chief), Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
S. A. Ovesnov, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
L. G. Perevedenceva, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
O. Yu. Ustinova, Dr. Med. Sc., Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russia

Contributed editor of the issue *S. A. Ovesnov*

© Editorial Board, 2025

Founder and Publisher Address:
614068, Perm, Bukireva, 15;
Tel: 8 (342) 2396435; E-mail: info@psu.ru
For subscription, visit the catalog of Ural-Press: <https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8940022/>. Index 41000

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Certificate of registration of mass media PI No. FS 77-66484 dated July 14, 2016.

Editorial office address: 614068, Perm, Bukireva, 15;
Tel.: 8 (342) 2396233
E-mail: vestnik_psu_bio@mail.ru
Website: press.psu.ru/index.php/bio

Содержание

Ботаника

- Лаврская Е. А.* К изучению влияния экспозиции склонов на распределение лишайников на береговых скалах (река Чусовая, Средний Урал) 235
- Мамедова Н. Х., Абдулалиева Г. С., Юнусова Ф. М., Ализаде Ш. А., Ширинова А. Н.* Определение качественных показателей волокна у устойчивых к вилту сортообразцов хлопчатника в условиях Абшерна 240
- Молганова Н. А.* *Larix sibirica* Ledeb. s.l. (*Pinaceae*) в Саду им. Любимова г. Перми 248

Зоология

- Брагина Т. М., Власов С. В., Пономарёв А. В.* Первые сведения о фауне пауков (Arachnida: Araneae) государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро» (Костанайская область, Казахстан) 253
- Симонов П. С.* Высотно-поясное распределение пауков-кругопрядов (Aranei: Araneidae) Алексеевского хребта (Приморский край) 262

Микробиология

- Назарова М. В., Мاستиленко А. В., Потатуркина-Нестерова Н. И.* Молекулярно-генетическая характеристика патогенности штаммов лакто-зонегативной *Escherichia coli*, выделенных у больных COVID-19 и в постковидный период 270
- Сыровацкая Г. А., Максимов А. Ю., Максимова Ю. Г.* Филогенетическое разнообразие нитрилуглизирующих бактерий содового шламохранилища и их некоторые физиолого-биохимические особенности 279

Генетика

- Азовцева А. И., Рябова А. Е., Дементьева Н. В.* Анализ геномных ассоциаций с длиной плюсны у кур пород царскосельская, узбекская бойцовая и корниш 289
- Новокович Ю. С., Глотов О. С., Асеев М. В., Кусакин А. В., Полев Д. Е., Глотов А. С.* Анализ ассоциаций уровня личностной тревожности с аллельными вариантами генов обмена веществ .. 298

Иммунология

- Орлова Е. Г., Горбунова О. Л., Каримова Н. В.* Ассоциация показателей обмена ионов железа и количественного соотношения разных популяций лейкоцитов периферической крови при беременности 305
- Синеговец А.А., Михайлова И.В., Смолягин А.И., Филиппова Ю.В., Кузьмичева Н.А.* Исследование иммуотропных свойств сухих экстрактов клевера и цикория на фоне иммуносупрессии 313

Contents

Botany

- Lavrskaya E. A.* The influence of slope exposure on lichen distribution on coastal rocks (Chusovaya River, Middle Urals) 235
- Mammadova N. Kh., Abdulaliev G. S., Yunusova F. M., Alizade Sh. A., Shirinova A. N.* Determination of fiber quality indicators in wilt-resistant cotton varieties under Absheron conditions 240
- Molganova N. A.* *Larix sibirica* Ledeb. s.l. (*Pinaceae*) in the Lyubimov Garden in Perm 248

Zoology

- Bragina T. M., Vlasov S. V., Ponomarev A. V.* First data on the fauna of spiders (Arachnida: Araneae) of the state nature monument “Kamenny lake tract” (Kostanay region, Kazakhstan) 253
- Simonov P. S.* Altitudinal-zonal distribution of orb-weaver spiders (Aranei: Araneidae) of the Alekseevsky range (Primorsky Krai) 262

Microbiology

- Nazarova M. V., Mastilenko A. V., Potaturkina-Nesterova N. I.* Molecular and genetic characteristics of pathogenicity of lactose-negative strains *Escherichia coli* isolated from COVID-19 270
- Syrovatskaya G. A., Maksimov A. Yu., Maksimova Yu. G.* Phylogenetic diversity of nitrile-utilizing bacteria of soda sludge storage facility and some of their physiological and biochemical features 279

Genetics

- Azovtseva A. I., Ryabova A. E., Dementieva N. V.* Analysis of genome-wide associations with tarsus length in Tsarskoye selo, Uzbek Game and Cornish breeds 289
- Novokovich Yu. S., Glotov O. S., Aseev M. V., Kusakin A. V., Polev D. E., Glotov A. S.* Analysis of associations of the level of personal anxiety with allelic variations of metabolic genes 298

Immunology

- Orlova E. G., Gorbunova O. L., Karimova N. V.* Association of iron ion metabolism and the quantitative ratio of different populations of peripheral blood leukocytes during pregnancy 305
- Sinegovets A. A., Mikhailova I. V., Smolyagin A. I., Filippova Yu. V., Kuzmicheva N. A.* Study of immunotropic properties of dry extracts of clover and chicory against the background of immunosuppression 313

БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.55; 582.29

EDN: AYENBJ

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-235-239



К изучению влияния экспозиции склонов на распределение лишайников на береговых скалах (река Чусовая, Средний Урал)

Екатерина Андреевна Лаврская^{1✉, 2}

^{1✉} Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, Пермь, Россия, ekandr.sh@yandex.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. На береговых скальных обнажениях в долине р. Чусовой геоботаническими методами проведено изучение лишайникового покрова. Проанализировано влияние ориентации склонов на распространение лишайников по скалам. Работы проводились в среднем течении р. Чусовой на территории Свердловской обл. и Пермского края. Всего заложено 712 учетных площадок размером 30×30 см. Выявлено, что влияние экспозиции выражается в изменении количества видов и значении проективного покрытия лишайников. Наибольшее число видов зафиксировано на скалах с экспозицией юг (74 вида). Наибольший показатель видового сходства отмечен для списков видов с юго-восточных и восточных скал (коэффициент Жаккара равен 0.42). Проективное покрытие видов разных жизненных форм отличается. Покрытие накипных лишайников больше на севере и западе, листоватых на юге и юго-востоке, кустистых на юго-западе.

Ключевые слова: лишайники, лишайниковый покров, экспозиция, река Чусовая, Средний Урал

Для цитирования: Лаврская Е. А. К изучению влияния экспозиции склонов на распределение лишайников на береговых скалах (река Чусовая, Средний Урал) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 235–239. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-235-239>.

BOTANY

Original article

The influence of slope exposure on lichen distribution on coastal rocks (Chusovaya River, Middle Urals)

Ekaterina A. Lavrskaya^{1✉, 2}

^{1✉} Perm State Humanitarian Pedagogical University, Perm, Russia, ekandr.sh@yandex.ru

² Perm State University, Perm, Russia

Abstract. Lichen cover was studied on coastal rocky outcrops in the Chusovaya River valley using geobotanical methods. The influence of slope orientation on lichen distribution on rocks was analyzed. The work was carried out in the middle reaches of the Chusovaya River on the territory of the Sverdlovsk Oblast and Perm Krai. A total of 712 survey plots of 30×30 cm were made. It was revealed that the influence of exposure is expressed in the change in the number of species and the value of projective cover of lichens. The highest number of species was recorded on rocks with southern exposure (74 species). The highest index of species similarity was observed for species lists from south-eastern and eastern cliffs (Jaccard's coefficient equals 0,42). The projective cover of species of different life forms differs. The coverage of scaly lichens is greater in the north and west, leafy lichens in the south and southeast, and bushy lichens in the southwest.

Keywords: lichens, lichen cover, exposure, Chusovaya River, Middle Urals

For citation: Lavrskaya E. A. [The influence of slope exposure on lichen distribution on coastal rocks (Chusovaya River, Middle Urals)]. *Bulletin of Perm University. Biology.* Iss. 3 (2025): pp. 235-269. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-235-239>.

Введение

Рельеф, являясь косвенным экологическим фактором, оказывает влияние на растительные сообщества. Рельеф может создавать различные сочетания прямодействующих факторов и перераспределять в

пространстве поступающее тепло, свет, влагу [Горышина, 1979]. Среди элементов рельефа наиболее значимыми являются высота над уровнем моря, экспозиция, крутизна склона [Соколова, 2016].

Орографические факторы оказывают влияние на распространение видов лишайников [Kholod, Konoreva, Chesnokov, 2024]. Влияние рельефа на распространение лишайников выражается в количестве видов и показателях их проективного покрытия [Daniëls, 1975; Link, Nash, 1984; John, Dale, 1990; Buschbom, Kappen, 1998].

На береговых скалах с разной экспозицией склонов формируются ниши с отличными друг от друга условиями, что позволяет произрастать на береговых скалах разным видам лишайников. В результате разного угла падения солнечных лучей изменяется количество солнечной радиации, приходящей на склоны северной и южной экспозиции, вследствие чего изменяется освещенность, влагообеспеченность, температура субстрата и приземного слоя воздуха. Весной южные склоны быстрее оттаивают от снега и быстрее высыхают. Северные склоны отличаются более низкой температурой, но в тоже время повышенной влажностью.

Отличия в микроклиматических условиях сказываются на строении лишайникового покрова. На береговых скальных обнажениях в долине р. Чусовой лишайники можно видеть как компонент сомкнутого покрова совместно с мхами и сосудистыми растениями, так и обособленно, в виде лишайниковых ассоциаций или редких единичных талломов на отвесных скалах, где совокупность условий неблагоприятна для других фототрофных организмов.

Район исследования (долина р. Чусовой) долгий период времени привлекал внимание ботаников [Крылов, 1881; Сюзев, 1912; Князев, 2009]. На береговых скалах известны местонахождения редких, внесенных в Красную книгу видов, в среднем течении реки сохраняются реликтовые виды, поэтому важно изучать и сохранять флористическое разнообразие этого района [Горчаковский, 1960; Красная книга Пермского края, 2018; Красная книга Свердловской области, 2018].

Анализируя историю изучения лишайников Среднего Урала (Свердловской обл. и Пермского края), можно отметить, что территория долины р. Чусовой остается мало изученной как с точки зрения выявления видового состава лишайнобиоты, так и изучения лишайникового покрова [Рябкова, 1998; Котлов, 2003; Paukov, Tertina, 2012; Селиванов и др., 2015]. Целью работы является выявление закономерностей сложения лишайникового покрова на береговых скалах в зависимости от их экспозиции.

Несмотря на то, что некоторые участки в долине реки имеют статус особо охраняемых природных территорий (Природный парк «Река Чусовая» и Природный парк «Пермский»), р. Чусовая является популярным туристическим маршрутом. Исследования лишайникового покрова важны, поскольку антропогенное воздействие, вероятно, может влиять на видовой состав растительных сообществ и флору в целом.

Материал и методы исследования

Для изучения лишайникового покрова береговых скальных фитоценозов были заложены учетные площадки размером 30×30 см (всего 712 учетных площадок). Полевые работы проводились в 2017–2024 гг. в среднем течении р. Чусовой на территории Свердловской обл. и Пермского края. Для учетных площадок фиксировались данные об экспозиции и другие характеристики.

Учетная площадка фотографировалась с линейкой для измерения площади проективного покрытия видов. Процент проективного покрытия по фотографиям учетных площадей измерялся в программе ImageJ 1.5. После фотофиксации с площадки собирались образцы всех представленных на площадке видов лишайников.

Определение образцов лишайников проводилось по стандартной методике [Флора лишайников России, 2014] на базе лаборатории биоразнообразия, экологии растений и лишайнизированных грибов кафедры биологии и географии ПГГПУ. Образцы хранятся в гербарии ПГГПУ (РПУ).

Статистическая обработка данных проводилась в программе Past 4.03. Кластерный анализ проводился методом ближайшего соседа (Neighbor-joining), в качестве индекса выбрано евклидово расстояние. Оценка достоверности выделения отдельных кластеров выполнена Bootstrep-анализом.

Результаты и обсуждение

На исследованном участке обнаружено 157 видов лишайников. Количество видов лишайников выше на южных и восточных склонах (47% и 44.6% от всей лишайнобиоты соответственно, рис. 1). Учетные площадки, заложенные с ориентацией на запад, характеризуются низким флористическим разнообразием (19% от лишайнобиоты). На скалах всех экспозиций преобладают накипные виды лишайников.

Для получения данных о степени сходства видового состава лишайников, обнаруженных на скалах с разной экспозицией, был рассчитан коэффициент Жаккара. При сравнении лишайнобиоты юго-восточных и восточных склонов коэффициент Жаккара оказался равным 0.42. Наибольшие различия в видовом составе наблюдаются на скалах с экспозицией юго-восток и северо-восток (коэффициент Жаккара равен 0.19), юго-запад и северо-запад (коэффициент Жаккара 0.187).

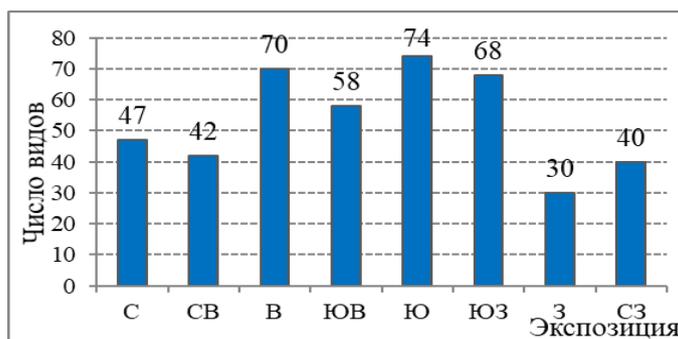


Рис. 1. Число видов лишайников на учетных площадках разной экспозиции
 [Number of lichen species at survey sites of different exposures]

На склонах разной экспозиции прослеживаются различия в строении лишайникового покрова, выраженные в первую очередь в величине проективного покрытия и количестве видов на площадке. Для данных по количеству видов на площадке и проективному покрытию построены диаграммы, отображающие распределение показателей по сторонам света (рис. 2 и рис. 4). Среднее значение количества видов на площадке выше на скалах южных экспозиций, наибольшее отмечено для юго-западных площадок – 4.2 (рис. 2).

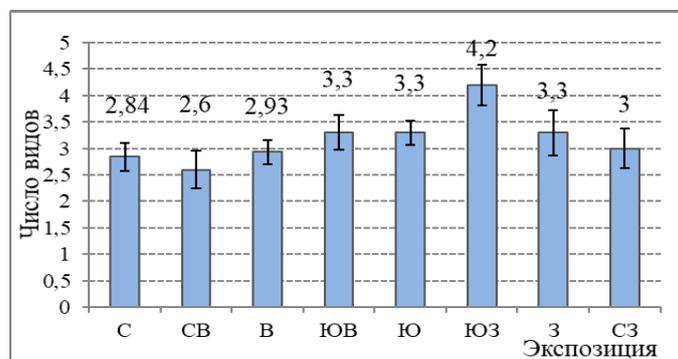


Рис. 2. Среднее значение количества видов на площадке
 [Average number of species at the site]

Для выявления влияния экспозиции на количество видов лишайников на учетной площадке выполнен кластерный анализ. Анализ проводился на основе данных о распределении количества видов лишайников разных жизненных форм (накипных, листоватых, кустистых) на учетных площадках разной экспозиции. Результаты анализа представлены на дендрограмме (рис. 3). По Bootstrep-анализу данные статистически значимо делятся на две группы. Первая группа включает в себя данные по южным экспозициям (Ю, ЮЗ, ЮВ) и востоку; вторая – северные экспозиции (С, СЗ, СВ) и запад.

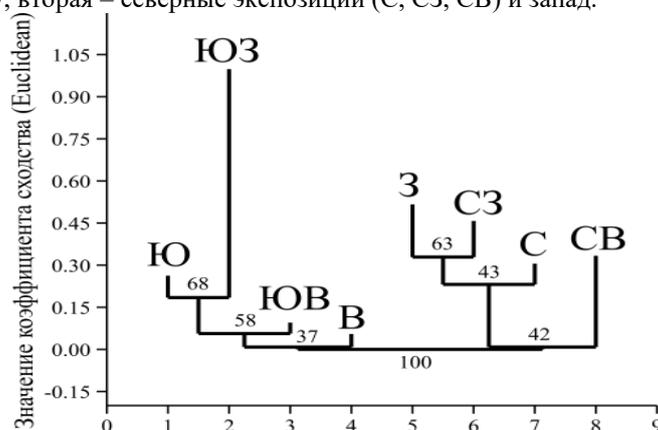


Рис. 3 Результат кластеризации данных по среднему значению видов лишайников (накипных, листоватых, кустистых) на учетных площадках разных экспозиций

[Result of clustering of data on the average value of lichen species (crustose, foliose, fruticose) at survey sites of different exposures]

Среднее число видов лишайников листоватых и кустистых жизненных форм на учетных площадках больше на юго-западе. Южные склоны теплее и суше северных, но именно на них листоватые и кустистые виды представлены бóльшим числом видов. Мелкозем, скапливающийся в трещинах пород, дерновины мхов могут задерживать воду и создавать условия для закрепления и произрастания лишайников.

Кустистые лишайники на береговых скалах с юго-западной экспозицией имеют более крупные талломы, а на севере и северо-востоке – мелкие (рис. 4). Талломы листоватых лишайников крупнее на южных склонах (Ю, ЮЗ, ЮВ), меньше – на восточных склонах (В, СВ).

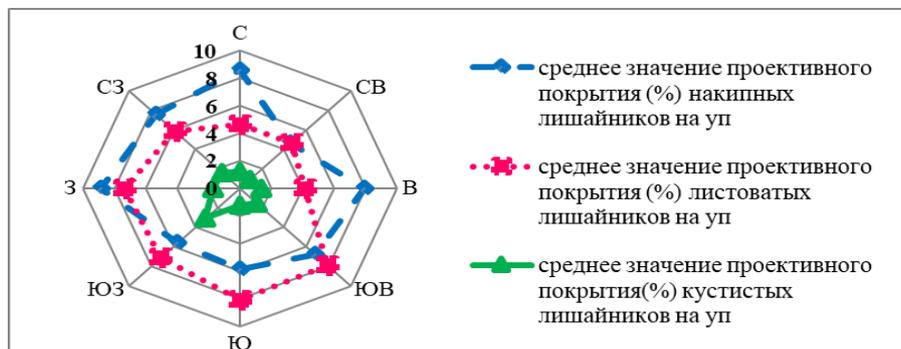


Рис. 4. Среднее значение проективного покрытия лишайников (%) на учетных площадках (уп) с разной экспозицией

[Mean value of projective lichen coverage (%) at survey sites with different exposures]

В отличие от лишайников кустистых и листоватых жизненных форм накипные виды достигают высоких значений проективного покрытия на скалах, ориентированных на север, восток, запад. Среднее количество видов на площадке больше на скалах с экспозицией север, северо-запад, юго-запад.

Заключение

Распространение лишайников на береговых скалах неравномерно и зависит от совокупности факторов окружающей среды, к которым, помимо экспозиции склонов, относятся крутизна склона, физико-химические свойства и тип субстрата. Ориентация склонов по сторонам света влияет на лишайниковый покров скальных обнажений в долине р. Чусовой. На склонах разной экспозиции прослеживаются различия в строении лишайникового покрова, выраженные в первую очередь в количестве видов и проективном покрытии лишайников на учетной площадке.

Наибольшее количество видов лишайников обнаружено на склонах южной экспозиции (47% от всей лишенобиоты территории), наименьшее – на площадках западной экспозиции (19%). Среднее значение количества видов на площадке больше на юго-западе. Накипные виды лишайников достигают наибольшего среднего значения проективного покрытия на экспозициях север (8.5%) и запад (8.9%), листоватые – на юге (8%), кустистые – на юго-западе (3%).

Список источников

1. Горчаковский П.Л. Об охране реликтовых растений и уникальных растительных сообществ на Урале // Охрана природы на Урале. Свердловск, 1960. Вып. 1. С. 79–85. EDN: YRQELH.
2. Горышина Т.К. Экология растений. М.: Высш. шк., 1979. 368 с.
3. Князев М.С. Петрофитная растительность в долине р. Чусовой // Ботанические исследования на Урале: материалы регион. с междунар. участием науч. конф. Пермь, 2009. С. 115–120. EDN: SXAESL.
4. Котлов Ю.В. Новые для Урала виды лишайников из Свердловской области // Ботанический журнал. 2003. Т. 88, № 4. С. 145–146. EDN: OJUNTF.
5. Красная книга Пермского края / под общ. ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 232 с.
6. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / отв. ред. Н.С. Корытин. Екатеринбург, 2018. 450 с.
7. Крылов П.Н. Материал к флоре Пермской губернии // Тр. о-ва естествоиспытателей при Казан. ун-те. 1881. Т. 4, вып. 6. 304 с.
8. Рябкова К.А. Систематический список лишайников Урала // Новости систематики низших растений. 1998. Т. 32. С. 81–87.
9. Селиванов А.Е. и др. Предварительный список лишенофлоры Пермского края. Пермь, 2015. 156 с.
10. Соколова Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений // Acta biologica Sibirica. 2016. Т. 2, № 3. С. 34–45. EDN: XQNNHR.
11. Сюзев П.В. Конспект флоры Урала в пределах Пермской губернии. М., 1912. 206 с.
12. Флора лишайников России: Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников. М.; СПб., 2014. 392 с.

13. Buschbom J., Kappen L. The role of microclimate for the lichen vegetation pattern on rock surfaces in the Subarctic // *Sauteria*. 1998. Vol. 9. P. 79–94.
14. Daniëls F.J.A. Vegetation of the Angmagssalik district, southeast Greenland. III. Epilithic macrolichen communities // *Meddelelser Om Grønland*. 1975. Vol. 198. P. 1–32.
15. John E., Dale M.R.T. Environmental correlates of species distributions in a saxicolous lichen community // *Journal of Vegetation Science*. 1990. Vol. 1. P. 385–392. DOI: 10.2307/3235715.
16. Kholod S., Konoreva L., Chesnokov S. Influence of Orographic Factors on the Distribution of Lichens in the Franz Josef Land Archipelago // *Plants*. 2024. Vol. 13(2). Art. 193. DOI: 10.3390/plants13020193.
17. Link S.O., Nash T.H. An analysis of an arctic lichen community with respect to slope on silicious rocks at Anaktuvuk Pass, Alaska // *Bryologist*. 1984. Vol. 87. P. 162–166. DOI: 10.2307/3243126.
18. Paukov A., Teptina A. New records of lichens from Middle Urals, Russia // *Folia Cryptogamica Estonica*. 2012. Vol. 49. P. 45–57. EDN: SLAVIV.

References

1. Gorchakovskij P.L. [On the protection of relict plants and unique plant communities in the Urals]. *Ochrana prirody na Urale* [Nature conservation in the Urals]. Sverdlovsk, 1960, Iss. 1, pp. 79-85. (In Russ.). EDN: YRQELH.
2. Goryshina T.K. *Èkologija rastenij* [Plant ecology]. Moscow, Vysshaja škola Publ., 1979. 368 p. (In Russ.).
3. Knyazev M.S. [Petrophytic vegetation in the valley of the Chusovaya River]. *Botaničeskie issledovanija na Urale* [Botanical research in the Urals: proceedings of the scientific conference]. Perm', 2009, pp. 115-120. (In Russ.). EDN: SXAESL.
4. Kotlov Yu.V. [Lichen species from Sverdlovsk region new to the Urals]. *Botaničeskij žurnal*. V. 88, No. 4 (2003): pp. 145-146. (In Russ.). EDN: OJUHTF.
5. Baklanov M.A., ed. *Krasnaja kniga Permskogo kraja* [Red Book of Perm Krai]. Perm', Aldari Publ., 2018. 232 p. (In Russ.).
6. Korytin N.S., ed. *Krasnaja kniga Sverdlovskoj oblasti: životnye, rastenija, griby* [Red Book of the Sverdlovsk Region: animals, plants, fungi]. Ekaterinburg, 2018. 450 p. (In Russ.).
7. Krylov P.N. [Material to the flora of the Perm province]. *Trudy obščestva estestvoispytatelej pri Kazanskom universitete*. V. 4, iss. 6 (1881): pp. 1-304. (In Russ.).
8. Rjabkova K.A. [Catalogus systematicus lichenum Uralensium]. *Novosti sistematiki nižšich rastenij*. V. 32 (1998): pp. 81-87. (In Russ.).
9. Selivanov A.E., Urbanavichus G.P., Shkaraba E.M. et al. *Predvaritel'nyj spisok lichenoflory Permskogo kraja* [Preliminary list of lichen flora of the Perm region]. Perm, 2015. 156 p. (In Russ.).
10. Sokolova G.G. [The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distribution]. *Acta biologica Sibirica*. V. 2, No. 3 (2016): pp. 34-45. (In Russ.). EDN: XQNNHR.
11. Siuzev P.V. *Konspekt flory Urala v predelach Permskoj gubernii* [Summary of the flora of the Urals within the Perm province]. Moscow, 1912. 206 p. (In Russ.).
12. *Flora lišajnikov Rossii: Biologija, èkologija, raznoobrazie, rasprostranenie i metody izučeniya lišajnikov* [The lichen Flora of Russia. Biology, ecology, diversity, distribution and methods to Study lichens]. Moscow, St-Peterburg, 2014. 392 p. (In Russ.).
13. Buschbom J., Kappen L. The role of microclimate for the lichen vegetation pattern on rock surfaces in the Subarctic. *Sauteria*. V. 9 (1998): pp. 79-94.
14. Daniëls F.J.A. Vegetation of the Angmagssalik district, southeast Greenland. III. Epilithic macrolichen communities. *Meddelelser Om Grønland*. V. 198 (1975): pp. 1-32.
15. John E., Dale M.R.T. Environmental correlates of species distributions in a saxicolous lichen community. *Journal of Vegetation Science*. V. 1 (1990): pp. 385-392. DOI: 10.2307/3235715.
16. Kholod S., Konoreva L., Chesnokov S. Influence of Orographic Factors on the Distribution of Lichens in the Franz Josef Land Archipelago. *Plants*. V. 13(2) (2024). Art. 193. DOI: 10.3390/plants13020193.
17. Link S.O., Nash T.H. An analysis of an arctic lichen community with respect to slope on silicious rocks at Anaktuvuk Pass, Alaska. *Bryologist*. V. 87 (1984): pp. 162-166. DOI: 10.2307/3243126.
18. Paukov A., Teptina A. New records of lichens from Middle Urals, Russia. *Folia Cryptogamica Estonica*. V. 49 (2012): p. 45-57. EDN: SLAVIV.

Статья поступила в редакцию 10.06.2025; одобрена после рецензирования 19.06.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 10.06.2025; approved after reviewing 19.06.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторе

Е. А. Лаврская – ассистент кафедры биологии и географии ПГППУ; аспирант кафедры ботаники и генетики растений ПГНИУ.

Information about the authors

E. A. Lavrskaya – Assistant of the Department of Biology and Geography Perm State Humanitarian Pedagogical University; Postgraduate Student the Department of Botany and Plant Genetics Perm State University.

БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.2

EDN: DKZNOS

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-240-247



Определение качественных показателей волокна у устойчивых к вилту сортов образцов хлопчатника в условиях Абшерона

Н. Х. Мамедова, Г. С. Абдулalieва, Ф. М. Юнусова, Ш. А. Ализаде, А. Н. Ширинова

Институт Генетических Ресурсов, Баку, Азербайджан

Автор, ответственный за переписку: Шадер Айдын Ализаде, shader622@mail.ru

Аннотация. Получению высоких и устойчивых урожаев хлопчатника препятствуют вредители и болезни, среди последних наибольший ущерб наносят корневая гниль, гоммоз и вилт (увядание). Особенно вредоносным заболеванием хлопчатника является инфекционное увядание, которое вызывается двумя патогенами – паразитическими грибами *Verticillium* и *Fusarium*, в связи с чем различают вертициллезный и фузариозный вилт. При поражении хлопчатника вертициллезным вилтом (*Verticillium dahliae* Klebahn) снижается не только его урожайность, но и существенно падает качество волокна. На искусственно-инфекционном вилтовом фоне Абшеронской научно-исследовательской базы Института Генетических Ресурсов проводилось изучение поражаемости сортов и форм хлопчатника вертициллезным вилтом и технологических признаков волокна местных и интродуцированных сортов образцов хлопчатника, имеющих различное географическое происхождение. Для исследования были взяты коллекционные сорта и формы хлопчатника вида *G. hirsutum*. В результате исследования технологических свойств волокна хлопчатника: верхняя средняя длина волокна, удельная разрывная нагрузка, удлинение до разрыва, микронейр, линейная плотность и устойчивость к вертициллезному вилту был отобран 31 сорт образец. Согласно кластерному анализу по качественным показателям волокна сорт образцы хлопчатника были сгруппированы в две основные группы и каждая группа состояла из двух подгрупп. На основании фитопатологической оценки сортов и форм хлопчатника было установлено, что выделенные нами иммунные и устойчивые к вилту сорт образцы имели также высокие качественные показатели волокна.

Ключевые слова: хлопчатник, *Verticillium dahliae* Klebahn, *G. hirsutum*, сорт образец

Для цитирования: Определение качественных показателей волокна у устойчивых к вилту сорт образцов хлопчатника в условиях Абшерона / Н. Х. Мамедова, Г. С. Абдулalieва, Ф. М. Юнусова, Ш. А. Ализаде, А. Н. Ширинова // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 240–247. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-2-240-247>.

BOTANY

Original article

Determination of fiber quality indicators in wilt-resistant cotton varieties under Absheron conditions

N. Kh. Mammadova, G. S. Abdulaliev, F. M. Yunusova, Sh. A. Alizade, A. N. Shirinova

Genetic Resources Institute, Baku, Azerbaijan

Corresponding author: Shader A. Alizade, shader622@mail.ru

Abstract. Pests and diseases create great difficulties for obtaining high and stable cotton yields. Among cotton diseases, the greatest damage is caused by root rot, gummosis and wilt (withering). A particularly harmful cotton disease is infectious wilt, which is caused by two pathogens - parasitic fungi *Verticillium* and *Fusarium*, in connection with which verticillium and fusarium wilt are distinguished. When cotton is affected by verticillium wilt, *Verticillium dahliae* Klebahn, not only its yield decreases, but also the quality of the fiber drops significantly. On the artificial infectious wilt background of the Absheron Research Base of the Institute of Genetic Resources, a study was conducted on the susceptibility of cotton varieties and forms to verticillium wilt and the technological characteristics of the fiber of local and introduced cotton varieties of different geographical ori-

gins. Collection varieties and forms of cotton of the species *G. hirsutum* were taken for the study in the amount of 31 variety samples. As a result of the study of the technological properties of cotton fiber: the upper average fiber length, specific breaking load, elongation before breaking, micronaire, linear density and resistance to verticillium wilt, in the amount of 31 variety samples were selected. According to the cluster analysis, cotton varieties by fiber quality indicators were grouped into two main groups and each group consisted of two subgroups. Based on the phytopathological assessment of cotton varieties and forms, it was found that the immune and wilt-resistant variety samples we selected also had high fiber quality indicators.

Keywords: cotton, *Verticillium dahliae* Klebahn, *G. hirsutum*, variety

For citation: Mammadova N. Kh., Abdulaliev G. S., Yunusova F. M., Alizade Sh. A., Shirinova A. N. [Determination of fiber quality indicators in wilt-resistant cotton varieties under Absheron conditions]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 240-247. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-240-247>.

Введение

Хлопководство является одной из важных отраслей сельского хозяйства республики Азербайджан. Благодаря широкому использованию научных достижений и передового опыта в последние годы достигнуты определенные успехи в развитии хлопководства [Alizada et al., 2020; Akparov et al., 2021]. Особую актуальность в этой области наряду с другими признаками хлопчатника приобретает повышение качества хлопкового волокна [Mammadova et al., 2021, Ализаде, 2023]. Научный поиск и синтез новых носителей доноров ценных признаков должен быть направлен не только на увеличение валового сбора хлопка-сырца, но и на улучшение качества урожая с тем, чтобы качество сырья и готовых изделий из него повышало конкурентную способность хлопковой продукции на мировом рынке. Культивируемый хлопчатник является основной технической культурой. Около 50% волокна, необходимого для мировой текстильной промышленности, получают из хлопка [Alizade et al., 2023b]. При поражении хлопчатника вертициллезным вилтом снижается не только его урожайность, но и существенно падает качество волокна: длина, крепость, относительная разрывная нагрузка, микронейр, линейная плотность [Mamedova, 2011].

Высококачественное волокно – один из факторов повышения производительности труда, внедрения автоматизации в прядильном и ткацком производстве, где эффективное использование технического оборудования определяется комплексом технологических показателей волокна, главным образом длиной, прочностью (крепостью) и разрывной длиной. Отсюда вытекает необходимость повысить и уровень селекции хлопчатника на качество волокна [Автономов, 2006]. Наряду с комплексом агротехнических мероприятий большое значение имеет внедрение в производство новых скороспелых, высокоурожайных, устойчивых против болезней сортов хлопчатника с высоким качеством волокна [Amrahov et al., 2024; Alizade et al., 2024].

Однако на пути к высоким и устойчивым урожаям хлопчатника стоит немало трудностей. Одна из них – поражение растений вредителями и болезнями. Среди заболеваний хлопчатника наибольший ущерб растениям наносят корневая гниль, гоммоз и вилт. Особенно вредоносным из них является вилт. При заболевании этой болезнью не только уменьшается урожай, но и в значительной мере снижается его качество – длина, крепость волокна, маслячность, всхожесть семян. Заражение хлопчатника происходит в основном в почве через корни при прорастании микросклероциев в их ризосфере [Азимов и др., 2015; Ализаде, 2022, Mammadova et al., 2023].

На научно-исследовательские институты возлагается большая ответственность в борьбе с вредителями и болезнями, которые очень плохо влияют на развитие хлопководства [Alizade, 2022]. Одной из главных задач в сельском хозяйстве является создание устойчивых и толерантных к болезням и вредителям сортов. Селекционные работы, проводимые в области получения устойчивых к болезням форм, пока недостаточны [Mammadova et al., 2024; Alizada, Aliyeva, 2024; Mammadova et al., 2025]. Одним из главных условий этого является передача наследственных признаков устойчивости от родительских форм к следующему поколению [Alizade, Mammadova, 2023a]. Вертициллезное увядание – одно из самых распространенных заболеваний в хлопководстве. Возбудителем этого заболевания является грибок *Verticillium dahliae* Klebahn, встречающийся в почве. Как только в процессе выращивания повреждается корень растения, мицелий гриба попадает в него. Если поражение происходит в начале вегетационного периода – растение погибает, если позже – снижается урожайность [Мамедова, 2009].

Патогены, вызывающие инфекционные заболевания, для роста и развития используют органические вещества растения и этим наносят значительный вред растению-хозяину. В то же время наличие возбудителя в тканях растения и внедрение продуктов их метаболизма оказывают на растение негативное воздействие; кроме того, накопление продуктов метаболизма возбудителя в тканях растения может стать причиной токсичности растительного продукта. Все вышесказанное приводит к нарушению нормальной жизнедеятельности растения. Основной целью исследования было изучение качественных показателей волокна у сортов хлопчатника, в разной степени пораженных болезнью увядания, и выявление устойчивых образцов.

Материалы и методы

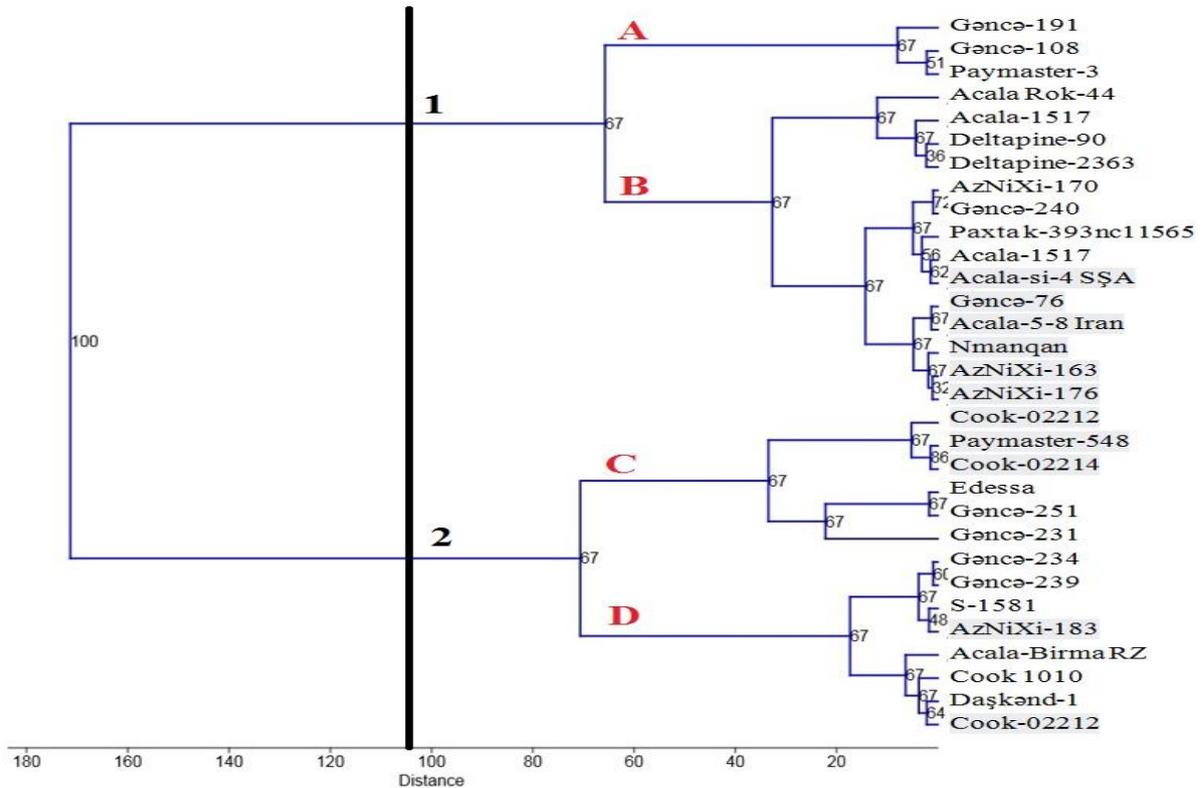
Фитопатологическое изучение поражаемости сортов и форм хлопчатника вертициллезным вилтом и изучение технологических признаков волокна местных и интродуцированных сортообразцов хлопчатника, имеющих различное географическое происхождение, проводилось на искусственно-инфекционном вилтовом фоне Абшеронской научно-исследовательской базы Института Генетических Ресурсов Министерства Науки и Образования Азербайджана. Для исследования из Национального Генбанка Института Генетических Ресурсов были взяты коллекционные сорта и формы хлопчатника вида *G. hirsutum*. Были отобраны 31 сорт хлопка из Азербайджана, США, Турции, Узбекистана и Мексики, обладающие высокими качественными характеристиками волокна и устойчивостью к увяданию.

Тестирование качественных признаков волокна, изучаемых сортов, проводилось на электронной системе HVI (High Volume Instrument), соответствующей международным стандартам.

Изучали следующие важные технологические свойства волокна: верхнюю среднюю длину волокна, удельную разрывную нагрузку, удлинение до разрыва, микронейр и линейную плотность. Сортообразцы хлопчатника по этим признакам были сгруппированы согласно кластерному анализу, который был выполнен с использованием евклидова индекса сходства на основе алгоритма Уорда. Дендрограммы строились с помощью программы Past v4.17 (<https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>) на основе 1000 бутстрап. По общепринятой методике Ф.В. Вайтенока [1970], по пятибалльной шкале изучали фитопатологическую устойчивость сортов и форм хлопчатника к вертициллезному вилту.

Результаты и обсуждение

Отобранные нами по высоким качественным показателям волокна и устойчивостью к вертициллезному вилту сорта хлопчатника в количестве 31 образца, собраны в две основные группы и каждая группа состоит из двух подгрупп (рисунок). В подгруппе А первой основной группы объединены 3 сорта, в подгруппе В 14 сортов, в подгруппе С второй основной группы 6 сортов, а в подгруппе D 8 сортов. Сорта Гәncә-191, Гәncә-108 и Paymaster-3, находящиеся в подгруппе А отличались положительным показателем микронейра равным 3.5–3.6, то есть эти сорта являются тонковолокнистыми. Верхняя средняя длина волокна у сорта Гәncә-108 была 30.9 мм, у сорта Гәncә-19133, 4 мм, то есть они относятся к III типу длиноволокнистых сортов.



Кластерный анализ сортообразцов хлопчатника по показателям качества волокна методом Уорда с использованием программы Past

[Cluster analysis of cotton variety samples in terms of fiber quality by the Ward method using the Past program]

В подгруппе В объединены 14 следующих сортов Acala Rok-44, Acala-1517, Deltapine-90, Deltapine 2363, AzNIXI-170, Gəncə-240, Paxtak-393, Acala-1517 PR, Acala-si-4, Gəncə-76, Acala-5-8, Nmanqan, AzNIXI-163, AzNIXI-176. В этой подгруппе все признаки варьировали в очень широком диапазоне. Микронейр в пределах 41–48, верхняя средняя длина от 25.8 мм до 30.7 мм, а относительная разрывная нагрузка была зафиксирована в интервале 26.7–30.3 g/tex. Сорта, находящиеся в подгруппе В, относятся к средневолокнистым сортам IV, V и VI типа волокна.

Сорта Cook-02212, Paymaster-548, Cook-02214, Edessa, Gəncə-151, Gəncə-131 входят в подгруппу С, а сорта хлопчатника Gəncə-234, Gəncə-239, S-1581, AzNIXI-183, Acala-Birma RZ, Cook-1010, Daşkənd-1, Cook-02213 объединены в подгруппе D второй основной группы. У сортообразцов подгруппы С и D второй основной группы между признаками наблюдалась очень незначительная вариация и по их показателям эти сортообразцы являются средневолокнистыми и отвечают требованиям, предъявляемым к IV типу волокна.

Таким образом, по результатам кластерного анализа сортообразцы сгруппированные в подгруппе А по качественным признакам волокна являются комплексно-положительными и относятся к III типу волокна.

Сорта, сгруппированные в подгруппе D, отличались по одному или нескольким высоким показателям признаков. Сортообразцы, относящиеся ко второй группе, по исследованным качественным показателям волокна полностью соответствуют требованиям текстильной промышленности.

На основании фитопатологического изучения были отобраны иммунные и устойчивые к вилту сортообразцы хлопчатника и составлены таблицы количественного и процентного соотношения степени устойчивости к болезни (табл. 1).

Таблица 1

Степень устойчивости к вертициллезному вилту, отобранных коллекционных сортообразцов хлопчатника вида *G. hirsutum*

[The degree of resistance to verticilliose wilt of selected collectible cotton varieties of the *G. hirsutum* species]

Степень устойчивости	Устойчивость в баллах	Число	%
Иммунные	0	19	61.3
Высокоустойчивые	1	2	6.5
Устойчивые	2	6	19.4
Толерантные	3	4	12.9
Восприимчивые	4	-	-
Сильновосприимчивые	5	-	-
Всего	-	31	

У отобранных нами сортов и форм хлопчатника степень устойчивости к вертициллезному вилту была различной. В таблице 1 представлены результаты фитопатологической оценки устойчивости к вилту отобранных нами коллекционных сортообразцов хлопчатника вида *G. hirsutum*. На представленной таблице из 31 сортообразца хлопчатника 61.3% – иммунные; 6.5% – высокоустойчивые; 19.4% – устойчивые; 12.9 – толерантные, восприимчивые и сильновосприимчивые сортообразцы не выявлены. Среди изученных коллекционных сортообразцов хлопчатника в большинстве преобладали следующие иммунные к вилту сорта и формы: AzNIXI-170, S-1581, AzNIXI-183, Gəncə-76, Gəncə-108, Gəncə-231, Gəncə-234, Gəncə-239, Gəncə-240, Acala-1517PR-2, Acala-Birma RZ, Acala-si-4 SŞA, Acala-5-8 İnan, Paymaster-548, Cook 1010, Cook-02213, Deltapine-90, Deltapine2363 Bolqar, Paxtak-393NC-11565.

Высокоустойчивыми сортообразцами были AzNIXI-176, Gəncə-251, устойчивыми – Acala-1517, Edessa Türkiyə, AzNIXI-163, Gəncə-191, Paymaster-3, Cook-02212 и толерантными – Daşkənd-1, Namanqan, Acala-Rok 44, Cook-02214. Было выявлено, что устойчивые к вертициллезному вилту сорта имели высокие показатели качества волокна (табл. 2).

Таблица 2

Показатели качественных признаков волокна и степень поражаемости вилтом сортов хлопчатника

[Indicators of the qualitative characteristics of fiber and the degree of wilt infestation of cotton varieties]

Название сорта	Верхняя средняя длина, mm	Удельная разрывная нагрузка, g/tex	Удлинение до разрыва, %	Микронейр, unit	Линейная плотность, m/tex	Степень поражаемости, %
AzNIXI-170	29.1	27.2	6.4	4.2	149	0
Acala-1517	28.6	26.7	6.4	4.3	154	25.0
Daşkənd-1	29.5	25.9	5.9	4.7	188	33.0
S-1581	28.9	30.2	6.5	4.5	174	0

Название сорта	Верхняя средняя длина, mm	Удельная разрывная нагрузка, g/tex	Удлинение до разрыва, %	Микро-нейр, unit	Линейная плотность, m/tex	Степень поражаемости, %
Nmanqan	29.8	27.3	7.3	4.3	158	33.3
Edessa Turkiyə	28.2	28.7	6.8	4.9	215	16.8
AzNIXI-163	28.9	29.2	7.1	4.3	158	25.0
AzNIXI-176	28.5	28.2	6.8	4.3	157	10.0
AzNIXI-183	30.3	30.2	6.7	4.6	176	0
Gəncə-76	29.7	28.9	6.4	4.4	162	0
Gəncə-108	30.9	28.4	6.3	3.6	116	0
Gəncə-191	33.4	36.4	6.9	3.5	115	16.7
Gəncə-231	28.9	28.0	6.3	5.1	242	0
Gəncə-234	28.9	28.0	6.3	5.1	178	0
Gəncə-239	29.4	28.4	6.4	4.6	177	0
Gəncə-240	28.4	27.6	6.5	4.2	150	0
Gəncə-251	28.7	30.9	7.1	4.0	215	10.0
Acala-1517 PR-2	31.6	30.3	6.8	4.1	143	0
Acala –Rok 44	30.7	30.3	6.9	3.9	130	33.3
Acala-Birma RZ	28.6	29.1	6.8	4.7	183	0
Acala-si-4 SŞA	28.9	26.9	6.4	4.3	152	0
Acala-5-8 İran	28.4	28.4	7.0	4.4	161	0
Paymaster-3	29.0	27.0	6.1	3.5	114	12.5
Paymaster-548	28.5	27.8	6.3	4.9	207	0
Cook 1010	29.3	28.1	6.8	4.7	191	0
Cook-02214	28.4	28.1	6.5	4.9	205	27.3
Cook-02212	28.7	29.2	6.7	4.8	200	25.0
Cook-02213	28.0	28.3	6.6	4.7	187	0
Deltapine-90	29.0	28.2	6.4	4.1	142	0
Deltapine-2363	26.0	28.5	6.7	4.1	143	0
Paxta k-393NC-11565	25.8	28.2	6.7	4.2	152	0

Кечагия и Ксантопулос обнаружили значительное снижение значений обрыва волокна и микронейра со 2 или 3-й степени в зависимости от сорта [Kechagia, Xanthopoulos, 1998]. Айеле и др. определили, что содержание коротких волокон, микронейр, количество узелков, тонкость и содержание незрелых волокон также значительно пострадали под воздействием вертициллезного увядания как у восприимчивых, так и у устойчивых сортообразцов [Ayele et al., 2020].

В результате повышенной стойкости к заболеванию относительно устойчивые сорта реагируют на воздействие гриба-паразита в меньшей степени, проявляя большую стабильность, чем восприимчивые и при заражении вилтом дают значительно выше урожай по сравнению с неустойчивыми, у которых из-за болезни резко понижается продуктивность и качество волокна [Дьякова, 1984]. При использовании метода отдаленной гибридизации, широко применяемого в селекции хлопчатника, возникает возможность выведения сортов, сочетающих в себе как устойчивость к заболеванию вертициллезом, так и высокие технологические качества волокна [Рахманкулов и др., 2016]. Замена восприимчивых сортов хлопчатника относительно вилтоустойчивыми дает положительный эффект в отношении снижения вилта. Большинство исследователей допускают, что внедрение относительно вилтоустойчивых сортов является наиболее эффективным мероприятием, которое может решить проблему вилта [Мирахмедов и др., 2016].

Заключение

Комплексное изучение качественных признаков волокна и устойчивости к вертициллезному вилту коллекционных сортов и форм хлопчатника, позволило отобрать сортообразцы с высокими показателями качества волокна и устойчивостью к вилту. Эти отобранные сортообразцы с комплексно положительными признаками могут быть использованы в селекционном процессе исходным материалом, в качестве доноров устойчивости к болезни, а также рекомендованы для использования в хлопкосеющих районах, где наиболее сильно распространено это заболевание.

Список источников

1. Автономов В.А. Географически отдаленная гибридизация в селекции средневолокнистых сортов хлопчатника. Ташкент: Turon-Iqbol, 2006. 20 с.
2. Ализаде Ш. Роль миРНК в ответах на солевой стресс хлопчатника // Достижения в области биологии и наук о Земле. 2022. Т. 7, № 1. С. 80–84.
3. Ализаде Ш.А. Сравнительная оценка профилей экспрессии гена *GhCIPK6* при различных концентрациях NaCl в проростках хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2024. Вып. 2. С. 212–220. DOI: 10.17072/1994-9952-2024-2-212-220. EDN: RITUFV.
4. Азимов А. и др. Изучение генетики вилтоустойчивости форм хлопчатника с участием интрогрессивных линий // Международный сельскохозяйственный журнал. 2015. № 5. С. 53–55. EDN: UWPQAB.
5. Войтенко Ф.В. Методика долгосрочного прогноза вертициллезного вилта хлопчатника. М.: Колос, 1970. 15 с.
6. Дьякова Ю.Т. Общая и сельскохозяйственная фитопатология. М.: Колос, 1984. 495 с.
7. Мамедова Н.Х. Изучение устойчивости гибридных форм хлопчатника к вертициллезному увяданию // Интродукция, селекция и защита растений: материалы II Междунар. науч. конф. Донецк, 2009. Т. 2. С. 73–76.
8. Мамедова Н.Х. Изучение степени поражаемости вертициллезным вилтом межвидовых гибридов хлопчатника на искусственно-зараженном фоне // International conference “Diversity, characterization and utilization of plant genetic resources for enhanced resilience to climate change”. ELM, 2011. P. 181–182.
9. Мирахмедов Ф.Ш. и др. Болезнь хлопчатника вертициллезный вилт и методы борьбы с ним в условиях ферганской долины // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 9–2. С. 92–94.
10. Рахманкулов М.С., Ким Р.Г., Барнаева С.М. Скороспелость новых линий хлопчатника вида *G. hirsutum* L., обладающих комплексом хозяйственно-ценных признаков // 1-я Международная научно-практическая конференция «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования». Ташкент, 2016. С. 2703–2708.
11. Akparov Z.I. et al. Competitive evaluation of perspective cotton lines in variety development nursery // Advances in Current Natural Sciences. 2021. Vol. 10. P. 7–12.
12. Alizada Sh., Aliyeva K. Comparative analysis of expression profiles of antiporter encoding gene (*GhNHX1*) under different concentrations of NaCl in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // Advances in Biology & Earth Sciences. 2024. Vol. 9, № 1. P. 168–174. DOI: 10.62476/abes9168.
13. Alizada S. et al. System Perspective Analysis for Molecular and Genetic Source of Salt Tolerance in Cotton // Khazar Journal of Science and Technology. 2020. Vol. 4, № 1. P. 70–83.
14. Alizade S. Comparative study of SPAD values in cotton plant under salt stress // Proceedings of Genetic Resources Institute of ANAS. 2022. Vol. 11, № 1. P. 139–146.
15. Alizade S. et al. Shamorad Moghanloo B. Salinity, *Verticillium wilt* tolerance and genetic diversity analysis of upland cotton genotypes // Advances in Biology & Earth Sciences. 2024. Vol. 9, № 2. P. 242–252. DOI: 10.62476/abes9242.
16. Alizade S., Mammadova R. Assessment of salt stress resistance of cotton varieties based on different parameters // Advances in Biology & Earth Sciences. 2023a. Vol. 8, № 1. P. 58–66.
17. Alizade S., Mammadova R., Sirajli N. Evaluation of morphometric traits of upland cotton genotypes under different concentration of NaCl // Advances in Biology & Earth Sciences. 2023b. Vol. 8, № 3. P. 301–307.
18. Amrahov N.R. et al. The involvement of phytohormones in plant–pathogen interaction // Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2024. Vol. 15, № 3. P. 527–542. DOI: 10.15421/022474.
19. Ayele A.G., Wheeler T.A., Dever J.K. Impacts of *Verticillium Wilt* on Photosynthesis Rate, Lint Production, and Fiber Quality of Greenhouse-Grown Cotton (*Gossypium hirsutum*) // Plants (Basel). 2020. Vol. 9, № 7. P. 1–12. DOI: 10.3390/plants9070857.
20. Kechagia U.E., Xanthopoulos F.P. Degree of *Verticillium Wilt* Infection and the Relative Damage in Fiber Quality Parameters // World Cotton Research. 1998. P. 967–969.
21. Mammadova R.B. et al. Prospects of the remote hybridization on improvement of the main economical traits of cotton genotypes with naturally colored fibre // East European Scientific Journal. 2021. Vol. 6, № 70. P. 4–7.
22. Mammadova R. et al. Analysis of qualitative and quantitative signs collectible cotton genotypes // Albanian Journal of Agricultural Sciences. 2023. Vol. 22, № 3. P. 1–7.
23. Mammadova R. et al. Evaluation of genetic diversity using SSR markers and link with drought response of Azerbaijani durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes // Genetic Resources and Crop Evolution. 2024. Vol. 71, № 5. P. 2203–2212. DOI: 10.1007/s10722-023-01763-w.
24. Mammadova R. et al. Genetic diversity analysis of Azerbaijani bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes with simple sequence repeat markers linked to drought tolerance // Genetic Resources and Crop Evolution. 2025. Vol. 72. P. 315–323. DOI: 10.1007/s10722-024-01977-6.

References

1. Avtonomov V.A. *Geografičeski otdalennaja gibrizacija v selekcii srednevoloknistych sortov chlopčatnika* [Geographically distant hybridization in breeding medium-fiber cotton varieties]. Tashkent, Turon-Iqbol Publ., 2006. 20 p. (In Russ.).
2. Alizade S. [Role of miRNAs in cotton salt stress responses]. *Dostiženija v oblasti biologii i nauk o Zemle*. V. 7, No. 1 (2022): pp. 80-84. (In Russ.).
3. Alizade Sh.A. [Comparative evaluation of *GhCIPK6* gene expression profiles under different concentrations of NaCl in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2024): pp. 212-220. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2024-2-212-220. EDN: RITUFV.
4. Azimov A., Musaev J., Ahmedov Kh., Abzalov M. [Study of the genetics of wilt resistance in cotton forms using introgressive lines]. *Meždunarodnyj sel'skochozjajstvennyj žurnal*. N. 5 (2015): pp. 53-55. (In Russ.).
5. Voytenok F.V. *Metodika dolgosročnogo prognoza verticillijnogo viltu chlopčatnika* [Methodology for long-term forecasting of cotton verticillium wilt]. Moscow, Kolos Publ., 1970. 15 p. (In Russ.).
6. Dyakova Y.T. *Obščaja i sel'skochozjajstvennaja fitopatologija* [General and agricultural phytopathology]. Moscow, Kolos Publ., 1984. 495 p. (In Russ.).
7. Mamedova N.Kh. [Study of resistance of hybrid forms of cotton to verticillium wilt]. *Introdukcija, selekcija i zaščita rasteņij: materialy II Meždunar. nauč. konf.* [Proceedings of II International Scientific Conference "Introduction, Breeding and Plant Protection"]. Doneck, 2009, V. 2, pp. 73-76. (In Russ.).
8. Mamedova N.Kh. [Study of the degree of susceptibility of interspecific cotton hybrids to verticillium wilt on an artificially infected background]. *Proceedings of International conference "Diversity, characterization and utilization of plant genetic resources for enhanced resilience to climate change"*. ELM, 2011, pp. 181-182. (In Russ.).
9. Mirahmadov F.S., Rahimov A.D., Mirhomidova N.A., Mirhomidova Q.M., Komilova D.K. [Cotton disease verticillium wilt and methods of control in the Fergana Valley]. *Sovremennye tendencii razvitiia nauki i texnologij*. No. 9-2. (2016): pp. 92-94. (In Russ.).
10. Rahmankulov M.S., Kim R.Q., Barnaeva S.M. [Early maturity of new cotton lines of the species *G. hirsutum* L., possessing a complex of economically valuable traits]. *Proceedings of 1st International Scientific and Practical Conference "Modern Ecological State of the Natural Environment and Scientific and Practical Aspects of Rational Nature Management"*. Tashkent, 2016, pp. 2703-2708. (In Russ.).
11. Akparov Z.I., Mamedova R.B., Guseynova L.A., Abdulaliev G.S., Yunusova F.M., Alizade Sh.A. Competitive evaluation of perspective cotton lines in variety development nursery. *Advances in Current Natural Sciences*. V.10 (2021): pp. 7-12.
12. Alizada S., Aliyeva K. Comparative analysis of expression profiles of antiporter encoding gene (*GhNHX1*) under different concentrations of NaCl in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Advances in Biology & Earth Sciences*. V. 9, No. 1 (2024): pp. 168-174. DOI: 10.62476/abes9168.
13. Alizada S., Guliev R., Mammadova R., Zaefizadeh M. System Perspective Analysis for Molecular and Genetic Source of Salt Tolerance in Cotton. *Khazar Journal of Science and Technology*. V. 4, No. 1 (2020): pp. 70-83.
14. Alizade S. Comparative study of SPAD values in cotton plant under salt stress. *Proceedings of Genetic Resources Institute of ANAS*. V. 11, No. 1 (2022): pp. 139-146.
15. Alizade S., Aliyeva K., Mammadova R.B., Bayramli O., Shamorad Moghanloo B. Salinity, *Verticillium wilt* tolerance and genetic diversity analysis of upland cotton genotypes. *Advances in Biology & Earth Sciences*. V. 9, No. 2 (2024): pp. 242-252. DOI: 10.62476/abes9242.
16. Alizade S., Mammadova R. Assessment of salt stress resistance of cotton varieties based on different parameters. *Advances in Biology Earth Sciences*. V. 8, No. 1 (2023a): pp. 58-66.
17. Alizade S., Mammadova R., Sirajli N. Evaluation of morphometric traits of upland cotton genotypes under different concentration of NaCl. *Advances in Biology & Earth Sciences*. V. 8, No. 3 (2023b): pp. 301-307.
18. Amrahov N.R., Aghazada G.A., Alizada S.R., Mehdiyeva G.V., Mammadova R.B., Alizade S.A., Mammadov Z.M. The involvement of phytohormones in plant-pathogen interaction. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. V. 15, No. 3 (2024): pp. 527-542. DOI: 10.15421/022474.
19. Ayele A.G., Wheeler T.A., Dever J.K. Impacts of Verticillium Wilt on Photosynthesis Rate, Lint Production, and Fiber Quality of Greenhouse-Grown Cotton (*Gossypium hirsutum*). *Plants (Basel)*. V. 9, No. 7 (2020): pp. 1-12. DOI: 10.3390/plants9070857.
20. Kechagia U.E., Xanthopoulos F.P. Degree of Verticillium Wilt Infection and the Relative Damage in Fiber Quality Parameters. *World Cotton Research*. (1998): pp.967-969.
21. Mammadova R.B., Huseynova L.A., Abdulaliyeva G.S., Yunusova F.M., Alizade Sh.A. Prospects of the remote hybridization on improvement of the main economical traits of cotton genotypes with naturally colored fibre. *East European Scientific Journal*. V. 6, No. 70 (2021): pp. 4-7.

22. Mammadova R., Huseynova L., Mammadova A., Abdulaliyeva G., Mammadova N., Yunusova F., Alizade Sh. Analysis of qualitative and quantitative signs collectible cotton genotypes. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*. V. 22, No. 3 (2023): pp. 1-7.

23. Mammadova R., Amri A., Akparov Z., Alo F., Sheikhzamanova F., Abbasov M., Amrahov N., Hajiyev E., Alizade Sh. Evaluation of genetic diversity using SSR markers and link with drought response of Azerbaijani durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes. *Genetic Resources and Crop Evolution*. V. 71, No. 5 (2024): pp. 2203-2212. DOI: 10.1007/s10722-023-01763-w.

24. Mammadova R., Akparov Z., Amri A., Bakhsh A., Alo F., Alizade Sh., Amrahov N., Yunisova F. Genetic diversity analysis of Azerbaijani bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes with simple sequence repeat markers linked to drought tolerance. *Genetic Resources and Crop Evolution*. V. 72 (2025): pp. 315-323. DOI: 10.1007/s10722-024-01977-6.

Статья поступила в редакцию 10.06.2025; одобрена после рецензирования 25.08.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 10.06.2025; approved after reviewing 25.08.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

Наиля Хуршуд Мамедова – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник;
Гюльшан Сурхай Абдулалиева – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник;
Фируза Мамедага Юнусова – старший научный сотрудник;
Шадер Айдын Ализаве – shader622@mail.ru, докторант, научный сотрудник;
Айтен Назир Ширинова – младший научный сотрудник.

Information about the authors

Naila Kh. Mammadova – PhD in biology, leading researcher;
Gulshan S. Abdulaliyeva – PhD in biology, leading researcher;
Firuza M. Yunusova – senior researcher;
Shader A. Alizade – shader622@mail.ru, PhD student, researcher;
Ayten N. Shirinova – junior researcher.

Вклад авторов:

Мамедова Н. Х. – научное руководство; концепция исследования.
Абдулалиева Г. С. – научное руководство; сбор данных.
Юнусова Ф. М. – концепция исследования; итоговые выводы.
Ализаве Ш. А. – итоговые выводы; редактирование исходного текста.
Ширинова А. Н. – концепция исследования; написание исходного текста.

Contribution of the authors:

Mammadova N. Kh. – scientific management; research concept.
Abdulaliyeva G. S. – scientific management; data collection.
Yunusova F. M. – research concept; final conclusions.
Alizade S. A. – final conclusions; draft editing.
Shirinova A. N. – research concept; writing the draft.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

БОТАНИКА

Краткое сообщение

УДК 582.623(470.53)

EDN: FYOSHG

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-248-252



***Larix sibirica* Ledeb. s.l. (Pinaceae) в Саду им. Любимова г. Перми**

Наталья Александровна Молганова

Пермский государственный аграрно-технологический университет им. акад. Д. Н. Прянишникова, Пермь,
Россия, molganova@mail.ru

Аннотация. В июне 2025 г. в рамках обследования старовозрастных деревьев в г. Перми в Саду им. Любимова изучены морфометрические показатели дерева *Larix sibirica* Ledeb. s.l. (Pinaceae) при помощи высотомера Suunto RM-5/1520 и мерной ленты. Визуально определена категория санитарного состояния. Из древесины ствола отобран керн возрастным буром Пресслера Haglof. У керна после стандартной подготовки подсчитаны число годовичных колец и величина радиальных приростов под микроскопом Olympus SZ61TR. Возраст дерева составил 136 лет; год посадки – 1890. Средний прирост составляет 1.1 ± 0.1 мм; первые два десятилетия он был максимальным (5.8 ± 0.5 и 2.5 ± 0.4 мм соответственно); затем до 1959 г. он постепенно снижался. В последующие 40 лет стабилизировался на уровне 0.4 ± 0.03 мм. В последнее десятилетие показатель превышает средний уровень и составляет 0.5 ± 0.2 мм. Доказана историческая, культурная ценность дерева. Близость проезжей части, сопряженная с комплексом негативных экологических факторов, не оказывает на дерево критического воздействия. Дерево ослабленное (II категория санитарного состояния), что является нормальным для данного возраста; ствол продолжает рост в высоту и толщину.

Ключевые слова: ширина годовичного кольца, возраст, *Larix sibirica*, Пермь, Сад им. Любимова

Для цитирования: Молганова Н. А. *Larix sibirica* Ledeb. s.l. (Pinaceae) в Саду им. Любимова г. Перми // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 248–252. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-248-252>.

BOTANY

Short message

***Larix sibirica* Ledeb. s.l. (Pinaceae) in the Lyubimov Garden in Perm**

Natalia A. Molganova

Perm State agricultural and technological University, Perm, Russia, molganova@mail.ru

Abstract. In June 2025, as part of a survey of old-age trees in Perm in the Garden named after Lyubimov studied the morphometric parameters of the *Larix sibirica* Ledeb tree. s.l. (Pinaceae) using a Suunto RM-5/1520 altimeter and measuring tape. The category of sanitary condition is visually determined. A core was selected from the trunk wood using a Haglof Pressler age drill. After standard preparation, the number of annual rings and the amount of radial increments were calculated in the core under an Olympus SZ61TR microscope. The age of the tree was 136 years; the year of planting was 1890. The average increase is 1.1 ± 0.1 mm. For the first two decades, it was at its maximum (5.8 ± 0.5 and 2.5 ± 0.4 mm, respectively); then, until 1959, it gradually decreased. Over the next 40 years, it stabilized at the level of 0.4 ± 0.03 mm. In the last decade, the indicator has exceeded the average level and is 0.5 ± 0.2 mm. The historical and cultural value of the tree has been proven. The proximity of the roadway, coupled with a complex of negative environmental factors, does not have a critical impact on the tree. The tree is weakened (category II sanitary condition), which is normal for this age; the trunk continues to grow in height and thickness.

Keywords: tree-ring width, age, *Larix sibirica*, Perm, Lyubimov Garden

For citation: Molganova N. A. [*Larix sibirica* Ledeb. s.l. (Pinaceae) in the Lyubimov Garden in Perm]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 248-252. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-248-252>.

Работа по инвентаризации старовозрастных деревьев в г. Перми – полезная социально-значимая инициатива, которая является важной составной частью создания комфортной городской среды и бережного

отношения к городским экосистемам. Подобная работа ведется в Пермском крае и во многих других регионах [Рогозин, Красильников, 2017; Казакова, Белошенкова, 2017; Минеева, Касаткина, 2023; Кучеров, Вельмовский, 2025 и др.]. В 2025 г. в Перми в рамках данного направления был исследован сквер Сад им. Любимова (Сад им. С.М. Кирова), расположенный в историческом городском центре г. Перми в границах Ленинского р-на.

Дореволюционный период развития озеленения г. Перми начался в XVIII в. и продолжался до 1917 г. [Молганова, Овеснов, 2014]. В этот период были заложены общественные озелененные пространства: Сад им. М. Горького, Сквер им. Решетникова, бульвар по Комсомольскому проспекту, Сад Декабристов и Театральный сад, а также ряд других территорий, которые не сохранились на сегодняшний момент или представляли из себя усадебное озеленение или объекты специального назначения. В тот период на углу ул. Вознесенской (ныне Луначарского) и Обвинской (25-го Октября) располагалась Церковь Воскресения Христова, которая была возведена в середине XVIII в. на месте Сенного рынка^{1, 2}. На Схематическом плане города Молотова³ (1940 г.) храм уже не значится – он был разрушен, и освободившаяся территория получила имя площади С.М. Кирова. Часть растений, росших возле храма сохранили. Их обнесли оградой и сформировали сквер, в котором между деревьями пролегали дорожки. Со временем старые многократно подвергаемые обрезке тополя и другие лиственные деревья были удалены. В 1970-е гг. во время реконструкции ул. Луначарского проезжая часть была проведена насквозь через сквер и разделила его на две части. Он был дополнен современными посадками. В настоящий момент вблизи проезжей части удалось сохранить 3 дерева возрастом более 100 лет: в нижней половине сквера растёт *Pinus sylvestris* L., а в верхней – два дерева *Larix sibirica* Ledeb. s.l. (*Pinaceae*).

Одно из растений *Larix sibirica*, растущее на расстоянии около 1.5 м от проезжей части ул. Луначарского, было изучено в 2025 г. (рис. 1) для уточнения его возраста и динамики приростов. У дерева определены высота и высота штамба при помощи высотомера Suunto PM-5/1520. Санитарное состояние определено визуально в соответствии с действующей нормативной документацией⁴. Ствол исследованного дерева имел форму, значительно отличающуюся от круга, поэтому таксационный диаметр вычислен в ходе перерасчета из длины окружности, определенной на высоте 1.3 м при помощи мерной ленты. В июле 2025 г. на высоте 58 см из древесины ствола отобран радиальный керн при помощи возрастного бурава Пресслера Naglof. Керн после замачивания зачищен лезвием для безопасной бритвы и приклеен на подложку из пеноплекса. Число и величина годичных приростов древесины замерены при помощи бинокулярного стереоскопического микроскопа Olympus SZ61TR. Геометрический центр ствола не совпал по расположению с сердцевинной, поэтому число годичных приростов определено по методу Д.Е. Румянцев, А.В. Черакшева [2020]. Определен потенциальный прирост и индекс прироста по методу коридоров С.Г. Шиятова [1986].

Рост дерева в высоту в основном прекращен, но сохраняет – крона зонтичная, плосковершинная (рис. 1). Деревья относятся к субсенильному онтогенетическому состоянию, генеративных органов в настоящий момент не образуют. Высота дерева составляет 21.0 м, высота штамба – 11.5 м, протяженность кроны – 9.5 м, таксационный диаметр – 50.3 см.

Из-за близости проезжей части кора и ствол растения периодически повреждаются при зимнем содержании, эксплуатации и реконструкциях дорог и сквера. Последняя реконструкция Сада им. Любимова проходила в год обследования.

Максимальный диаметр кроны 8.3 м. Скелетные ветви

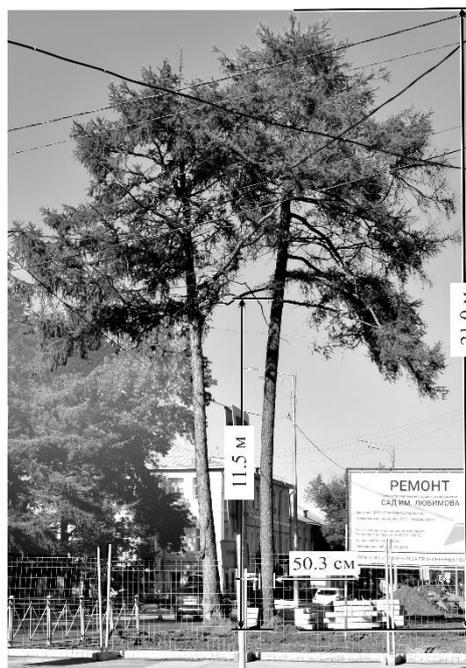


Рис. 1. *Larix sibirica* в Саду им. Любимова
[*Larix sibirica* in the Lyubimov Garden]

¹ Геометрический специальный план губернского г. Перми. 1822 г. // Это место. URL: http://www.etomesto.ru/map-perm_1822/ (дата обращения: 20.01.2025).

² План Губернского города Перми. Составлен в 1908 г. // Это место. URL: http://www.etomesto.ru/map-perm_1908/ (дата обращения: 25.01.2025).

³ Схематический план города Молотова / издание Молотовского горкомхоза. 1:15000. Свердловск: 7-я Картфабрика ГУГК при СНК СССР, 1940. 1 к.

⁴ Правила санитарной безопасности в лесах [утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 09.12.2020 г., № 2047]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения: 25.01.2025).

простираются в сторону ул. Луначарского на 2.5 м – там корни страдают в большей степени, а в сторону сквера, где находится газон – на 5.8 м. У дерева имеются механические повреждения: стесы коры, усохшие скелетные ветви, сухобочина. Признаков повреждения болезнями и вредителями не обнаружено. Дерево ослабленное (II категория санитарного состояния), имеющее тенденцию к ухудшению экологического состояния.

В древесине в месте отбора в 2025 г. был обнаружен 131 годичный прирост. В середине ствола не были учтены 5 годичных приростов, достроенных по методу по методу Д.Е. Румянцева, А.В. Черакшева [2020]. Это согласуется с ходом роста *Larix sibirica* в условиях городских культур [Кузьмичев, Авдеева, 2007; Хлюстов, Корешков, 2017]. Таким образом было выяснено, что растение было посажено в 1890 г. после освящения и ввода в эксплуатацию храма. Рост дерева соответствует лесным насаждениям IV класса бонитета по бонитировочной шкале М.М. Орлова для семенных насаждений сосны, применяемой в лесном хозяйстве, и по шкале ВНИИЛМ¹.

Годичный радиальный прирост ствола колеблется от 0.2 до 8 мм (рис. 2). Средний прирост составляет 1.1 ± 0.1 мм. Первые два десятилетия, с 1890 до 1909 гг., средний прирост был максимальным и составлял 5.8 ± 0.5 и 2.5 ± 0.4 мм соответственно. Далее, в течение 50 лет (до 1959 г.) средний прирост постепенно снижался и в последующие 40 лет стабилизировался на уровне 0.4 ± 0.03 мм. В последние 2.5 десятилетия, с 2000 по 2024 гг., наблюдается некоторое увеличение приростов – среднее значение составило 0.7 ± 0.1 мм. Существенное повышение прироста выше среднего уровня было зафиксировано в 1930, 1946, 1947, 1951, 1952, 2011–2013 гг. Прирост в 2025 г. отмечается – в момент отбора керна в июне сформированы 0.4 мм ранней древесины. Переход к формированию поздней древесины еще не произошел.



Рис. 2. Динамика радиальных приростов ствола *Larix sibirica* в Саду им. Любимова [Dynamics of radial growth of *Larix sibirica* trunk in the Lyubimov Garden]

Прирост, близкий к потенциально возможному, определенному по методу С.Г. Шиятова, зафиксирован ориентировочно на 8 году жизни растения (в 1897 г.), а также в 123 года (в 2012 г.). Высокий индекс прироста (до 0.7), кроме первого десятилетия, отмечался на 57 (1946 г.), 62, 63 (1951–1952 гг.), 119 (2008 г.), 124 (2013 г.) и 131 (2020 г.) годах жизни (рис. 3). Вероятно, это связано с внутренними и внешними факторами, среди которых могут играть роль возраст, периоды плодоношения, погодные условия, изменяющаяся рядом дорогая температура почвы, химический состав воздуха и мн. др. [Vaganov, Vysotskaya, Shashkin, 1996; Heinrichs, Tardif, Bergeron, 2007; Tabakova et al., 2023 и др.].

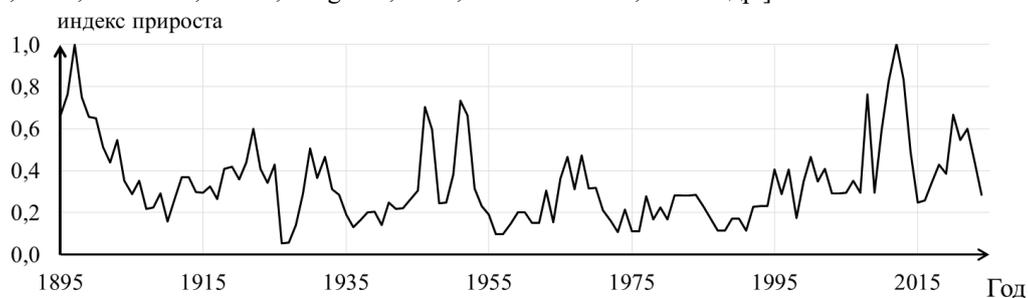


Рис. 3. Динамика индексов прироста *Larix sibirica* в Саду им. Любимова [Dynamics of growth indices of *Larix sibirica* trunk in the Lyubimov Garden]

¹ Лесоустроительная инструкция: утв. приказом Минприроды России от 05.08.2022 г. № 510. URL: <https://docs.cntd.ru/document/351878696> (дата обращения: 08.08.2025).

Larix sibirica в Саду им. Любимова имеет возраст не менее 136 лет. Она, таким образом, посажена в дореволюционный исторический период в 1890 г. в ограде Церкви Воскресения Христова. Близость проезжей части, сопряженная с комплексом негативных экологических факторов, не оказывает на дерево критического воздействия. Растение относится ко II категории санитарного состояния, что является нормальным для данного возраста. Ствол продолжает рост в толщину и высоту, хотя последний снижен. Средний радиальный прирост ствола за последнее десятилетие составляет 0.5 ± 0.2 мм. Изученное дерево не является единственным старовозрастным представителем вида – в г. Перми известны другие растения такого же возраста и старше. Например, «Дерево-флаг» – лиственница возрастом 143 года¹. Кроме того, имеются данные о естественно произрастающих в черте города лесонасаждениях *Larix sibirica* возрастом более 140–160 лет: около микрорайона Химики (Орджоникидзевский р-н г. Перми), Закамск (Кировский р-н), около Комплекса ПШИ (Ленинский р-н) и др. Несмотря на это, дерево имеет историческую, культурную, экологическую ценность, подвергается агрессивному воздействию и требует бережного отношения и мониторинга состояния.

Список источников

1. Казакова М.В., Белошенкова А.Д. Старовозрастные деревья: материал для реестра уникальных насаждений города Рязани // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2017. Т. 27, № 1. С. 33–42. EDN: YGSKTH.
2. Кузьмичев В.В., Авдеева Е.В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на техногенные воздействия городской среды // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 1. С. 36–42. EDN: JUBZDB.
3. Кучеров С.Е., Вельмовский П.В. Старовозрастные деревья сосны – уникальные объекты Бузулукского бора // Юг России: экология, развитие. 2025. Т. 20, № 1(74). С. 6–15. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-1. EDN: IOYMXI.
4. Минеева Л.Ю., Касаткина А.А. Инвентаризация старовозрастных деревьев ботанического сада Ивановского государственного университета // Промышленная ботаника. 2023. Т. 23, № 3. С. 37–41. DOI: 10.5281/zenodo.10442900. EDN: ENANTB.
5. Молганова Н.А., Овеснов С.А. Деревья и кустарники скверов Ленинского района города Перми // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2014. Вып. 4. С. 5–11. EDN: TCRSXF.
6. Рогозин М.В., Красильников П.А. Леса-долгожители вблизи города Перми и их структура // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 165–168. EDN: ZUJVNL.
7. Румянцев Д.Е., Черакшев А.В. Методические подходы для определения возраста деревьев // Princ. ekol.. 2020. № 4 (38). С. 104–116. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10142. EDN: CFPNHD.
8. Хлюстов В.К., Корешков Н.В. Систематизация роста и продуктивности географических культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) // Природообустройство. 2017. № 3. С. 111–120. EDN: YUIPHP.
9. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с. EDN: SWTZQJ.
10. Heinrichs D., Tardif J., Bergeron Y. Xylem production in six tree species growing on an island in the boreal forest region of western Quebec, Canada // Canadian Journal of Botany. 2007. Vol. 85. P. 518–525. DOI: 10.1139/B07-041. EDN: LWREVT.
11. Tabakova K.A. et al. Contribution of Russian dendroanatomical studies to the dendrochronology since the mid-20th century // Dendrochronologia. 2023. Vol. 81. Art. 126128. DOI: 10.1016/j.dendro.2023.126128. EDN: XOASAL.
12. Vaganov E.A., Vysotskaya L.G., Shashkin A.V. Using cell chronologies in seasonal tree growth analysis and dendroclimatology // Tree-Rings, Climate and Humanity. Radiocarbon. 1996. Vol. 1–4. P. 95–105. EDN: AQZGRS.

References

1. Kazakova M.V., Beloshenkova A.D. [The old-growth trees– data for the register of the unique green areas of Ryazan]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologija. Nauki o Zemle*. V. 27, No. 1 (2017): pp. 33-42. (In Russ.). EDN: YGSKTH
2. Kuzmichev V.V., Avdeeva E.V. [Reaction of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) on man-made impacts of the urban environment]. *Chvojnye boreal'noj zony*. V. 24, No. 1 (2007): pp. 36–42. (In Russ.). EDN: JUBZDB

¹ Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.). Анкета № 793 // Реестр удивительных деревьев России URL: https://treeportal.ru/index.php?option=com_adsmanager&page=show_ad&adid=493&catid=2&Itemid=165 (дата обращения: 08.08.2025).

3. Kucherov S.E., Vel'movskij P.V. [Old-age pine trees – unique objects of Buzuluk forest]. *Jug Rossii: èkologija, razvitie*. V. 20, No. 1(74) (2025): pp. 6-15. (In Russ.). DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-1. EDN: IOYMXI
4. Mineeva L.Yu., Kasatkina A.A. [Inventory of old-age trees of the Botanical Garden of Ivanovo State University]. *Promyšlennaja botanika*. V. 23, No. 3 (2023): pp. 37-41. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.10442900. EDN: ENANTB
5. Molganova N.A., Ovesnov S.A. [Trees and shrubs of the squares of the Leninsky district of the city of Perm]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 4 (2014): pp. 5-11. (In Russ.). EDN: TCRSXF
6. Rogozin M.V., Krasil'nikov P.A. [Long-lived forests near the city of Perm and their structure]. *Antropogennaja transformacija prirodnoj sredy*. No. 3 (2017): pp. 165-168. (In Russ.). EDN: ZUJVNL
7. Rumyancev D.E., Cherakshev A.V. [Methodological approaches for determining the age of trees]. *Princ. ekol.* No. 4 (38) (2020): pp 104-116. (In Russ.). DOI: 10.15393/j1.art.2020.10142. EDN: CFPNHD
8. Xlyustov V.K., Koreshkov N.V. [Systematization of the growth and productivity of geographical crops of Siberian larch (*Larix sibirica*)]. *Prirodoobustrojstvo*. No. 3 (2017): pp. 111-120. (In Russ.). EDN: YUIPHP
9. Shiyatov S.G. *Dendrochronologija verchnej granicy lesa na Urale* [Dendrochronology of the upper forest boundary in the Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 136 p. (In Russ.). EDN: SWTZQJ
10. Heinrichs D., Tardif J., Bergeron Y. Xylem production in six tree species growing on an island in the boreal forest region of western Quebec, Canada. *Canadian Journal of Botany*. V. 85 (2007): pp. 518-525. DOI: 10.1139/B07-041. EDN: LWREVT
11. Tabakova K.A., Arzac A., Carrer M. et al. Contribution of Russian dendroanatomical studies to the dendrochronology since the mid-20th century. *Dendrochronologia*. V. 81 (2023): Art. 126128. DOI: 10.1016/j.dendro.2023.126128. EDN: XOASAL
12. Vaganov E.A., Vysotskaya L.G., Shashkin A.V. Using cell chronologies in seasonal tree growth analysis and dendroclimatology. *Tree-Rings, Climate and Humanity. Radiocarbon*. V. 1-4 (1996): pp. 95-105. EDN: AQZGRS

Статья поступила в редакцию 22.08.2025; одобрена после рецензирования 28.08.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 22.08.2025; approved after reviewing 28.08.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторе

Н. А. Молганова – канд. биол. наук, доцент.

Information about the author

N. A. Molganova – candidate of biology, associate professor.

ЗООЛОГИЯ

Научная статья

УДК 595.44

EDN: HTSXJX

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-253-261



Первые сведения о фауне пауков (Arachnida: Araneae) государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро» (Костанайская область, Казахстан)

Татьяна Михайловна Брагина^{1, 2}, Семён Викторович Власов^{3✉}, Александр Викторович Пономарёв⁴

¹Костанайский государственный региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан

²Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Ростов-на-Дону, Россия, tm_bragina@mail.ru

^{3✉}Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, probel15@yandex.ru

⁴Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия, ponomarev1952@mail.ru

Аннотация. Впервые приведены сведения о видовом разнообразии пауков (Arachnida: Araneae) государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро», расположенного в подзоне засушливых разнотравно-ковыльных степей на южных черноземах степной зоны Казахстана (Костанайская область). Для сбора материала были использованы общепринятые методы (кошение воздушным энтомологическим сачком, ручные сборы) в 2014–2017, 2022–2023, 2025 гг. с конца мая до первых чисел июня в разных почвенно-растительных условиях – от степного участка, луговин с кустарниками по склону древнего русла притока до березняка с примесью осины и растительности у водных источников (родники, берег озера Каменное). В результате проведенных работ установлено обитание 66 видов пауков, относящихся к 48 родам, среди которых наиболее разнообразными были представители семейств Araneidae (13 видов, 19.7% от общего числа зарегистрированных видов) и Lycosidae (9 видов, 13.6% от общего числа зарегистрированных видов). Впервые для аранеофауны Казахстана установлено обитание *Hypsosinga heri* (Hahn, 1831), *Hypomma fulvum* (Bösenberg, 1902), *Pistius truncatus* (Pallas, 1772) и *Tetragnatha dearmata* Thorell, 1873.

Ключевые слова: Araneae, фауна, подзона засушливых разнотравно-ковыльных степей, березняк, луговины, памятник природы, Костанайская область, Казахстан

Для цитирования: Брагина Т. М., Власов С. В., Пономарёв А. В. Первые сведения о фауне пауков (Arachnida: Araneae) государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро» (Костанайская область, Казахстан) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 253–261. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-253-261>.

Благодарности: авторы выражают признательность С.Л. Есюнину (Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь) за помощь в определении некоторых видов.

ZOOLOGY

Original article

First data on the fauna of spiders (Arachnida: Araneae) of the state nature monument “Kamenny lake tract” (Kostanay region, Kazakhstan)

Tatyana M. Bragina^{1, 2}, Semyon V. Vlasov^{3✉}, Alexander V. Ponomarev⁴

¹Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan

²Azov-Black Sea Branch of the SSC FSBSI “VNIRO”, Russia, tm_bragina@mail.ru

^{3✉}Perm State University, Perm, Russia, probel15@yandex.ru

⁴Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia, ponomarev1952@mail.ru

Abstract. This article provides the first information on the species diversity of spiders (Arachnida: Araneae) of the State Nature Monument «Kamenny Lake Tract (Urochische Kamennoye Ozero)», located in the subzone of droughty forb – feather grass steppes on southern chernozem of the steppe zone of Kazakhstan (Kostanay

region). The material was collected using generally accepted methods (mowing with an aerial entomological net, hand collections) in 2014-2017, 2022-2023, 2025 from the end of May to the first days of June in different soil and vegetation conditions - from a steppe area, meadows with shrubs along the slope of the ancient bed of the pra-Tobol River to a birch forest with an admixture of aspen and vegetation near water sources (springs, the shore of Kamennoye Lake). As a result of the investigation, the habitat of 66 spider species from 48 genera was established, among which the most diverse were representatives of the families Araneidae (13 species, 19,7% of the total number of registered species) and the families Lycosidae (9 species, 13,6 % of the total number of registered species). Three species of spiders are recorded for the fauna of Kazakhstan for the first time: *Hypsosinga heri* (Hahn, 1831), *Hypomma fulvum* (Bösenberg, 1902), *Pistius truncatus* (Pallas, 1772), *Tetragnatha dearmata* Thorell, 1873.

Keywords: Aranei, fauna, subzone of forb-feather grass steppes, birch forest, meadows, natural monument, Kostanay region, Kazakhstan

For citation: Bragina T. M., Vlasov S. V., Ponomarev A. V. [First data on the fauna of spiders (Arachnida: Araneae) of the state nature monument “Kamenny lake tract” (Kostanay region, Kazakhstan)]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 253-261. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-253-261>.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to S.L. Esyunin (Perm State University) for help in identifying some species.

Введение

Сведений о пауках (Araneae) Костанайской обл. в современных границах сравнительно немного. Они посвящены в основном разнообразию аранеофауны крупных особо охраняемых природных территорий [Брагина, 2012; Пономарёв, Брагина, 2015; Bragina, 2016; Пономарёв, Брагина, Шматко, 2017; Брагина, 2021; Пономарёв, Брагина, 2024], описания природных условий которых приведены в нескольких публикациях [Брагина, 2007, 2009; Rachkovskaya, Bragina, 2012; Брагина, Брагин, 2017]. Упоминания о некоторых видах пауков региона имеются в ряде сводок, в том числе в атласе «Spiders of Kazakhstan» [Logunov, Gromov, 2012]. В то же время сравнительно небольшие памятники природы, расположенные в разных природно-климатических условиях, представляют несомненный интерес как с точки зрения мониторинга состояния природных объектов и региональной флоры и фауны, так и общетеоретических вопросов изучения и сохранения биологического разнообразия.

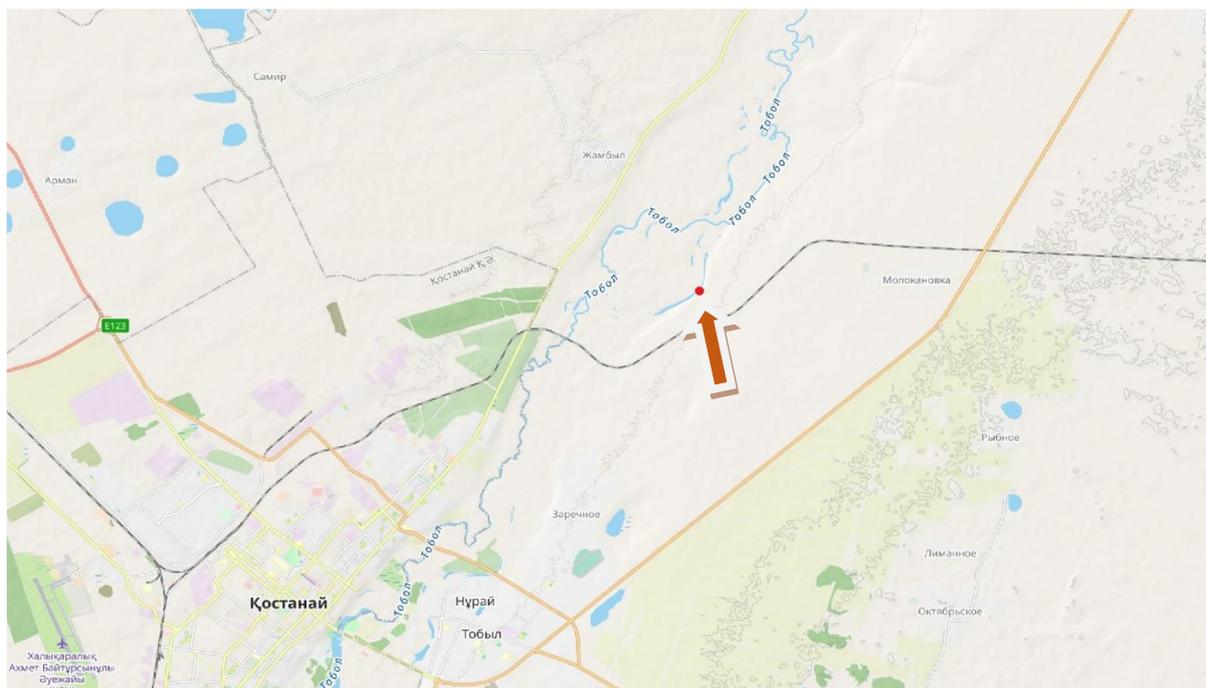
Цель настоящей работы – выявление видового разнообразия пауков (Araneae) на территории государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро» (Костанайская обл., Казахстан).

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в Северном Казахстане на территории государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро» (53°28'83''N, 63°78'15''E в системе WGS 84), расположенного на территории Костанайского р-на Костанайской обл. (Казахстан) в 12 км от областного центра по правобережью одноименного озера в древней старице пра-Тобола [Брагина, 2007] (рисунок). Климат района работ резко континентальный с температурными контрастами дня и ночи, зимы и лета. Характерны обилие солнечной радиации, короткий переход от зимы к лету и быстрое нарастание температур весной от марта к апрелю, что связано с частыми вторжениями теплых воздушных масс с юга. Лето сухое и жаркое. Период со среднесуточными температурами воздуха +20°C длится около месяца. Осень непродолжительная – от 20 до 30 дней. В холодное время года территория района исследований находится под влиянием западного отрога сибирского антициклона, вызывающего продолжительные морозы. Среднегодовое количество осадков 300–350 мм, преобладают осадки теплого периода года (70–80% от годовой нормы) и испарение над увлажнением. Наблюдаются суховейные явления и пыльные бури, поздние весенние и ранние осенние заморозки.

По природным условиям территория объекта входит в подзону засушливых разнотравно-ковыльных степей на южных черноземных почвах. Тип растительности урочища – байрачные березовые леса-колки, занимающие западный склон (уклон до 50°) высокой поймы древнего русла пра-Тобола [Пугачев, 1994]. Собственно памятник природы включает березняк с примесью осины с сомкнутостью крон 0.4–0.8 на площади 2.5 га. В верхней части склона деревья страдают от снеговалов, низкорослые, в нижней части при возрасте 35–40 лет березы достигают высоты 12–14 м, с диаметром ствола 15–25 см. Почвы под лесом серые суглинистые и супесчаные, свежие и влажные. Грунтовые воды в верхних и средних частях склонов залегают на глубине 5–7 м, вдоль подножия – 1–2 м. В ходе флористического изучения территории памятника природы [Sultangazina, Kurpjanov, 2023] было выделено пять основных биотопов: кустарниковые заросли на склонах, березняки на крутых склонах, суходольные луга с кустарниковыми зарослями, лугово-болотные сообщества на побережьях, лугово-степные сообщества. В траве по склону

много камней. На территории памятника природы было зарегистрировано 177 видов высших растений, относящихся к 132 родам и 48 семействам.



Местоположение государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро»,
Костанайская обл.

[Location of the state nature monument Kamenny lake tract (red point), Kostanay region]

Сбор образцов был проведен в 2014–2017, 2022–2023 и 2025 гг. с конца мая до первых чисел июня. Для сбора материала применялись общепринятые методы (воздушный энтомологический сачок, обследование подстилки, ручные сборы). Были обследованы разные биотопы: лугово-степной участок, луговины с кустарниками по склону древнего русла пра-Тобола, березняк с примесью осины и растительность у водных источников (родники, берег оз. Каменное). Собранные экземпляры фиксировались в 90% спирте.

Для определения собранных экземпляров использовался микроскоп МБС-10. При идентификации пауков использовался Определитель европейских пауков (*Araneae Spiders of Europe*) [Nentwig et al., 2025] и отдельные статьи [Tongiorgi, 1966; Wesolowska, 1986; Okuma, 1988; Logunov, 1996; Rakov, 1997; Есюнин, Тунева, 2009]. Сбор материала проведен Т.М. Брагиной. Определение материала за 2014–2023 гг. осуществлено А.В. Пономарёвым, за 2022–2025 – С.В. Власовым. При составлении списка видов придерживались системы, принятой в *World Spider Catalog* [2025]. Карта была составлена с использованием *OpenStreetMap* [2025].

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных работ на территории памятника природы «Урочище Каменное озеро» выявлено 66 видов пауков, относящихся к 48 родам.

Аннотированный список пауков государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро»

Семейство Araneidae

Aculepeira armida (Audouin, 1826)

Материал: 1♂, 1♀, луговина, 5.06.2015; 1♂, берег Каменного озера, 26.05.2016; 2♂, 2♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Agalenatea redii (Scopoli, 1763)

Материал: 1♀, луговина, 16.05.2017.

Cercidia prominens (Westring, 1851)

Материал: 1♀, берег озера, 31.05.2022.

Cyclosa oculata (Walckenaer, 1802)

Материал: 3♂, степь, луговина, 5.06.2014; 1♂, луговина, 5.06.2015.

Gibbaranea bituberculata (Walckenaer, 1802)

Материал: 1♀, луговина, 5.06.2015; 1♂, 2♀, луговина, 16.05.2017.

Gibbaranea ullrichi (Hahn, 1835)

Материал: 1♀, луговина, 5.06.2014; 2♀, луговина, 31.05.2022; 1♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Hypsosinga heri (Hahn, 1831)

Материал: 1♂, луговина на берегу озера, 31.05.2022.

Вид впервые отмечается на территории Казахстана.

Hypsosinga sanguinea (C.L. Koch, 1844)

Материал: 1♀, луговина, 5.06.2014.

Larinioides patagiatus (Clerck, 1758)

Материал: 4♂, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014; 2♂, 5♀, луговина, 5.06.2014; 1♀, луговина, 5.06.2015; 1♀, берег Каменного озера, 26.05.2016; 1♂, степь, 15.05.2017; 2♀, луговина, 16.05.2017; 1♀, луговина, 31.05.2022; 1♀, березняк, 03.06.2025.

Larinioides suspicax (O. Pickard-Cambridge, 1876)

Материал: 2♂, 1♀, луговина на берегу озера, 31.05.2022.

Mangora acalypha (Walckenaer, 1802)

Материал: 1♀, луговина, 31.05.2022.

Singa hamata (Clerck, 1758)

Материал: 2♀, луговина, 5.06.2014; 1♂, степь, 15.05.2017; 5♂, 1♀, луговина, 16.05.2017.

Singa nitidula C.L. Koch, 1844

Материал: 1♀, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014; 1♂, луговина, 16.05.2017; 1♂, 1♀, луговина, 31.05.2022.

Семейство Cheiracanthidae

Cheiracanthium pennyi O. Pickard-Cambridge, 1873

Материал: 1♂, степь, луговина, 03.06.2025; 1♀, березняк, 03.06.2025.

Семейство Clubionidae

Clubiona congenilis Kulczyński, 1913

Материал: 1♀, степь, луговина, 31.05.2022.

Clubiona lutescens Westring, 1851

Материал: 1♂, луговина у родника, 30.05.2023.

Семейство Dictynidae

Brigittea latens (Fabricius, 1775)

Материал: 1♀, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014.

Dictyna arundinacea (Linnaeus, 1758)

Материал: 1♀, степь, 5.06.2014; 7♂, 8♀, степь, 15.05.2017; 14♂, 19♀, степь, 16.05.2017; 1♂, 4♀, степь, луговина, 31.05.2022; 1♀, степь, луговина, 30.05.2023.

Семейство Gnaphosidae

Berlandina cinerea (Menge, 1868)

Материал: 1♀, степь, 15.05.2017.

Zelotes pseudogallicus Ропомарев, 2007

Материал: 1♀, степь, луговина, 30.05.2023.

Семейство Linyphiidae

Hypomma fulvum (Bösenberg, 1902)

Материал: 1♀, луговина у берега озера, 16.05.2017.

Вид впервые отмечается на территории Казахстана.

Linyphia triangularis (Clerck, 1758)

Материал: 1♀, луговина, склон, 31.05.2022.

Nerienne clathrata (Sundevall, 1830)

Материал: 1♀, у дороги, 5.06.2014.

Семейство Lycosidae

Alopecosa sulzeri (Pavesi, 1873)

Материал: 1♀, степь, 15.05.2017; 2♀, степь, 16.05.2017.

Arctosa leopardus (Sundevall, 1832)

Материал: 1♂, степь, луговина, 03.06.2025.

Pardosa agrestis (Westring, 1861)

Материал: 1♂, 4♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Pardosa lugubris (Walckenaer, 1802)
Материал: 1♂, степь, луговина, 16.05.2017; 5♀, степь, луговина, 31.05.2022.

Pardosa paludicola (Clerck, 1758)
Материал: 1♀, луговина, 31.05.2022.

Piratula hygrophila (Thorell, 1872)
Материал: 3♂, 1♀, луговина, 31.05.2022; 1♂, степь, луговина, 03.06.2025.

Trochosa robusta (Simon, 1876)
Материал: 1♀, березняк, 03.06.2025.

Trochosa ruricola (De Geer, 1778)
Материал: 2♂, степь, 15.05.2017; 1♀, степь, обочина дороги, 16.05.2017.

Trochosa terricola Thorell, 1856
Материал: 1♀, березняк, 03.06.2025.

Семейство Охуориде

Oxyopes heterophthalmus (Latreille, 1804)

Материал: 2♂, 1♀, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014; 1♂, степь, луговина, 31.05.2022; 1♂, степь, 30.05.2023; 3♂, 5♀, степь, луговина, 03.06.2025; 1♀, березняк, 03.06.2025.

Oxyopes ramosus (Martini et Goeze, 1778)
Материал: 1♂, степь, луговина, 16.05.2017.

Семейство Филодромиде

Philodromus cespitum (Walckenaer, 1802)

Материал: 2♂, берег Каменного озера, 26.05.2016; 2♂, 2♀, луговина, 30.05.2023.

Rhysodromus histrio (Latreille, 1819)

Материал: 3♀, степь, луговина, 5.06.2015; 1♀, степь, луговина, 16.05.2017; 4♀, луговина, 31.05.2022; 2♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Thanatus formicinus (Clerck, 1758)
Материал: 1♀, степь, луговина, 16.05.2017.

Tibellus macellus Simon, 1875

Материал: 3♂, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014; 3♂, 1♀, степь, луговина, 5.06.2014; 1♂, степь, луговина, 5.06.2015; 1♀, степь, луговина, 30.05.2023; 1♂, 1♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Tibellus maritimus (Menge, 1875)

Материал: 1♀, степь, 15.05.2017; 4♂, 5♀, степь, луговина, 31.05.2022; 1♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Tibellus oblongus (Walckenaer, 1802)

Материал: 1♂, 2♀, степь, луговина, 5.06.2014; 1♂, степь, луговина, 5.06.2015; 1♀, степь, луговина, 16.05.2017; 2♂, 3♀, степь, луговина, 30.05.2023; 5♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Семейство Писауриде

Pisaura mirabilis (Clerck, 1757)

Материал: 1♀, луговина, 31.05.2022; 1♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Семейство Сальциде

Evarcha arcuata (Clerck, 1758)

Материал: 1♂, степь, луговина, 5.06.2014.

Evarcha michailovi Logunov, 1992

Материал: 1♀, степь, 15.05.2017; 1♀, степь, луговина, 31.05.2022.

Heliophanus auratus C.L. Koch, 1835

Материал: 1♀, степь, луговина, 31.05.2022.

Heliophanus flavipes (Hahn, 1832)

Материал: 1♀, степь, луговина, 30.05.2023.

Heliophanus patagiatus Thorell, 1875

Материал: 1♀, степь, 30.05.2023.

Philaeus chrysops (Poda, 1761)

Материал: 1♂, степь, луговина, 5.06.2014.

Pseudomogrus vittatus (Thorell, 1875)

Материал: 1♀, степь, 5.06.2015; 1♀, степь, 30.05.2023.

Семейство Спарассиде

Micrommata virescens (Clerck, 1758)

Материал: 1♀, луговина, 5.06.2015.

Семейство Tetragnathidae

Tetragnatha dearmata Thorell, 1873

Материал: 1♀, степь, луговина, 5.06.2014.

Вид впервые отмечается на территории Казахстана.

Tetragnatha montana Simon, 1874

Материал: 1♂, 3♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Tetragnatha nigrita Lendl, 1886

Материал: 2♀, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014.

Семейство Theridiidae

Euryopis saukea Levi, 1951

Материал: 1♀, степь, 5.06.2015.

Phylloneta impressa (L. Koch, 1881)

Материал: 1♀, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014; 1♂, 1♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Robertus arundineti (O. Pickard-Cambridge, 1871)

Материал: 2♀, степь, луговина, 16.05.2017.

Steatoda albomaculata (De Geer, 1778)

Материал: 1♂, степь, луговина, 5.06.2014.

Theridion sibiricum Marusik, 1988

Материал: 2♀, степь, луговина, 5.06.2015.

Theridion uligi Martin, 1974

Материал: 1♀, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014.

Семейство Thomisidae

Heriaeus oblongus Simon, 1918

Материал: 4♂, степь, луговина, 5.06.2014; 3♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Ozyptila trux (Blackwall, 1846)

Материал: 1♀, степь, луговина, 5.06.2014.

Pistius truncatus (Pallas, 1772)

Материал: 1♀, луговина, 30.05.2023.

Вид впервые отмечается на территории Казахстана.

Spiracme striatipes (L. Koch, 1870)

Материал: 2♀, степь, луговина, 5.06.2014; 1♀, степь, луговина, 31.05.2022; 15♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Thomisus onustus Walckenaer, 1805

Материал: 1♀, степь, луговина, 5.06.2015; 1♂, степь, луговина, 31.05.2022; 1♀, степь, 30.05.2023; 1♂, 3♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Tmarus piger (Walckenaer, 1802)

Материал: 1♀, степь, луговина, 26.05.2016; 1♀, степь, луговина, 30.05.2023.

Xysticus cristatus (Clerck, 1758)

Материал: 1♂, степь, луговина, 5.06.2014; 1♀, степь, луговина, 16.05.2017; 1♂, 1♀, степь, 15.05.2017; 1♀, луговина, 31.05.2022; 4♀, степь, луговина, 03.06.2025.

Семейство Uloboridae

Uloborus walckenaerius Latreille, 1806

Материал: 1♀, окр. Каменного озера, луг, 30.05.2014; 1♀, степь, луговина, 5.06.2015.

Анализ материала показал, что большинство обнаруженных видов являются типичными обитателями прибрежных биотопов. В то же время встречаются виды, предпочитающие более засушливые местообитания (*Evarcha michailovi*, *Philaeus chrysops*, *Clubiona congenilis* и др.). Впервые для аранеофауны Казахстана установлено обитание четырех видов: *Hypsosinga heri* (Hahn, 1831), *Tetragnatha dearmata* Thorell, 1873, *Pistius truncatus* (Pallas, 1772), *Hypomma fulvum* (Bösenberg, 1902). При этом известный ареал последнего вида значительно расширен на восток.

Большее половины видового разнообразия составляют представители 4 семейств: Araneidae (13 видов, 19.7% от общего числа зарегистрированных видов), Lycosidae (9 видов, 13.6% от общего числа зарегистрированных видов), Salticidae и Thomisidae (по 7 видов и 10.6% соответственно от общего числа зарегистрированных видов). В локальных фаунах Наурзумского заповедника и Троицкого заказника данные семейства также широко представлены (таблица). Однако имеется ряд отличий: для обеих локаций характерна высокая доля сем. Gnaphosidae, а в Троицком заказнике по количеству видов и родов лидирует сем. Linyphiidae [Есюнин, Пахоруков, 1992; Пономарёв, Брагина, Шматко, 2017].

Количество видов (перед чертой) и родов (после черты) пауков в некоторых локальных фаунах зауральской степи

[Number of species (before the line) and genera (after the line) of spiders in some local faunas Trans-Ural steppe]

Семейство	Памятник природы «Урочище Каменное озеро»	Наурзумский заповедник (Костанайская обл.)	Троицкий заказник (Челябинская обл.)
Agelenidae	0/0	0/0	2/2
Araneidae	13/9	17/11	23/12
Argyronetidae	0/0	1/1	6/3
Cheiracanthidae	1/1	3/1	5/1
Clubionidae	2/1	1/1	11/1
Dictynidae	2/2	2/2	8/2
Dolomedidae	0/0	0/0	1/1
Eresidae	0/0	0/0	1/1
Gnaphosidae	2/2	23/7	22/8
Hahniidae	0/0	0/0	1/1
Linyphiidae	3/3	6/5	63/43
Liocranidae	0/0	0/0	1/1
Lycosidae	9/5	21/8	28/7
Mimetidae	0/0	0/0	1/1
Miturgidae	0/0	1/1	1/1
Oxyopidae	2/1	2/1	1/1
Philodromidae	6/4	11/4	12/4
Pholcidae	0/0	1/1	0/0
Phrurolithidae	0/0	0/0	1/1
Pisauridae	1/1	1/1	1/1
Salticidae	7/4	17/8	24/11
Sparassidae	1/1	1/1	1/1
Tetragnathidae	3/1	0/0	9/2
Theridiidae	6/5	5/5	23/10
Theridiosomatidae	0/0	0/0	1/1
Thomisidae	7/7	8/4	22/8
Titanoecidae	0/0	2/1	1/1
Uloboridae	1/1	1/1	0/0
ВСЕГО	66/48	124/64	170/125

Низкое разнообразие Gnaphosidae на территории памятника природы «Урочище Каменное озеро» вполне объяснимо ограниченностью методов сбора материала. Однако низкое таксономическое разнообразие пауков сем. Linyphiidae выглядит странным, учитывая достаточную увлажненность местности вокруг озера. Совсем не обнаружены на территории памятника природы вполне типичные для региона представители семейств Titanoecidae, Miturgidae, Liocranidae, Argyronetidae и Dolomedidae.

Приведенный аннотированный список пауков, несомненно, является неполным. Дополнительные методы сбора (почвенные ловушки, просеивание подстилки и др.) и исследования, проведенные в осенний период, должны закрыть имеющиеся пробелы в видовом списке.

Заключение

На данный момент в фауне государственного памятника природы «Урочище Каменное озеро» зарегистрировано 66 видов, из 48 родов 16 семейств пауков. При этом четыре вида являются новыми для фауны Казахстана: *Hypsosinga heri* (Hahn, 1831), *Tetragnatha dearmata* Thorell, 1873, *Pistius truncatus* (Pallas, 1772), *Hypomma fulvum* (Bösenberg, 1902). Дальнейшие исследования территории парка дополняют имеющийся видовой список.

Список источников

1. Брагина Т.М. Особо охраняемые природные территории Казахстана и перспективы организации экологической сети (с законодательными основами в области особо охраняемых природных территорий). Костанай: Костанайский Дом печати, 2007. 159 с.
2. Брагина Т.М. Наурзумская экологическая сеть (история изучения, современное состояние и долгосрочное сохранение биологического разнообразия региона представительства природного объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО). Костанай: Костанайполиграфия, 2009. 200 с.

3. Брагина Т.М. Некоторые сведения о фауне пауков (Arachnida, Aranei) Наурзумского заповедника // Степи Северной Евразии: материалы VI Междунар. симпозиума. Оренбург, 2012. С. 863–865.
4. Брагина Т.М. Состав и структура сообществ почвенных беспозвоночных (мезофауна) Наурзумского заповедника. Костанай: Полиграфия-Костанай, 2021. 188 с.
5. Брагина Т.М., Брагин Е.А. Природные условия и животный мир государственного природного резервата Алтын Дала. Костанай: Костанайполиграфия, 2017. 236 с.
6. Есюнин С.Л., Пахоруков Н.М. Фауна пауков (Aranei) Троицкого заказника // Членистоногие охраняемых территорий Челябинской обл. Свердловск, 1992. С. 3–29.
7. Есюнин С.Л., Тунева Т.К. Обзор пауков-рысей группы heterophthalmus рода Oxyopes (Aranei, Oxyopidae) Палеарктики // Зоологический журнал. 2009. Т. 88, № 2. С. 164–175.
8. Пономарёв А.В., Брагина Т.М. Предварительные данные о фауне пауков (Aranei) особо охраняемых природных территорий Кустанайской области (Республика Казахстан) // Юг России: экология, развитие. 2015. № 10(1). С. 104–115.
9. Пономарёв А.В., Брагина Т.М. Первая находка *Ozyptila mikhailovi* Ponomarev, 2024 (Aranei: Thomisidae) в Казахстане // Полевой журнал биолога. 2024. Т. 6, № 2. С. 114–116.
10. Пономарёв А.В., Брагина Т.М., Шматко В.Ю. Новые данные о пауках (Aranei) Наурзумского государственного природного заповедника (Костанайская область, Казахстан) // Кавказский энтомологический бюллетень. 2017. Т. 13, Вып. 1. С. 3–10.
11. Пугачев П.Г. Сосновые леса Тургайской впадины. Кустанай: Кустанайский печатный двор, 1994. 408 с.
12. Bragina T.M. Soil macrofauna (invertebrates) of Kazakhstani Stipa lessingiana dry steppe // Hacquetia. 2016. Vol. 15(2). P. 105–112.
13. Logunov D.V. A critical review of the spider genera *Apollophanes* O.P.-Cambridge, 1898 and *Thanatus* C.L. Koch, 1837 in North Asia (Araneae, Philodromidae) // Rev. arachnol. 1996. Vol. 11, P. 133–202.
14. Logunov D.V., Gromov A.V. Spiders of Kazakhstan. Manchester: Siri Sci. Press, 2012. 232 p.
15. Nentwig W. et al. Spiders of Europe. Version 07.2025. 2025. URL: <https://www.araneae.nmbe.ch> (дата обращения: 06.07.2025).
16. Okuma C. A revision of the genus *Tetragnatha* Latreille (Araneae, Tetragnathidae) of Asia, Part I // Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University. 1988. Vol. 32. P. 165–181.
17. OpenStreetMap. 2025. URL: <http://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 06.07.2025).
18. Rachkovskaya E.I., Bragina T.M. Steppes of Kazakhstan: diversity and present state // Eurasian steppes. Ecological problems and livelihoods in a changing world. Dordrecht: Springer, 2012. P. 103–148.
19. Rakov S.Y. A review of the spider genus *Evarcha* Simon, 1902 in Middle Asia (Aranei Salticidae) // Arthropoda Selecta. 1997. Vol. 6(1/2). P. 105–112.
20. Sultangazina G.J., Kuprijanov A.N. Floral composition of the botanical natural monument “Kamenny lake tract” (Kostanay region) // Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Сер. Биол. науки. 2023. № 4(145). С. 63–70.
21. Tongiorgi P. Wolf spiders of the *Pardosa monticola* group (Araneae: Lycosidae) // Bull. Mus. Comp. Zool. 1966. Vol. 134. P. 335–359.
22. Wesolowska W. A revision of the genus *Heliophanus* C. L. Koch, 1833 (Aranei: Salticidae) // Annales Zoologici. 1986. Vol. 40. P. 1–254.
23. World Spider Catalog. Version 26. Natural History Museum Bern, 2025. URL: <http://wsc.nmbe.ch> (дата обращения: 06.07.2025).

References

1. Bragina T.M. *Osobo ochranjaemye prirodnye territorii Kazachstana i perspektivy organizacii èkologičeskoj seti* [Specially protected natural territories of Kazakhstan and prospects for the organization of an ecological network (with legislative bases in the field of specially protected natural territories)]. Kostanaj, Kostanajskij Dom pečati Publ., 2007. 159 p. (In Russ.).
2. Bragina T.M. *Naurzumskaja èkologičeskaja set'* [Naurzum Ecological Network (history of the study, current state and long-term conservation of the biological diversity of the region representing the UNESCO World Heritage Site)]. Kostanaj, Kostanajpoligrafija Publ., 2009. 200 p. (In Russ.).
3. Bragina T.M. [Some information about the spider fauna (Arachnida, Aranei) of the Naurzum Nature Reserve]. *Stepi Severnoj Evrazii* [Steppes of Northern Eurasia. Proceedings of the VI International Symposium]. Orenburg, 2012, pp. 863–865. (In Russ.).
4. Bragina T.M. *Sostav i struktura soobščestv počvennyh bespozvonočnyh (mezofauna) Naurzumskogo zapovednika* [Composition and structure of communities of soil invertebrates (mesofauna) of the Naurzum Nature Reserve]. Kostanaj, Poligrafija-Kostanaj Publ., 2021. 188 p. (In Russ.).
5. Bragina T.M., Bragin E.A. *Prirodnye uslovija i životnyj mir gosudarstvennogo prirodnogo rezervata Alтын Dala* [Natural conditions and wildlife of the Alтын Dala State Nature Reserve]. Kostanaj, Kostanajpoligrafija Publ., 2017. 236 p. (In Russ.).
6. Esyunin S.L., Pakhorukov N.M. [The spider (Aranei) fauna of the Troitskii Reserve]. *Členistonogie ochranjaemych territorij Čeljabinskij oblasti* [Arthropods of protected areas of the Chelyabinsk region]. Sverdlovsk, 1992, pp. 3–28. (In Russ.).

7. Esyunin S.L., Tuneva T.K. [Overview of lynx spiders of the heterophthalmus group of the genus *Oxyopes* (Aranei, Oxyopidae) Palearctic]. *Zoologičeskij žurnal*. V. 88, No. 2 (2009): pp. 164-175. (In Russ.).
8. Ponomaryov A.V., Bragina T.M. [Preliminary data on the spider fauna (Aranei) of specially protected natural territories of the Kostanay region (Republic of Kazakhstan)]. *Jug Rossii: ekologija, razvitie*. No. 10(1) (2015): pp. 104-115. (In Russ.).
9. Ponomaryov A.V., Bragina T.M. [The first discovery of *Ozyptila mikhailovi* Ponomarev, 2024 (Aranei: Thomisidae) in Kazakhstan]. *Polevoj žurnal biologa*. V. 6, No. 2 (2024): pp. 114-116. (In Russ.).
10. Ponomaryov A.V., Bragina T.M., Shmatko V.Yu. [New data on spiders (Aranei) of the Naurzum State Nature Reserve (Costa Naya region, Kazakhstan)]. *Kavkazskij entomologičeskij bjulleten'*. V. 13, Iss. 1 (2017): pp. 3-10. (In Russ.).
11. Pugachev P.G. *Sosnovye lesa Turgajskoj vpadiny* [Pine forests of the Turgai depression]. Kustanaj, Kustanajskij pečatnyj dvor Publ., 1994. 408 p. (In Russ.).
12. Bragina T.M. Soil macrofauna (invertebrates) of Kazakhstania Stipa lessingiana dry steppe. *Hacquetia*. V. 15(2) (2016): pp. 105-112.
13. Logunov D.V. A critical review of the spider genera *Apollophanes* O.P.-Cambridge, 1898 and *Thanatus* C.L. Koch, 1837 in North Asia (Araneae, Philodromidae). *Rev. arachnol.* V. 11 (1996): pp. 133-202.
14. Logunov D.V., Gromov A.V. Spiders of Kazakhstan. Manchester, Siri Sci. Press, 2012. 232 p.
15. Nentwig W., Blick T., Bosmans R., Hänggi A., Kropf C., Stäubli A. Spiders of Europe. Version 07.2025. Available at: <https://www.araneae.nmbe.ch> (accessed 06.07.2025).
16. Okuma C. A revision of the genus *Tetragnatha* Latreille (Araneae, Tetragnathidae) of Asia, Part I. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*. V. 32 (1988): pp. 165-181.
17. OpenStreetMap (2025). Available at: <http://www.openstreetmap.org> (accessed 06.07.2025).
18. Rachkovskaya E.I., Bragina T.M. Steppes of Kazakhstan: diversity and present state. Eurasian steppes. Ecological problems and livelihoods in a changing world. Dordrecht, Springer, 2012, pp. 103-148.
19. Rakov S.Y. A review of the spider genus *Evarcha* Simon, 1902 in Middle Asia (Aranei Salticidae). *Arthropoda Selecta*. V. 6(1/2) (1997): pp. 105-112.
20. Sultangazina G.J., Kuprijanov A.N. Floral composition of the botanical natural monument "Kamenny lake tract" (Kostanay region). *Vestnik ENU imeni L.N. Gumileva. Seriya Biologičeskie nauki*. No. 4(145) (2023): pp. 63-70.
21. Tongiorgi P. Wolf spiders of the *Pardosa monticola* group (Araneae: Lycosidae). *Bull. Mus. Comp. Zool.* V. 134 (1966): pp. 335-359.
22. Wesołowska W. A revision of the genus *Heliophanus* C. L. Koch, 1833 (Aranei: Salticidae). *Annales Zoologici*. V. 40 (1986): pp. 1-254.
23. World Spider Catalog (2025). Version 26. Natural History Museum Bern, Available at: <http://wsc.nmbe.ch> (accessed 06.07.2025).

Статья поступила в редакцию 25.08.2025; одобрена после рецензирования 15.09.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 25.08.2025; approved after reviewing 15.09.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

Т. М. Брагина – д-р биол. наук, профессор, профессор Костанайского регионального университета; главный научный сотрудник АзНИИРХ;

С. В. Власов – старший преподаватель кафедры зоологии беспозвоночных и водной экологии;

А. В. Пономарёв – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

T. M. Bragina – doctor of biology, the academic rank of Professor, professor of the Kostanay state pedagogical Institute; senior research AzNIIRKH;

S. V. Vlasov – senior lecturer at the Department of invertebrate's zoology and water ecology;

A. V. Ponomarev – candidate of biology, leading researcher.

Вклад авторов:

Брагина Т. М. – сбор полевого материала; написание исходного текста; итоговые выводы.

Власов С. В. – обработка полевого материала; доработка текста; итоговые выводы.

Пономарёв А. В. – обработка полевого материала; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Bragina T. M. – processing of field material; writing the draft; final conclusions.

Vlasov S.V. – identification of species; follow-on revision of the text; final conclusions.

Ponomarev A. V. – identification of species; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

ЗООЛОГИЯ

Научная статья

УДК 595.443.8

EDN: IUKXDY

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-262-269



Высотно-поясное распределение пауков-кругопрядов (Aranei: Araneidae) Алексеевского хребта (Приморский край)

Павел Сергеевич Симонов

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия, palzpss@yandex.ru

Аннотация. Приводятся данные по видовому составу, численности и высотному распределению пауков-кругопрядов (Aranei: Araneidae) на Алексеевском хр. (Южный Сихотэ-Алинь, Приморский край). С помощью высотного профилирования был осуществлен сбор материала от 300 до 1660 м над ур. м. Всего выявлено 22 вида Araneidae, принадлежащих 11 родам. Наибольшее видовое разнообразие и численность отмечены в нижней части высотного профиля на высотах 300–400 м над ур. м. (отловлено 19 видов), где в долинных широколиственных лесах преобладает *Plebs sachalinensis*, а на полынно-разнотравных лугах – *Alenatea wangi*. Наименьшее видовое разнообразие и численность зафиксированы на самом верхнем высотном уровне (1669 м над ур. м.). Здесь на участке с горной тундрой отловлено два вида пауков: *Aculepeira matsudae* и *Plebs sachalinensis*. Широко распространенный вид в районе работ – *P. sachalinensis*, встречен на всех высотных уровнях во всех обследованных биотопах. Сравнение населения пауков на хр. Алексеевском с ранее полученными нами данными на Ливадийском хр. позволило установить, что 10 родов (91.0%) из 11 и 19 видов (86.3%) из 23 являются общими для сравниваемых горных хребтов.

Ключевые слова: пауки-кругопряды, горы, Сихотэ-Алинь, высотная поясность, население, численность

Для цитирования: Симонов П. С. Высотное-поясное распределение пауков-кругопрядов (Aranei: Araneidae) Алексеевского хребта (Приморский край) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 262–269. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-262-269>.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 125021302113-3); автор выражает благодарность Юрию Михайловичу Марусику за помощь в определении ряда видов пауков.

ZOOLOGY

Original article

Altitudinal-zonal distribution of orb-weaver spiders (Aranei: Araneidae) of the Alekseevsky range (Primorsky Krai)

Pavel S. Simonov

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia, palzpss@yandex.ru

Abstract. New data on the species composition, abundance and altitudinal distribution of orb-weaver spiders (Aranei: Araneidae) on the Alekseevsky Ridge (Southern Sikhote-Alin, Primorsky Krai) are given in the paper. Using altitude profiling, material was collected from 300 m above sea level to 1660 m above sea level. 22 species of Araneidae belonging to 11 genera have been identified. The greatest species diversity (12 species) and abundance are noted in the lower part of the altitudinal profile at altitudes of 300–400 m above sea level. Here, in the valley broadleaf forests, the dominant species is *Plebs sachalinensis*, and in the wormwood-forb meadows, *Alenatea wangi*. The lowest species diversity and abundance were recorded at the highest altitude (1660 m above sea level). Here, in the area with mountain tundra, two species of spiders were caught: *Aculepeira matsudae* and *P. sachalinensis*. A widespread species in the study area is *P. sachalinensis*. It was found at all elevation levels in all habitat. A comparison of the spider population on the Alekseevsky Ridge with previously obtained data on the Livadiysky Ridge allowed us to establish that 10 genera (91.0%) out of 11 and 19 species (86.3%) out of 23 are common to the compared mountain ranges.

Keywords: orb-weaver spiders, mountains, Sikhote-Alin, altitudinal zonation, population, number

For citation: Simonov P. S. [Altitudinal-zonal distribution of orb-weaver spiders (Aranei: Araneidae) of the Alekseevsky range (Primorsky Krai)]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 262–269. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-262-269>.

Acknowledgments: the work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ 125021302113-3); the authors are grateful to Yuri M. Marusik for assistance in identifying a number of spider species.

Введение

Пауки (Aranei) – многочисленная и разнообразная группа беспозвоночных [Марусик, Ковблюк, 2011]. На юге Дальнего Востока проблеме изучения видового состава и распределения пауков в горных условиях Сихотэ-Алиня посвящено незначительное количество работ. Так, в подобных условиях проведен ряд исследований М.М. Омелько по изучению пауков-герпетобионтов в Приморском крае [Омелько, 2009, 2010, 2013] и на юге Хабаровского края [Omelko, Marusik, 2000]. Наши работы по паукам-кругопрядам были сосредоточены в Приморском крае на Южном Сихотэ-Алине в районе хр. Ливадийского. Здесь впервые для Приморского края проведены исследования по изучению распределения кругопрядов на высотном профиле [Симонов, 2017] и в привершинных частях гор [Симонов, 2021]. В то же время на хр. Алексеевском (г. Ольховая, 1669 м над ур. м. – четвертая гора по высоте в Приморском крае), расположенном на 70 км континентальной нашего предыдущего района работ, исследований по паукам-кругопрядам ранее не проводилось.

Цель настоящей работы – выявление видового состава, оценка численности и особенностей высотного распределения пауков-кругопрядов (Aranei: Araneidae) на хр. Алексеевском.

Материалы и методы исследований

Район работ располагался на Южном Сихотэ-Алине и охватывал хр. Алексеевский (рис. 1). Здесь в августе 2021 и сентябре 2022 гг. с шагом в 100 м по высоте был заложен высотный профиль, проходящий от долины р. Алексеевки через южный макросклон хр. Алексеевского к вершине г. Ольховой в диапазоне высот от 300 до 1669 м над ур. м. и характеризующийся разнообразным спектром местообитаний. На каждом стометровом высотном отрезке закладывались учетные площадки-трансекты размером 3×25 м, где ручным методом, дополненным энтомологическим кошением и отряхиванием, проводились сплошные сборы пауков-кругопрядов в диапазоне высот от 0.1 м над уровнем почвенного покрова до 2.0 м (включая нижние части крон деревьев) [Симонов, 2021]. Для каждой из 17 площадок, расположенной на XIV высотных уровнях, делалось стандартное геоботаническое описание [Егорова, 1984].

Приведем ниже кратко эти описания.

I. 300–400 м над ур. м. Долина р. Алексеевки. Произрастают широколиственные леса (1), представленные единичными тополями Максимовича, ясенями, липами, черемухами и другими древесными породами. Травостой осоково-папоротниково-разнотравный.

Среди долинного леса расположены луга (2), покрытые разнотравьем, местами с полынью Гмелина, которые сформировались в том числе и за счет антропогенного воздействия (распашка и вырубка лесов).

II. 400–500 м над ур. м. Нижняя часть склона западной экспозиции, где произрастает кедрово-широколиственный лес (3) с единичными елью аянской и пихтой белокорой. Травостой разнотравно-папоротниково-осоковый.

III. 500–600 м над ур. м. Склон юго-западной экспозиции покрыт кедрово-широколиственным лесом (4), местами нарушенным. На участках старых рубок и гарей произрастают мелколиственные древесные породы (березы, осина Давида). Травяной покров неравномерен и представлен осоково-папоротниково-разнотравной растительностью, чередующейся с часто встречающимися мертвопокровными участками.

IV. 600–700 м над ур. м. На склоне юго-западной экспозиции, как и на предыдущем высотном уровне, произрастает кедрово-широколиственный лес (5). Проективное покрытие травяного яруса незначительно – 20–30%.

V. 700–800 м над ур. м. Лес меняется на кедрово-елово-широколиственный (6), который также, как и на двух предыдущих высотных уровнях, местами нарушен пожарами. Широко распространены мелколиственные породы березы и осины Давида по рубкам и гарям. Разнотравно-осоковый травостой, распределен неравномерно, с проективным покрытием от 10 до 40%.

VI. 800–900 м над ур. м. Каменистость склонов возрастает. Здесь произрастает пихтово-еловый лес с примесью мелколиственных и широколиственных пород (7). Травостой осоково-разнотравный.

VII. 900–1000 м над ур. м. Склон южной экспозиции занят пихтово-еловым лесом с примесью мелколиственных и широколиственных пород (8). Травостой сформирован видами разнотравья.

VIII. 1000–1100 м над ур. м. Древостой представлен темнохвойными древесными породами с березой каменной (9). Травяной покров сильно разрежен.

IX. 1100–1200 м над ур. м. Здесь произрастает пихтово-еловый лес с березой каменной (10), Травостой разнотравный с вейниками. Хорошо развито моховое покрытие, покрывающее камни и почвенный покров.

X. 1200–1300 м над ур. м. Древостой пихтово-еловый с березой каменной (11). Для травостоя характерен густой разнотравно-осоковый покров. Местами отмечаются выходы камней.

XI. 1300–1400 м над ур. м. Древесная растительность не образует сомкнутого полога и чередуется с открытыми выходами камней (курумами). Древостой представлен березой каменной и пихтой белокорой с елью аянской (12). В травяном ярусе преобладает вейник Лангсдорфа. Значительные выходы камней покрыты мхом.

XII. 1400–1500 м над ур. м. Приводораздельная часть хр. Алексеевского. В древостое преобладает береза каменная (13). Редко встречаются пихта белокорая и ель аянская. Травостой состоит преимущественно из осок. Нередки поля камней, на которых единично произрастают стелющиеся формы можжевельника сибирского.

XIII. 1500–1600 м над ур. м. Произрастает невысокий лес, представленный березой каменной с елью аянской (14). Травостой вейниковый, местами отмечается сплошной покров из зеленых мхов. Широко распространены выходы камней. Единично встречается можжевельник сибирский.

Вокруг небольшого озера растительность представлена ивами и березами (15), а травостой вейниковый.

XIV. 1600–1700 м над ур. м. Преобладают поля камней (16) с небольшими фрагментами березового криволеся, ельника зеленомошного и злакового.

На данном высотном уровне встречается участок горной тундры (17), расположенный на выположенном водоразделе около вершины г. Ольховой (1669 м над ур. м.).

Всего отловлено 1316 экземпляров (экз.) пауков, принадлежащих к 22 видам из 11 родов (табл. 1–3). Материал хранится в коллекции Зоологического музея Московского государственного университета (ZMMU) и в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН. Названия видов и родов пауков-кругопрядов приводятся по мировому каталогу World Spider Catalog [2025].

Результаты и их обсуждение

Полевые работы, проведенные на высотном профиле, позволили выявить структуру и население пауков 17 ключевых площадок, расположенных на 14 высотных уровнях (рис. 1).

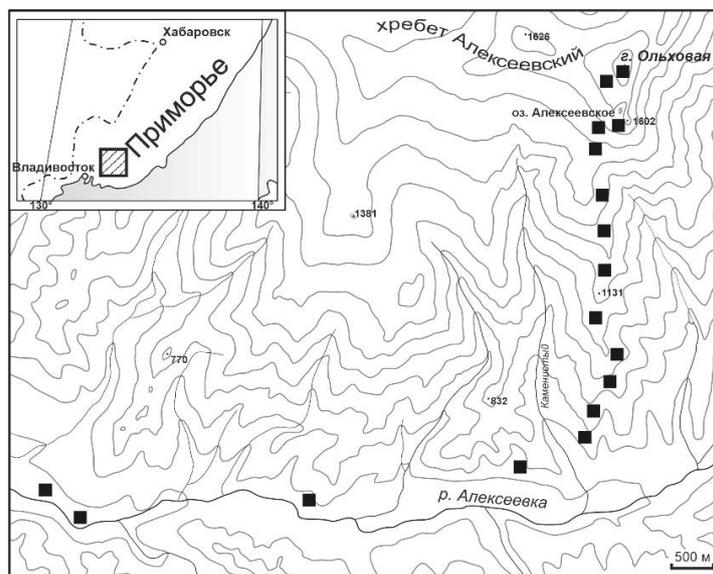


Рис. 1. Район проведения полевых работ.

Квадратами отмечены места расположения ключевых площадок

[Field work area.

The squares mark the locations of key sites]

300–400 м над ур. м. В лесу отловлено 12 видов пауков, принадлежащих к 7 родам. Доминирует *Plebs sachalinensis* (Saito, 1934) – 52.1% населения (рис. 2.). На втором месте по уровню численности находятся *Araneus ishizawai* Kishida, 1920 и *Cyclosa kumadai* Tanikawa, 1992, чья доля в структуре населения составляет по 11.0%. Меньше всего отловлено *A. ventricosus* (L. Koch, 1878), *Hypsosinga sanguinea* (C.L. Koch, 1844) и *Pronoides brunneus* Schenkel, 1936 (по 1.4%). Суммарно собрано 146 экз. пауков.

Среди луговой растительности отловлено 330 экз. пауков 13 видов из 8 родов. Доминируют пауки, характерные для открытых лугово-полевых местообитаний: *C. okutae* Tanikawa 1992, *Alenatea wangi* Zhu &

Song, 1999, и *A. pinguis* (Karsch, 1879). Их доля в структуре населения составляет 29.7; 26.5 и 15.5%, соответственно. При этом доля других видов, типичных для подобных местообитаний (*Neoscona adianta* (Walckenaer, 1802), *A. marmoreus* Clerck, 1757, *Argiope bruennichi* (Scopoli, 1772)), колебалась от 3.7 до 9.9%

Таблица 1

Распределение видов пауков-кругопрядов (Araneidae) на ключевых площадках по исследованным высотным уровням (300–800 м) на Алексеевском хр.

[Distribution of orb-weaver spider species (Araneidae) at key sites by studied elevation levels (300-800 m) on the Alekseevsky Ridge]

Вид	Высота, м над ур. моря / численность, экз.					
	300–400 лес	300–400 луг	400–500	500–600	600–700	700–800
Номера ключевых площадок	1	2	3	4	5	6
<i>Alenatea wangi</i> Zhu & Song, 1999	-	11♂76♀	-	-	-	-
<i>A. acusiseta</i> Zhu & Song, 1994	3♀	-	2♀	-	-	2♀
<i>Araneus ishisawai</i> Kishida, 1920	2♂14♀	-	6♀	11♀	1♂17♀	37♀
<i>A. macacus</i> Uyemura, 1961	-	1♂1♀	-	-	-	2♀
<i>A. marmoreus</i> Clerck, 1757	1♂13♀	2♂25♀	4♀	-	-	2♀
<i>A. pinguis</i> (Karsch, 1879)	-	2♂49♀	-	-	-	-
<i>A. stella</i> (Karsch, 1879)	7♀	1♀	1♀	-	-	-
<i>A. variegatus</i> Yaginuma, 1960	-	-	1♂1♀	3♀	-	-
<i>A. ventricosus</i> (L. Koch, 1878)	2♀	1♂	-	-	3♀	1♂1♀
<i>Argiope bruennichi</i> (Scopoli, 1772)	-	4♂9♀	-	-	-	-
<i>Araniella yaginumai</i> Tanikawa, 1995	3♀	1♂4♀	1♀	-	-	3♀
<i>Cyclosa japonica</i> Bosenberg & Strand, 1906	1♀	-	-	-	-	-
<i>C. kumadai</i> Tanikawa, 1992	1♂15♀	-	5♀	4♀	-	-
<i>C. okumae</i> Tanikawa, 1992	-	2♂96♀	-	-	-	-
<i>Hypsosinga sanguinea</i> (C.L. Koch, 1844)	2♀	-	-	-	-	-
<i>Neoscona adianta</i> (Walckenaer, 1802)	-	6♂29♀	-	-	-	-
<i>N. scylla</i> (Karsch, 1879)	1♂3♀	1♀	-	-	-	-
<i>Plebs sachalinensis</i> (Saito, 1934)	5♂71♀	2♂6♀	5♂41♀	3♂29♀	21♀	1♂23♀
<i>Pronoides brunneus</i> Schenkel, 1936	2♀	-	-	-	-	1♀
<i>Singa hamata</i> (Clerck, 1757)	-	1♀	-	-	-	-
Суммарно:	146	330	67	50	42	73

Примечание: описание ключевых площадок (1–17) по высотным уровням см. в разделе Материалы и методы исследований.

400–500 м над ур. м. Население пауков представлено 8 видами, принадлежащими к 4 родам. Собрано 67 экз. Преобладает *P. sachalinensis*, чья доля в структуре населения составляет 68.7%. Доля пауков рода *Araneus* не превышает 22.4% (рис. 2), где наиболее многочислен *A. ishisawai* (9.0% населения). В небольшом количестве попадаются *A. stella* (Karsch, 1879) и *Araniella yaginumai* Tanikawa, 1995 – по 1.5% в населении.

500–600 м над ур. м. Выявлено четыре вида пауков из 3 родов. Учтено 50 экз. Также, как и на предыдущем высотном уровне, здесь доминирует *P. sachalinensis* (64.0%). Доля *A. ishisawai* возросла до 22.0%. Попадает *A. variegatus* Yaginuma, 1960 (6.0%).

600–700 м над ур. м. Обнаружено три вида пауков из 2 родов. Отловлено 42 экз. Доля *P. sachalinensis* снизилась до 50.0% (рис. 2). Значительно возросло участие *A. ishisawai* в населении (до 42.9%). Отмечается *A. ventricosus*.

700–800 м над ур. м. По сравнению с предыдущим высотным уровнем, произошло увеличение количества отловленных видов с 3 до 8, принадлежащих к 3 родам. Собрано 73 экз. Доля *P. sachalinensis* снизилась до 32.9% (рис. 2), а доля *A. ishisawai* увеличилась до 50.7%. Участие остальных видов в населении пауков незначительно и колебалось от 1.4% до 2.7%.

800–900 м над ур. м. Собрано 44 экз. пауков 7 видов из 4 родов. Доминируют *A. ishisawai* (54.5%) и *P. sachalinensis* (34.1%). В населении пауков впервые отмечается *A. nordmanni* (Thorell, 1870). Его доля невысока и составляет 2.3%.

900–1000 м над ур. м. Выявлено 6 видов пауков из 3 родов. Собрано 49 экз. Здесь в населении пауков отмечена максимальная доля *A. ishisawai* среди всех обследованных биотопов (63.3%). Относительная чис-

ленность *P. sachalinensis* сокращается до 24.5% (рис. 2). Остальные пауки немногочисленны. Их доля колеблется от 2.0 до 4.1%.

Таблица 2

Распределение видов пауков-кругопрядов (Araneidae) на ключевых площадках по исследованным высотным уровням (800–1400 м) на Алексеевском хр.

[Distribution of orb-weaver spider species (Araneidae) at key sites by studied elevation levels (800–1400 m) on the Alekseevsky Ridge]

Вид	Высота, м над ур. моря / численность, экз.					
	800–900	900–1000	1000–1100	1100–1200	1200–1300	1300–1400
Номера ключевых площадок	7	8	9	10	11	12
<i>Aculepeira matsudae</i> Tanikawa, 1994	-	-	32♀	35♀	33♀	25♀
<i>Alenatea acuiseta</i> Zhu & Song, 1994	1♂	-	-	-	-	-
<i>Araneus ishisawai</i> Kishida, 1920	1♂23♀	1♂30♀	8♀	1♀	-	-
<i>A. macacus</i> Uyemura, 1961	-	1♀	1♀	-	-	1♀
<i>A. marmoreus</i> Clerck, 1757	-	1♂1♀	2♀	2♂3♀	1♂4♀	-
<i>A. nordmanni</i> (Thorell, 1870)	1♂	-	7♀	1♂11♀	1♂15♀	4♀
<i>A. variegatus</i> Yaginuma, 1960	-	-	2♀	1♀	-	1♀
<i>A. ventricosus</i> (L. Koch, 1878)	1♀	2♀	-	1♀	-	-
<i>Araniella yaginumai</i> Tanikawa, 1995	-	-	3♀	6♀	1♂13♀	5♀
<i>Hypsosinga sanguinea</i> (C.L. Koch, 1844)	-	-	-	-	1♂4♀	-
<i>Neoscona adianta</i> (Walckenaer, 1802)	1♀	-	-	-	2♀	1♂
<i>Plebs sachalinensis</i> (Saito, 1934)	15♀	12♀	9♀	1♂10♀	6♀	3♀
<i>Pronoides brunneus</i> Schenkel, 1936	1♀	1♀	1♀	1♀	3♀	4♀
Суммарно:	44	49	65	73	84	44

Таблица 3

Распределение видов пауков-кругопрядов (Araneidae) на ключевых площадках по исследованным высотным уровням (1400–1700 м) на Алексеевском хр.

[Distribution of orb-weaver spider species (Araneidae) at key sites by studied elevation levels (1400–1700 m) on the Alekseevsky Ridge]

Вид	Высота, м над ур. моря / численность, экз.				
	1400–1500	1500–1600 с елью	1500–1600 с ивами	1600–1700 курумы	1600–1700 горная тундра
Номера ключевых площадок	13	14	15	16	17
<i>Aculepeira matsudae</i> Tanikawa, 1994	1♂28♀	2♂34♀	-	1♂46♀	31♀
<i>Araneus macacus</i> Uyemura, 1961	-	2♀	1♀	1♀	-
<i>A. marmoreus</i> Clerck, 1757	2♀	-	8♀	4♀	-
<i>A. nordmanni</i> (Thorell, 1870)	3♀	1♂7♀	-	-	-
<i>A. ventricosus</i> (L. Koch, 1878)	-	1♀	1♀	-	-
<i>Araniella yaginumai</i> Tanikawa, 1995	7♀	1♂3♀	4♀	2♀	-
<i>Neoscona adianta</i> (Walckenaer, 1802)	5♀	-	6♀	4♀	-
<i>Plebs sachalinensis</i> (Saito, 1934)	5♀	1♂6♀	15♀	1♂8♀	4♀
<i>Pronoides brunneus</i> Schenkel, 1936	-	2♀	1♀	-	-
Суммарно:	51	60	36	67	35

1000–1100 м над ур. м. Отловлено 65 экз. 9 видов пауков из 5 родов. В данном биотопе абсолютно доминирует *Aculepeira matsudae* Tanikawa, 1994 (49.2%), впервые зафиксированная на хр. Алексеевском среди полей камней. Доля *A. nordmanni*, *A. ishisawai*, *P. sachalinensis* колеблется от 10.8 до 13.8%. Численность остальных видов невысока.

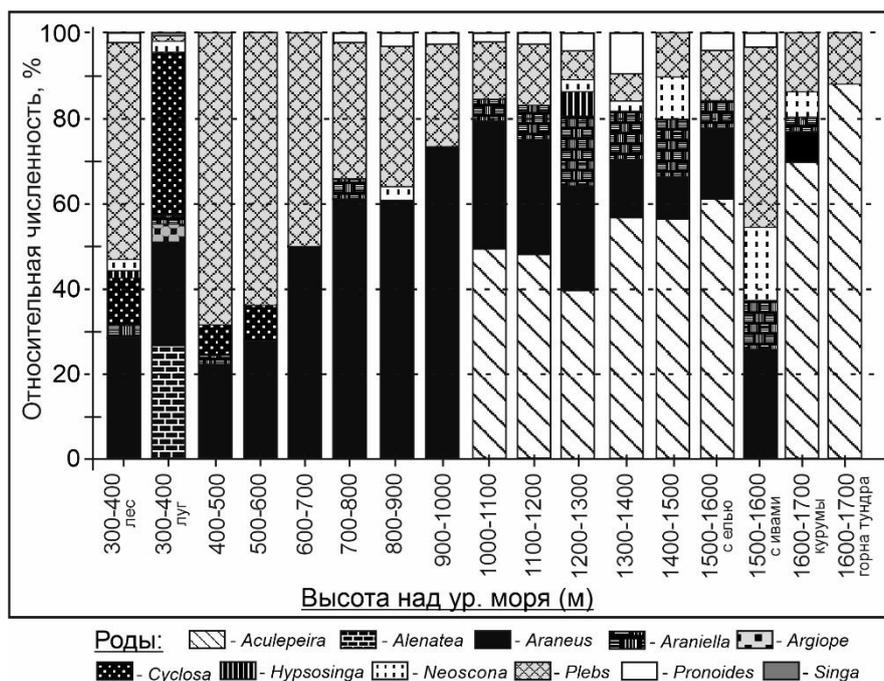


Рис. 2. Относительная численность родов пауков на ключевых площадках по исследованным высотным уровням Алексеевского хр.

Описание ключевых площадок (1–17) по высотным уровням см. в разделе Материалы и методы исследований

[Relative abundance of spider genera at the studied altitude levels of the Alekseevsky Ridge.

For a description of key sites (1-17) by altitude levels, see the Materials and Research Methods section]

1100–1200 м над ур. м. Выявлено 9 видов пауков, принадлежащих к 5 родам. Отловлено 73 экз. Структура населения схожа с таковой на предыдущем высотном уровне. Доминант – *A. matsudae* (47.9%). Отмечается увеличение доли *A. yaginumai* с 4.6 до 8.2% (рис. 2).

1200–1300 м над ур. м. Отловлено 8 видов пауков из 7 родов. Собрано 84 экз. В доминантах по-прежнему *A. matsudae* – 39.3% (рис. 2). Доля *A. nordmanni* и *A. yaginumai* составляет 19.0 и 16.7% соответственно. Остальные виды малочисленны.

1300–1400 м над ур. м. Выявлено 8 видов пауков из 6 родов. Собрано 44 экз. Абсолютно доминирует *A. matsudae* (56.8%). Общая доля *A. yaginumai*, *A. nordmanni* и *P. brunneus* составляет 29.5% населения. Можно отметить незначительное присутствие *N. adianta* (2.3%).

1400–1500 м над ур. м. Собрано 49 экз. пауков 6 видов из 5 родов. Здесь, как и на ниже расположенном высотном уровне, абсолютно доминирует *A. matsudae* (56.9%). Суммарная доля *A. yaginumai*, *P. sachalinensis*, *N. adianta* достигает 33.3% (рис. 2).

1500–1600 м над ур. м. В лесу собрано 60 экз. пауков 7 видов из 5 родов. *A. matsudae* остается абсолютным доминантом (60.0%). Доля *A. nordmanni* и *P. sachalinensis*, находящихся на втором и третьем месте по уровню численности, составляет 13.3 и 11.7% соответственно.

У небольшого озера среди ив и берез выявлено 7 видов пауков, принадлежащих к 5 родам. Собрано 36 экз. Доминирует *P. sachalinensis* (41.7%). Доля *A. marmoreus* и *N. adianta* (характерных видов для нижних высотных уровней с открытыми растительными сообществами) – 22.2 и 16.7% соответственно (рис. 2).

Выше 1600 м над ур. м. На полях камней собрано 67 экз. пауков 6 видов из 5 родов. Абсолютно доминирует *A. matsudae* (70.1%). Доля остальных видов колеблется от 1.5% (*A. macacus* Uyemura, 1961) до 13.4% (*P. sachalinensis*).

Среди горной тундры около вершины г. Ольховой (1669 м над ур. м.) отловлено 2 вида пауков, принадлежащих к 2 родам. Собрано 35 экз. Абсолютно доминирует *A. matsudae* (88.6%) при участии в населении *P. sachalinensis* (рис. 2).

Сравнение населения пауков на хр. Алексеевском с ранее полученными нами данными на Ливадийском хр. [Симонов, 2017, 2021], расположенном на 70 км ближе к морю и относящимся, по Ливеровскому и Колесникову [1949], к одному типу высотной поясности, позволило установить, что 10 родов (91.0%) из 11 и 19 видов (86.3%) из 23 являются общими для сравниваемых горных хребтов.

Выявлена неравномерность распределения пауков-кругопрядов по высотным уровням на Алексеевском хр. В целом, здесь не наблюдается тенденция уменьшения количества видов с увеличением высоты над

уровнем моря, отмеченная ранее для хр. Ливадийского [Симонов, 2017]. Возможно, это связано с антропогенным воздействием и недостаточно развитой горной тундрой.

Заключение

На хр. Алексеевском выявлено 22 вида пауков-кругопрядов, принадлежащих к 11 родам (44.0% от общего количества видов пауков-кругопрядов Приморского края).

Наибольшее видовое разнообразие (19 видов) и численность аранеид зафиксированы в нижней части высотного профиля на высотах 300–400 м над ур. м., где в долинных широколиственных лесах преобладает *Plebs sachalinensis*, а на полянно-разнотравных лугах – *Alenatea wangi*. Наименьшее видовое разнообразие и численность пауков отмечены на самом верхнем высотном уровне, в районе вершины г. Ольховой (1669 м над ур. м.). Здесь на участке с горной тундрой отловлено два вида пауков: *Aculepeira matsudae* и *P. sachalinensis*.

Широко распространенный вид в районе работ – *P. sachalinensis*. Встречен на всех высотных уровнях во всех обследованных биотопах.

Распределение пауков-кругопрядов по высотным уровням на Алексеевском хр. неравномерно. Здесь не наблюдается тенденция уменьшения количества видов с увеличением высоты над уровнем моря, отмеченная ранее для хр. Ливадийского.

Сравнение данных по распределению пауков на хр. Алексеевском с ранее полученными нами данными на Ливадийском хребте позволило установить, что 10 родов (91.0%) из 11 и 19 видов (86.3%) из 23 являются общими для сравниваемых горных хребтов.

Список источников

1. Егорова Н.А. Учебная практика по ботанической географии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 56 с.
2. Ливеровский Ю.А., Колесников Б.П. Природа южной половины Советского Дальнего Востока. М.: Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1949. 382 с.
3. Марусик Ю.М., Ковблук Н.М. Пауки (Arachnida, Aranei) Сибири и Дальнего Востока России. М.: КМК, 2011. 344 с.
4. Омелько М.М. Высотно-поясное распределение бродячих пауков-герпетобионтов (Arachnida, Aranei) на горе Облачная, Южное Приморье // Чтения памяти А.И. Куренцова. Вып. 20. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 138–146.
5. Омелько М.М. Биотопическое и высотное-поясное распределение бродячих пауков-герпетобионтов (Arachnida, Aranei) в южном Приморье на примере горы Сестра // Чтения памяти А.И. Куренцова. Вып. 21. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 82–90.
6. Омелько М.М. Высокогорная фауна пауков-волков (Aranei: Lycosidae) юга Дальнего Востока России // Чтения памяти А.И. Куренцова. Вып. 24. Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 101–106.
7. Симонов П.С. Высотное распределение пауков-кругопрядов (Aranei: Araneidae) на Ливадийском хребте (Южное Приморье) // Чтения памяти А.И. Куренцова. Вып. 28. Владивосток: Дальнаука, 2017. С. 35–45.
8. Симонов П.С. Биотопическое распределение пауков-кругопрядов (Aranei: Araneidae) в привершинной зоне гор Южного Сихотэ-Алиня // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2021. Т. 35. С. 74–85. DOI: 10.26516/2073-3372.2021.35.74.
9. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Paleontologia Electronica. 2001. Vol. 4, № 1. P. 1–9.
10. Omelko M.M., Marusik Yu.M. New data on spiders (Aranei) from southern part of the Khabarovsk Province // Arthropoda Selecta. 2000. Vol. 23, № 3. P. 311–318.
11. World Spider Catalog. Version 25.5. Natural History Museum Bern. 2025. URL: <https://wsc.nmbe.ch> (дата обращения: 16.01.2025).

References

1. Egorova N.A. *Učebnaja praktika po botaničeskoj geografii* [Practice of Education in botanical geography: methodical manual]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1984, 56 p. (In Russ.).
2. Liverovskii Yu.A., Kolesnikov B.P. *Priroda južnoi poloviny Sovetskogo Dal'nego Vostoka* [Nature of the southern half of the Soviet Far East]. Moscow, Geografiz Publ., 1949, 382 p. (In Russ.).
3. Marusik Yu.M., Kovblyuk N.M. *Pauki (Arachnida, Aranei) Sibiri i Dal'nego Vostoka Rossii* [Spiders (Arachnida, Aranei) of Siberia and Russian Far East]. Moscow, KMK Publ., 2011, 344 p. (In Russ.).
4. Omel'ko M.M. [Altitudinal distribution of the ground dwelling spider (Arachnida, Aranei) in Oblachnaya mountain, South Primorye]. *Čtenija pamjati A.I. Kurencova*. [A.I. Kurentsov Ann. Mem. Meet]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2009, V. 20, pp. 138-146. (In Russ.).

5. Omel'ko M.M. [Spatial and altitudinal distribution of the ground dwelling spiders (Arachnida, Aranei) in the Southern Primorye by example of Sestra mountain]. *Čtenija pamjati A.I. Kurencova* [A.I. Kurentsov Ann. Mem. Meet.]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2010, V. 21, pp. 82-90. (In Russ.).

6. Omel'ko M.M. [High-mountain fauna of the wolf spiders (Aranei; Lycosidae) in the south part of the Russian Far East]. *Čtenija pamjati A.I. Kurencova* [A.I. Kurentsov Ann. Mem. Meet.]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2013, V. 24, pp. 101-106. (In Russ.).

7. Simonov P.S. [Altitudinal-zonal distribution of the orb-weaver spiders (Aranei: Araneidae) in the Liva-diisky range (Southern Primorye)]. *Čtenija pamjati A.I. Kurencova* [A.I. Kurentsov Ann. Mem. Meet.]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2017, V. 28, pp. 35-45. (In Russ.).

8. Simonov P.S. [Biotopical distribution of orb-weaver spiders (Aranei: Araneidae) in the upper parts of the South Sikhote-Alin mountains]. *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Biologija. Ėkologija*. V. 35 (2021): pp. 74-85. (In Russ.).

9. Hammer O., Harper D.A. T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Eletronica*. V. 4, No. 1 (2001): pp. 1-9.

10. Omelko M.M., Marusik Yu.M. New data on spiders (Aranei) from southern part of the Khabarovsk Province. *Arthropoda Selecta*. V. 23, No. 3 (2000): pp. 311-318.

11. World Spider Catalog. Version 25.5. Natural History Museum Bern. 2025. Available at: <https://wsc.nmbe.ch> (accessed 16.01.2025).

Статья поступила в редакцию 16.05.2025; одобрена после рецензирования 08.09.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 16.05.2025; approved after reviewing 08.09.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторе

П. С. Симонов – канд. географ. наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеографии и экологии.

Information about the author

P. S. Simonov – Candidate of Sciences (Geography), Senior Staff Scientist, Laboratory of Biogeography and Ecology.

МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 579.258

EDN: JAVYIY

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-270-278



Молекулярно-генетическая характеристика патогенности штаммов лактозонегативной *Escherichia coli*, выделенных у больных COVID-19 и в постковидный период

Марина Вячеславовна Назарова^{1✉}, Андрей Владимирович Мاستиленко²,
Наталья Иосифовна Потатуркина-Нестерова³

¹⁻³ Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

^{1✉} manazarova104@gmail.com

² mav0608@yandex.ru

³ microprofi@gmail.com

Аннотация. Проведено проспективное молекулярно-генетическое исследование клинических изолятов лактозонегативной *Escherichia coli*, выделенных у больных COVID-19 в острый период заболевания (1-ая группа обследованных). 2-ю и 3-ю группы составили пациенты с отдаленными последствиями COVID-19 – через 3 месяца и через 6 месяцев соответственно. Диагноз подтверждали методом ПЦР РНК SARS Cov-2 с обратной транскрипцией. Произведено определение полных нуклеотидных последовательностей участков генов патогенности, кодирующих синтез фимбриальных адгезинов (*fimH*), аэробактерина (*aer*), белка IbeA (*ibeA*) и гемолизина (*hlyF*). Проведен биоинформационный анализ консервативных участков исследованных фрагментов геномов лактозонегативной *E. coli*. Установлено, что частота встречаемости олигонуклеотидных последовательностей генов, детерминирующих патогенность, в первой группе составила 95.2%, во второй – 95.2%, в третьей – 100% (в контрольной группе здоровых – 20.0% изолятов), что свидетельствует о повышении патогенного потенциала исследованных штаммов лактозонегативной *E. coli* во всех группах. В первой группе ген *fimH* обнаружен у 81.0%, ген *aer* – у 33.3%, ген *ibeA* – у 23.8%, ген *hlyF* – у 19.0% штаммов. Во второй группе ген *fimH* выявлен у 88.3%, ген *ibeA* – у 26.2%, ген *aer* – у 31.0%, ген *hlyF* – у 9.5% штаммов. В третьей группе ген *fimH* обнаружен у 100.0% штаммов, ген *aer* – у 64.0%, ген *ibeA* – у 56.0%, ген *hlyF* – у 40.0%. В контроле ген *fimH* и ген *aer* были выявлены у 10.0% и 10.0% штаммов соответственно. Следовательно, наиболее встречаемым геном является *fimH*. Частота его встречаемости в первой группе в 8.1, во второй – в 8.8 и в третьей – в 10.0 раз была выше контрольных значений, гена *aer* – в 3.3, 3.0 и 6.4 раза соответственно.

Ключевые слова: гены патогенности, *Escherichia coli*, COVID-19, микробиота кишечника

Для цитирования: Назарова М. В., Мاستиленко А. В., Потатуркина-Нестерова Н. И. Молекулярно-генетическая характеристика патогенности штаммов лакто-зонегативной *Escherichia coli*, выделенных у больных COVID-19 и в постковидный период // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 270–278. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-2-270-278>.

MICROBIOLOGY

Original article

Molecular and genetic characteristics of pathogenicity of lactose-negative strains *Escherichia coli* isolated from COVID-19

Marina V. Nazarova^{1✉}, Andrey V. Mastilenko², Natalia I. Potaturkina-Nesterova³

¹⁻³ Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

^{1✉} manazarova104@gmail.com

² mav0608@yandex.ru

³ microprofi@gmail.com

Abstract. We identified the genetic determinants of the pathogenicity of this species. The prospective molecular genetic study of lactose-negative *E. coli* isolates was performed using PCR-RT. We determined the complete nucleotide sequences of the gene regions encoding the synthesis of fimbrial adhesins (*fimH*), aerobactin (*aer*), IbeA protein (*ibeA*) and hemolysin (*hlyF*) and performed a bioinformatic analysis of the conserved regions

of the studied fragments of the genomes of lactose-negative *E. coli*. We found that the frequency of occurrence of oligonucleotide sequences of genes determining pathogenicity in the first group was 95.2%, in the second – 95.2%, in the third – 100% (in the control – 20.0% of isolates). This indicates an increased pathogenicity of the studied strains of lactose-negative *E. coli* in all groups. In the first group, the *fimH* gene was found in 81.0%, the *aer* gene in 33.3%, the *ibeA* gene in 23.8%, and the *hlyF* gene in 19.0% of the strains. In the second group, the *fimH* gene was detected in 88.3%, the *ibeA* gene in 26.2%, the *aer* gene in 31.0% and the *hlyF* gene in 9.5% of the strains. In the third group, the *fimH* gene was found in 100.0% of the strains, the *aer* gene – in 64.0%, the *ibeA* gene – in 56.0% and the *hlyF* gene – in 40.0%. In the control, the *fimH* gene and the *aer* gene were detected in 10.0% and 10% of the strains, respectively. Therefore, the *fimH* gene has the highest frequency of occurrence.

Keywords: pathogenicity genes, *Escherichia coli*, COVID-19, intestinal microbiota

For citation: Nazarova M. V., Mastilenko A. V., Potaturkina-Nesterova N. I. [Molecular and genetic characteristics of pathogenicity of lactose-negative strains *Escherichia coli* isolated from COVID-19]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 270-278. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-270-278>.

Введение

Большой интерес исследователей вызывает изучение COVID-19 в острый период заболевания, в то время как полученные в последние годы данные свидетельствуют о развитии отдаленных последствий заболевания, которые пока остаются недостаточно изученными [Корсунский, Белоусова, Будзинская, 2023]. Отдаленные симптомы заболевания могут сохраняться после завершения острой фазы и обладать дальнейшим разрушительным действием [Gupta et al., 2020].

Выявление поражений различных органов и систем после завершения острой фазы заболевания нашло свое отражение в Международном классификаторе болезней 10-го пересмотра, в который был внесен отдельный код для описания постковидного синдрома (ПКС): «U09.9 – состояние после COVID-19» (МКБ-10, код рубрики U09.9 «Состояние после COVID-19 неуточнённое»). ПКС развивается или продолжается после окончания ковидной инфекции и длится от 12 недель до 12 месяцев и более [43-я Всемирная ..., 2023].

В последние годы показано наличие отсроченных поражений желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), когда у переболевших коронавирусной инфекцией развиваются осложнения в течение нескольких недель или же месяцев после заражения [Megyeri et al., 2021]. Данные, полученные Elmunzer et al. и Rizvi et al., также свидетельствуют о симптомах поражения ЖКТ, которые могут проявляться как с первых дней заболевания COVID-19, так и после выздоровления [Elmunzer et al., 2021; Rizvi et al., 2021].

Описаны основные гастроинтестинальные жалобы и наиболее распространённые гастроэнтерологические симптомы в постковидный период [Шилов, 2022]. Авторами представлены результаты проведенного исследования факторов риска развития нарушений со стороны системы пищеварения у больных, перенесших коронавирусную инфекцию, и даны рекомендации по включению пробиотических препаратов в схемы лечения длительно текущего коронавирусного синдрома.

Установлено, что у больных COVID-19 происходят качественные и количественные изменения микробиоты кишечника. Так, Zuo et al. [2020] показано изменение микробного состава данного биотопа при COVID-19 с превалированием условно-патогенных микроорганизмов и даже наличием корреляции между их количеством и тяжестью течения заболевания.

По данным Лутовиной с соавт., при продолжительных респираторно-вирусных инфекциях происходит увеличение количественных показателей *E. coli* в микробиоте кишечника. Авторами отмечена высокая частота встречаемости лактозонегативной *E. coli* – у 75.9% обследованных [Лутовина и др., 2017]. Аналогичные результаты представлены в работе Поповой и соавт. [2024].

Показано, что при ковидной инфекции происходит увеличение более чем в 30 раз количественных показателей лактозонегативной *Escherichia coli*, известной способностью вызывать состояния, характерные для кишечных заболеваний, по сравнению с аналогичными данными у здоровых людей [Назарова, Потатуркина-Нестерова, Ильина, 2024]. Однако до сих пор остаются мало изученными механизмы реализации патогенности у представителей микроценоза кишечника в остром и постковидном периодах.

E. coli является одним из наиболее значимых симбионтов кишечника, выполняющим ряд жизненно важных для макроорганизма функций [Ильина, Карпеева, Гусева, 2008; Кузнецова, Гизатуллина, 2019]. В то же время кишечная палочка, обладая высокой пластичностью генома, способна проявлять выраженную патогенную активность. Обмен мобильными генетическими элементами приводит к появлению новых вариантов вида с более высоким патогенным потенциалом [Иванова и др., 2014].

Важнейшими факторами патогенности *E. coli* являются адгезины, гемолизины, аэробактин и инвазивный белок IbeA [Johnson, 1991; Жабченко, 2013]. К генетическим структурам, детерминирующим фирмиальную активность, относится ген *fimH*, обеспечивающий взаимодействие с маннозой [Устюжанин, Чистякова, Ремизова, 2020; Новикова и др., 2023]. Аэробактин кодируется геном *aer* и отвечает за связы-

вание и перенос железа в бактериальную клетку для накопления в биотопах, что обеспечивает устойчивость кишечной палочки к антимикробному белку лактоферрину [Здвижкова, Андриященко, 2017; Raеisрour, Ranjbar, 2018].

Гемолизин кодируется несколькими генами, среди которых наибольший интерес вызывает ген *hlyF*, который экспрессируется *E. coli*, имеющей способность вызывать инфекции даже внекишечной локализации [Murase et al., 2016; Здвижкова, Андриященко, 2017].

Белок *IbeA* выступает фактором вирулентности кишечной палочки, отвечающий за ее способность к инвазии. Он кодируется геном *ibeA* и экспрессируется, как правило, *E. coli*, вызывающими также внекишечные инфекции [Germon et al., 2005]. Однако проблема молекулярно-генетической характеристики кишечной микробиоты, обнаруживаемой в острый и постковидный периоды COVID-19, в настоящее время остается мало изученной. Это свидетельствует о необходимости дополнительных исследований генетических детерминант патогенности представителей микробного консорциума кишечника для определения возможного их участия в развитии патологических состояний, ассоциированных с COVID-19 и постковидным состоянием.

В связи с этим целью исследования явилось выявление генов патогенности, детерминирующих адгезивную и гемолитическую активность, а также способность образования аэробактина и инвазивного белка *IbeA* у лактозонегативной *E. coli*, выделенной у пациентов в острый и постковидный периоды COVID-19.

Материалы и методы исследования

В изучаемую когорту вошли пациенты без признаков поражения желудочно-кишечного тракта в острый и постковидный периоды COVID-19. Диагноз подтверждали методом ПЦР РНК SARS Cov-2.

Объектом исследования служили 21 штамм лактозонегативной *E. coli*, выделенные у больных COVID-19 (первая группа), 42 – через 3 месяца (вторая группа) и 25 – через 6 месяцев от начала заболевания (третья группа). Контрольную группу составили штаммы лактозонегативной *E. coli*, выделенные у клинически здоровых людей, репрезентативных по полу и возрасту.

Забор копрологических проб производили общепринятым методом [Сигидаев и др., 2014]. Культивирование кишечной микробиоты проводили в соответствии с Приказом МЗ РФ № 231 [Об утверждении..., 2003]. Культуры лактозонегативной *E. coli* получали на среде Мюллера–Хинтона (НИИ центр фармакотерапии, ЗАО, Санкт-Петербург) при температуре 37°C.

Идентификацию представителей кишечной микробиоты осуществляли при помощи автоматического бактериологического анализатора Vitek 2 Compact (Biomérieux, Франция).

Для характеристики патогенного потенциала полученных штаммов лактозонегативной *E. coli* методом ПЦР-РВ выявляли гены, детерминирующие синтез фимбриальных адгезинов (*fimH*), аэробактина (*aer*), гемолизина (*hlyF*) и инвазивного белка (*ibeA*). Бактериальную ДНК выделяли из суточной культуры лактозонегативной *E. coli* с помощью набора реагентов «ДНК-сорб-А-вариант 100» (АмплиСенс, Москва) согласно инструкции производителя. Для очистки и выделения нуклеиновых кислот использовали Taq-ДНК-полимеразу с ингибирующими активностью фермента антителами (состав набора: дезокси-нуклеозидтрифосфаты, 2,5 мМ, 500 мкл; 10-кратный ПЦР буфер, 500 мкл; MgCl₂, 25 мМ, 500 мкл; Taq ДНК-полимеразы с ингибирующими активностью фермента антителами, 5 Е/мкл, 50 мкл; деионизированная вода, 2x1.7 мл) (ООО «Синтол», Москва) [Мастиленко и др., 2014; Феоктистова и др., 2022].

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета прикладных программ Excel-2024

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных исследований определены полные нуклеотидные последовательности участков генов и проведен биоинформационный анализ консервативных участков исследуемых фрагментов геномов лактозонегативной *E. coli* согласно протоколу проведения амплификации (таблица).

Протокол проведения амплификации [Amplification protocol]

№ шага	Температура, t °C	Время, сек	Количество повторов
1	95	300	1
2	95	10	5
	60	30	
3	95	5	50
	60	10-флуоресценция	

В результате генетического анализа выявлено наличие генов *fimH*, *aer*, *ibeA*, *hlyF*, детерминирующих патогенность клинических изолятов лактозонегативной *E. coli*. Во всех случаях наблюдалось превыше-

ние порога сигнала по каналу Fam, что свидетельствует о наличии искомым нуклеотидных последовательностей в пробах (рис. 1).

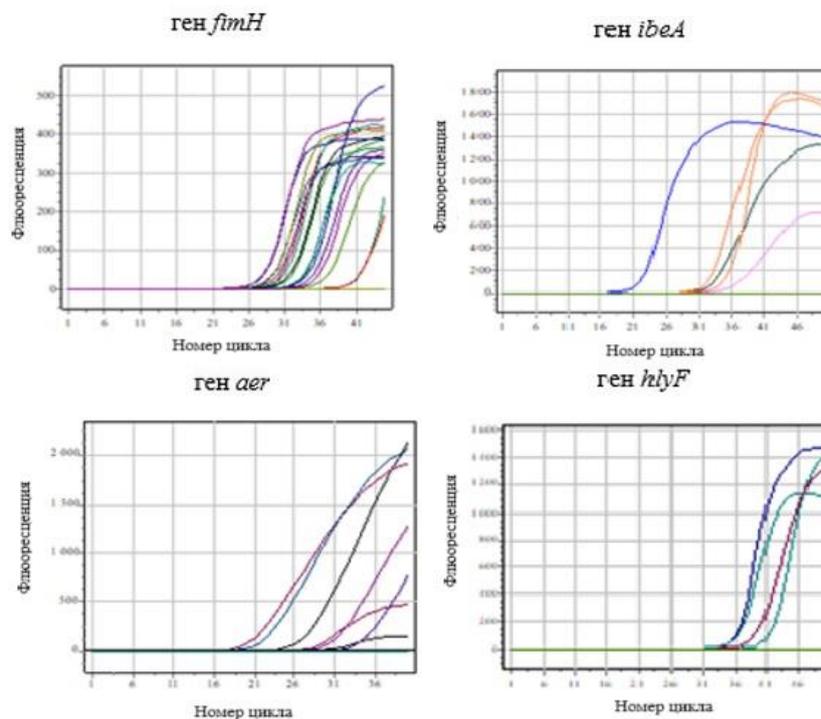


Рис. 1. Результаты амплификации фрагмента генов лактозонегативной *E. coli* в первой группе
 [Results of amplification of a fragment of genes of lactose-negative *E. coli* in the first group]

Выявление нуклеотидных последовательностей у лактозонегативной *E. coli* показало присутствие генов патогенности у 95.2% штаммов в первой и во второй группах соответственно и у 100.0% штаммов в третьей группе (рис. 2).

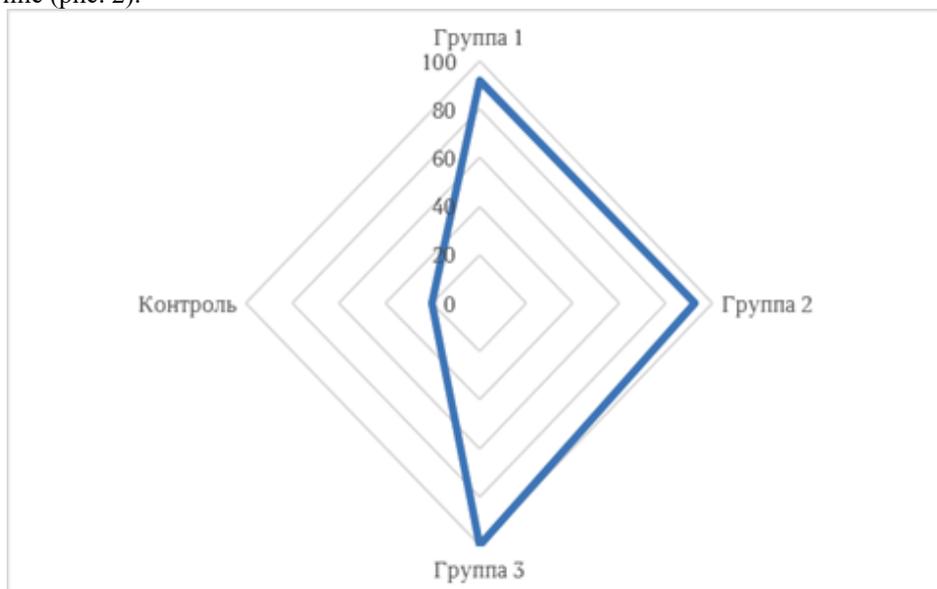


Рис. 2. Частота встречаемости генов патогенности лактозонегативной *E. coli* в группах
 [Frequency of the occurrence of genes of lactose-negative pathogenicity *E. coli* in groups]

В контроле гены патогенности обнаружены у 20.0% штаммов. Так, гены *fimH* и *aer* были выявлены лишь у 10.0% штаммов. Гены *ibeA* и *hlyF* у лактозонегативной *E. coli* в контроле не выявлены (рис. 3).

В первой группе ген *fimH* обнаружен у 81.0%, *aer* – у 33.3%, *ibeA* – у 23.8%, *hlyF* – у 19.0% штаммов. У 4.8% штаммов наличие генов, детерминирующих патогенность, не выявлено. Установлено одновре-

менное присутствие трех генов патогенности у 19.0% штаммов, двух – у 23.8%. У 52.4% штаммов установлено присутствие только одного гена.

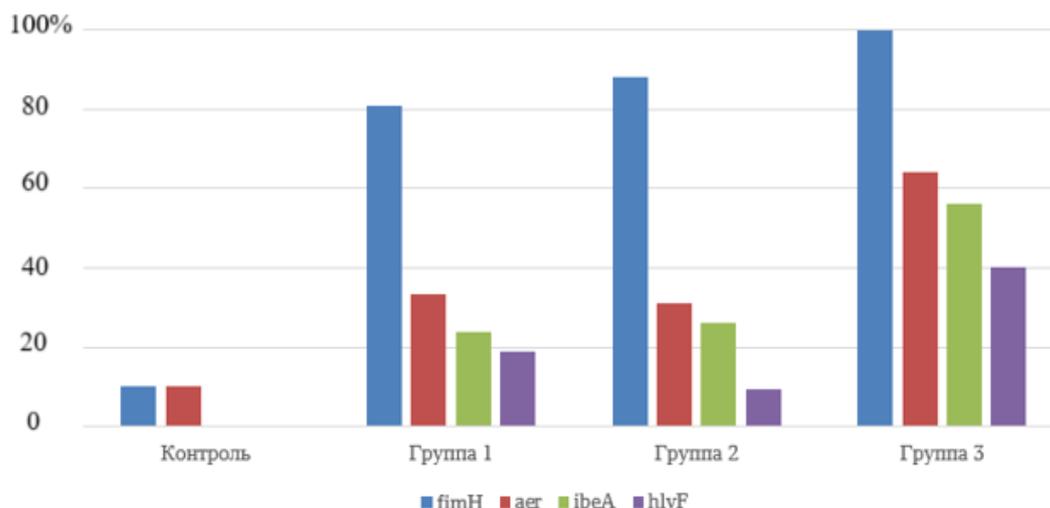


Рис. 3. Встречаемость генов *fimH*, *aer*, *ibeA* и *hlyF* лактозонегативной *E. coli* в группах

[The occurrence of *fimH*, *aer*, *ibeA* и *hlyF* genes of lactose-negative *E. coli* in groups]

Во второй группе ген *fimH* обнаружен у 88.3%, *ibeA* – у 26.2%, *aer* – у 31.0%, *hlyF* – у 9.5% штаммов. У 4.8% штаммов наличие генов патогенности не установлено. Одновременное присутствие четырех генов выявлено у 21.4% штаммов, трех – у 38.1% и двух – у 26.2%. Наличие одного гена патогенности отмечено у 9.5% штаммов.

В третьей группе гены патогенности лактозонегативной *E. coli* выявлены у всех исследованных изолятов. Так, ген *fimH* обнаружен у 100.0% штаммов, *aer* – у 64.0%, *ibeA* – у 56.0%, *hlyF* – у 40.0%. Одновременное присутствие четырех генов патогенности установлено у 24.0% штаммов, трех – у 48.0% и двух генов – у 28.0% штаммов.

Следовательно, отмечается повышение экспрессии генов, детерминирующих патогенность лактозонегативной *E. coli* не только при COVID-19, но и в постковидный период.

COVID-19 часто сопровождается симптомами поражения ЖКТ и изменением состава кишечной микробиоты [Садретдинова и др., 2022]. Это может быть связано с непосредственным воздействием вируса, а также лекарственных веществ (антибиотики и др.) на слизистую оболочку ЖКТ и взаимодействующие с ней микроорганизмы.

При коронавирусной инфекции рецепторы слизистой оболочки кишечника ангиотензинпревращающего фермента 2-го типа (АПФ2) обильно экспрессируются в ЖКТ, что способствует ее прямому поражению со стороны SARS-CoV-2 и непрямому повреждению через усиление системного воспаления. Хроническое системное воспаление и иммунный ответ, развивающиеся после окончания острой фазы COVID-19, вызывают отсроченные осложнения [Papa et al., 2020]. АПФ-2 экспрессируется в эпителиальных клетках желудка, двенадцатиперстной кишки, подвздошной и прямой кишки в 100 раз интенсивнее, чем в легких. По мнению исследователей, проникновение SARS-CoV-2 происходит посредством связывания вирусного белка с рецептором АПФ-2 и расщепления S-белка трансмембранной сериновой протеазой 2-го типа (ТСП-2), которая способствует связыванию вируса с АПФ-2, активируя его S-протеин, необходимый для проникновения SARS-CoV-2 в клетку. Считается, что вирионы SARS-CoV-2 могут разрушать эпителиальные клетки, вызывая их десквамацию и эрозию, что, наряду с воспалением и «цитокиновым штормом», создает условия, требующие активизацию конкурентной борьбы за сайты адгезии [Садретдинова и др., 2022].

Происходящее повышение патогенности кишечных палочек в постковидный период можно объяснить нарушениями нормального физиологического состояния кишечника, проявляющегося в нарушении биохимических процессов и состояния слизистой оболочки. Данные патологические изменения среды вегетирования *E. coli* приводят к нарушению микробного равновесия и изменению свойств кишечной палочки [Юсупов, Одилова, Шайкулов, 2021]. *E. coli* обладает высокой пластичностью генома, связанной с мобильными «островами» патогенности [Мурзабаева и др., 2016; Хуснутдинова и др., 2024], вследствие чего в процессе адаптации происходит повышение их патогенного потенциала. Это подтверждается работами Ивановой с соавт. [2013, 2015], в которых показано усиление патогенности *E. coli* в условиях

повышенной конкурентности при нарушении видового состава микробиоты кишечника. Авторами также отмечена необходимость комплексных исследований факторов патогенности для определения этиологической значимости данного микроорганизма.

По данным Kaczmarek et al. [2017] и Sarowska et al. [2019], лактозонегативные штаммы *E. coli* способны нести в своем геноме гены, определяющие их патогенность (*fimH*, *aer*, *ibeA*, *hlyF*). Kaczmarek et al. [2017] определили закономерность, при которой гемолизин HlyF встречался у данной бактериальной группы лишь у 1.7%, а гены, фланкирующие фимбриальные антигены, были выявлены у 86% исследованных штаммов.

Результаты указывают на необходимость дополнительных генетических исследований патогенного потенциала лактозонегативной *E. coli* не только при COVID-19, но и в постковидный период.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о повышении экспрессии генов, детерминирующих патогенность лактозонегативной *E. coli* у больных COVID-19, через 3 месяца происходило дальнейшее накопление данных генов, достигавшее максимума через 6 месяцев от начала заболевания. В 1-ой и 2-ой группах частота выявления генов патогенности была одинакова и составляла 95.2%. Наибольших значений данный показатель достигал в 3-ей группе (100.0%). Наиболее часто выявляемый ген – *fimH*, детерминирующий адгезивную активность *E. coli*. Частота его встречаемости в 1-ой группе в 8.1, во 2-ой в 8.8 и в 3-ей в 10.0 раз превышала контрольные значения, гена *aer* – в 3.3, в 3.0 и в 6.4 раза соответственно. Данные результаты исследования являются подтверждением возрастающей в настоящее время обеспокоенности долгосрочными последствиями COVID-19, требующими дальнейшего изучения.

Список источников

1. 43-я Всемирная ассамблея здравоохранения. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-го пересмотра, онлайн версия [Электронный ресурс] URL: <https://mkb-10.com/index.php?pid=23014> (дата обращения: 03.07.2023).

2. Жабченко И.А. Уропатогенные штаммы *Escherichia coli*: особенности функционирования, факторы вирулентности, значение в клинической практике // Таврический медико-биологический вестник. 2013. № 16. С. 201–206. EDN: TFRICX.

3. Здвижкова И.А., Андрищенко С.В. Скрининг генетических детерминант патогенного потенциала энтеробактерий // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 9. С. 57–61. EDN: YLQHTE.

4. Иванова Е.И. и др. Детекция некоторых генов, кодирующих факторы патогенности у типичных изолятов *Escherichia coli* // Acta Biomedica Scientifica. 2014. № 5. С. 89–94. EDN: TMENDD.

5. Иванова Е.И. и др. Определение частоты встречаемости генов, кодирующих способность к формированию связывания пилей у аутоштаммов *Escherichia coli* // Клиническая лабораторная диагностика. 2015. Т. 60, № 1. С. 52–55. EDN: TJWVAX.

6. Иванова Е.И. и др. Выявление генов патогенности, кодирующих способность к токсинобразованию, у штаммов *Escherichia coli*, выделенных из кишечного биотопа детей // Acta Biomedica Scientifica. 2013. № 2. С. 111–114.

7. Ильина Н.А., Карпеева Е.А., Гусева И.Т. *E. coli* как условно-патогенные бактерии кишечника человека // Медицинские науки. 2008. № 9. С. 60–62.

8. Корсунский Е.С., Белоусова Е.А., Будзинская А.А. Постковидное поражение кишечника: клинко-эндоскопические и морфологические особенности. Результаты одноцентрового наблюдательного проспективного когортного исследования // Альманах клинической медицины. 2023. Т. 51, № 8. С. 427–440. DOI: 10.18786/2072-0505-2023-51-047. EDN: QJFQEE.

9. Кузнецова М.В., Гизатуллина Ю.С. Филогенетическое разнообразие и биологические свойства уропатогенных штаммов *Escherichia coli* // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 3. С. 24–24. EDN: ZEUSIV.

10. Лутовина О.В. и др. Состояние микробиоты кишечника и ротоглотки у эпизодически болеющих респираторными заболеваниями детей раннего возраста // Врач-аспирант. 2017. Т. 85, № 6.3. С. 398–404. EDN: ZRWBEZ.

11. Мастиленко А.В. и др. Разработка системы дифференциации *B. bronchiseptica* и *B. pertussis* на основе мультиплексной ПЦР в режиме «Реального времени» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 1. С. 50–54. EDN: SEJIYB.

12. Мурзабаева Р.Т. и др. Генетические маркеры патогенности клинических штаммов условно-патогенных энтеробактерий и особенности ассоциируемых с ними острых кишечных инфекций у взрослых // Инфекционные болезни: Новости. Мнения. Обучение. 2016. № 4 (17). С. 73–79. EDN: XHCVKV.

13. Назарова М.В., Потатуркина-Нестерова Н.И., Ильина Н.А. Возрастные особенности микробиотического состава кишечника при COVID-19 // Естественные и технические науки. 2024. № 12. С. 123–126. DOI: 10.25633/ETN.2024.12.05. EDN: GVGSQZ.

14. Новикова И.Е. и др. Антибиотикорезистентность и вирулентность карбапенем-устойчивых штаммов *Klebsiella pneumoniae*, выделенных у детей в реанимационных и хирургических отделениях // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2023. Т. 100, № 4. С. 321–332. DOI: 10.36233/0372-9311-373. EDN: RMJXSL.
15. Об утверждении отраслевого стандарта «Протокол ведения больных. Дисбактериоз кишечника». Приказ МЗ РФ № 231 от 09. 06.2003 г.
16. Попова Н.В. и др. Особенности микробиоты кишечника пациентов пожилого и старческого возраста, переболевших COVID-19 // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2024. № 3. С. 420–432. DOI: 10.24412/2312-2935-2024-3-420-432. EDN: AFSTTP.
17. Садретдинова Л.Д. и др. Поражение желудочно-кишечного тракта при COVID-19 // Профилактическая медицина. 2022. Т. 25, № 7. С. 106–115. DOI: 10.17116/profmed202225071106. EDN: FBWJUW.
18. Сигидаев А.С. и др. Оценка эффективности антипротозойной комплексной терапии бластоцистной инвазии у больных HCV-циррозом // Лечение и профилактика. 2014. № 4. С. 5–11. EDN: THZVUR.
19. Устюжанин А.В., Чистякова Г.Н., Ремизова И.И. Филогенетический анализ родства штаммов *Klebsiella pneumoniae* по генам *uge* и *fim* // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2020. № 6. С. 556–563. DOI: 10.36233/0372-9311-2020-97-6-6. EDN: EPJFHM.
20. Феоктистова Н.А. и др. Разработка системы генетической детекции фазелотоксина в геномах бактериофагов *Pseudomonas Syringae* PS. S. 7 И PS. S. 27 Серии УЛГАУ // Фундаментальные аспекты и практические вопросы современной микробиологии и биотехнологии: материалы Национальной науч.-практ. конф. Ульяновск, 2022. С. 683–690.
21. Хуснутдинова Т.А. и др. Молекулярно-генетическая характеристика уропатогенных *Escherichia coli*, выделенных при бессимптомной бактериурии у беременных // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2024. Т. 101, № 4. С. 462–469. DOI: 10.36233/0372-9311-518. EDN: HZATLT.
22. Шилов С.Н. Постковидный синдром: поражения системы пищеварения и возможности профилактики // Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. «Наука и социум». Новосибирск, 2022. № 19. С. 157–160. DOI: 10.38163/978-5-6046740-7-9_2022_157. EDN: HUSWNQ.
23. Юсупов М.И., Одилова Г.М., Шайкулов Х.Ш. Об изменении свойств кишечных палочек при поносах у детей // Экономика и социум. 2021. № 3(82). С. 611–616. EDN: BGNLWZ.
24. Elmunzer B.J. et al. North American Alliance for the Study of Digestive Manifestations of COVID-19. Digestive manifestations in patients hospitalized with coronavirus disease 2019 // Clin. Gastroenterol. Hepatol. 2021. Vol. 19(7). P. 1355–1365. DOI: 10.1016/j.cgh.2020.09.041. EDN: MOMXBA.
25. Germon P. et al. *ibeA*, a virulence factor of avian pathogenic *Escherichia coli* // Microbiology. 2005. Vol. 151(4). P. 1179–1186. DOI: 10.1099/mic.0.27809-0.
26. Gupta A. et al. Extrapulmonary manifestations of COVID-19 // Nature Medicine. 2020. Vol. 26(7). P. 1017–1032. DOI: 10.1038/s41591-020-0968-3. EDN: HTAOKQ.
27. Johnson J.R. Virulence factors in *Escherichia coli* urinary tract infection // Clin Microbiol Rev. 1991. Vol. 4, № 1. P. 80–128. DOI: 10.1128/CMR.4.1.80.
28. Kaczmarek A. et al. Virulence genes and antimicrobial susceptibility of lactose-negative and lactose-positive strains of *Escherichia coli* isolated from pregnant women and neonates // Folia Microbiol. 2017. Vol. 62. P. 363–371. DOI: 10.1007/s12223-017-0506-y. EDN: HJEWYU.
29. Megyeri K. et al. COVID-19-associated diarrhea // World J. Gastroenterol. 2021. Vol. 27(23). P. 3208–3222. DOI: 10.3748/wjg.v27.i23.3208. EDN: FVWZBZ.
30. Murase K. et al. HlyF produced by extraintestinal pathogenic *Escherichia coli* is a virulence factor that regulates outer membrane vesicle biogenesis // J. Infect. Dis. 2016. Vol. 213(5). P. 856–865. DOI: 10.1093/infdis/jiv506.
31. Papa A. et al. Gastrointestinal symptoms and digestive comorbidities in an Italian cohort of patients with COVID-19 // Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci. 2020. Vol. 24(13). P. 7506–7511.
32. Raeispour M., Ranjbar R. Antibiotic resistance, virulence factors and genotyping of uropathogenic *Escherichia coli* strains // Antimicrob. Res. Infect. Control. 2018. Vol. 7(1). P. 1–9. DOI: 10.1186/s13756-018-0411-4. EDN: EONPBJ.
33. Rizvi A. et al. Northwell health COVID-19 research consortium. Gastrointestinal sequelae 3 and 6 months after hospitalization for Coronavirus disease 2019 // Clin. Gastroenterol. Hepatol. 2021. Vol. 19(11). P. 2438–2440. DOI: 10.1016/j.cgh.2021.06.046. EDN: ORADFT.
34. Sarowska J. et al. Virulence factors, prevalence and potential transmission of extraintestinal pathogenic *Escherichia coli* isolated from different sources: recent reports // Gut. Pathogens. 2019. Vol. 11. P. 1–16. DOI: 10.1186/s13099-019-0290-0. EDN: VMTCIT.
35. Zuo T. et al. Alterations in gut microbiota of patients with COVID-19 during time of hospitalization // Gastroenterology. 2020. Vol. 159(3). P. 944–955. DOI: 10.1053/j.gastro.2020.05.048. EDN: ORLQBQ.

References

1. 43-ja Vsemirnaja assambleja zdravoochranenija [43rd World Health Assembly. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th revision, online version]. Available at: <https://mkb10.com/index.php?pid=23014> (accessed 04.07.2023). (In Russ.).

2. Zhabchenko I.A. [Uropathogenic strains of *Escherichia coli*: functioning features, virulence factors, significance in clinical practice]. *Tavričeskij mediko-biologičeskij vestnik*. No. 16. (2013): pp. 201-206. (In Russ.). EDN: TFRICX.
3. Zdvizhkova I.A., Andryushchenko S.V. [Screening of genetic determinants of the pathogenic potential of enterobacteria]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. No. 9. (2017): pp. 57-61. (In Russ.). EDN: YLQHTE.
4. Ivanova E.I., Popkova S.M., Dzhioev Yu.P., Dolgikh V.V., Rakova E.B., Bukharova E.V. [Detection of some genes encoding pathogenicity factors in typical *Escherichia coli* isolates]. *Acta Biomedica Scientifica*. No. 5 (2014): pp. 89-94. (In Russ.). EDN: TMENDD.
5. Ivanova E.I., Popkova S.M., Dzhioev Yu.P. et al. [Determination of the frequency of occurrence of genes encoding the ability to form pili binding in *Escherichia coli* autostamps]. *Kliničeskaja laboratornaja diagnostika*. V. 60, No. 1 (2015): pp. 52-55. (In Russ.). EDN: TJWVAX.
6. Ivanova E.I., Popkova S.M., Dzhioev Yu.P., Rakova E.B. [Identification of pathogenicity genes encoding the ability to toxin formation in *Escherichia coli* strains isolated from the intestinal biotope of children]. *Acta Biomedica Scientifica*. No. 2 (2013): pp. 111-114. (In Russ.).
7. Ilyina N.A., Karpeeva E.A., Guseva I.T. [*E. coli* as opportunistic bacteria of the human intestine]. *Medicinskie nauki*. No. 9 (2008): pp. 60-62. (In Russ.).
8. Korsunsky E.S., Belousova E.A., Budzinskaya A.A. [Postcovid intestinal lesion: clinical, endoscopic and morphological features. The results of a single-center observational prospective cohort study]. *Al manach kliničeskoj mediciny*. V. 51, No. 8 (2023): pp. 427-440. (In Russ.). DOI: 10.18786/2072-0505-2023-51-047. EDN: QJFQEE.
9. Kuznetsova M.V., Gizatullina Yu.S. [Phylogenetic diversity and biological properties of uropathogenic strains of *Escherichia coli*]. *Byulleten` Orenburgskogo naučnogo centra UrO RAN*. No. 3 (2019): pp. 24-24. (In Russ.). EDN: ZEUSIV.
10. Lutovina O.V., Shovkun V.A., Vasilyeva L.I., Bragina L.E. [The state of intestinal and oropharyngeal microbiota in young children who occasionally suffer from respiratory diseases]. *Vrač-aspirant*. V. 85, No. 6 (2017): pp. 398-404. (In Russ.). EDN: ZRWBEZ.
11. Mastilenko A.V., Vasiliev D.A., Borisov O.Yu., Vasilyeva Yu.B. [Development of a differentiation system for *B. bronchiseptica* and *B. pertussis* based on multiplex PCR in real time]. *Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skochozjajstvennoj akademii*. No. 1 (2014): pp. 50-54. (In Russ.). EDN: SEJIYB.
12. Murzabaeva R.T., Masyutov A.R., Dubrovskaya D.N., Valishin D.A. [Genetic markers of pathogenicity of clinical strains of opportunistic enterobacteria and features of associated acute intestinal infections in adults]. *Infekcionnye bolezni: Novosti. Mnenija. Obučenie*. No. 4(17) (2016): pp. 73-79. (In Russ.). EDN: XHCVKB.
13. Nazarova M.V., Potaturkina-Nesterova N.I., Ilyina N.A. [Age-related features of intestinal microbiological composition in COVID-19]. *Estestvennye i tehničeskije nauki*. No. 12 (2024): pp. 123-126. (In Russ.). DOI: 10.25633/ETN.2024.12.05. EDN: GVGSQZ.
14. Novikova I.E., Sadeeva Z.Z., Alyabyeva N.M. et al. [Antibiotic resistance and virulence of carbapenem-resistant strains of *Klebsiella pneumoniae* isolated from children in intensive care and surgical departments]. *Žurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. V. 100, No. 4 (2023): pp. 321-332. (In Russ.). DOI: 10.36233/0372-9311-373. EDN: RMJXSL.
15. *Ob utverždenii otraslevogo standarta «Protokol vedeniya bol'nyh. Disbakterioz kišičnika»* [On approval of the industry standard «Protocol of patient management. Intestinal dysbiosis». Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 231 dated 09.06.2003] (In Russ.).
16. Popova N.V., Zhernakova N.I., Mayevskaya E.V. et al. [Features of the intestinal microbiota of elderly and senile patients who have had COVID-19]. *Sovremennye problemy zdravoochranenija i medicinskoj statistiki*. No. 3 (2024): pp. 420-432. (In Russ.). DOI: 10.24412/2312-2935-2024-3-420-432. EDN: AFSTTP.
17. Sadretdinova L.D., Gantseva H.H., Vishnyakov D.S. et al. [Damage to the gastrointestinal tract in COVID-19]. *Profilaktičeskaja medicina*. V. 25, No. 7 (2022): pp. 106-115. (In Russ.). EDN: FBWJUW.
18. Sigidaev A.S., Kozlov S.S., Zakharenko S.M., Tarasova E.A., Suvorova M.A. [Evaluation of the effectiveness of antiprotozoal complex therapy of blastocyst invasion in HCV cirrhosis patients]. *Lečenie i profilaktika*. No. 4 (2014): pp. 5-11. (In Russ.). EDN: THZVUR.
19. Ustyuzhanin A.V., Chistyakova G.N., Remizova I.I. [Phylogenetic analysis of the relationship of *Klebsiella pneumoniae* strains by *uge* and *fim* genes]. *Žurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. No. 6. (2020): pp. 556-563. (In Russ.). DOI: 10.36233/0372-9311-2020-97-6-6. EDN: EPJFHM.
20. Feoktistova N.A., Sul'dina E.V., Mastilenko A.V., Bogdanov I.I. [Development of a phage toxin genetic detection system in the genomes of *Pseudomonas Syringae* bacteriophages PS. S. 7 and PS. S. 27 of the Ulstu Series]. *Fundamental'nye aspekty i praktičeskije voprosy sovremennoj mikrobiologii i biotekhnologii* [Fundamental Aspects and Practical Issues of Modern Microbiology and Biotechnology. Materials of the National Scientific and Practical Conference]. Ulyanovsk, 2022, pp. 683-690. (In Russ.).
21. Khusnutdinova T.A., Budilovskaya O.V., Krysanova A.A., Shalepo K.V., Sinyakova A.A., Savicheva A.M., Kogan I.Y. [Molecular genetic characteristics of uropathogenic *Escherichia coli* isolated in asymptomatic bacteriuria in pregnant women]. *Žurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. V. 101, No. 4 (2024): pp. 462-469. (In Russ.). DOI: 10.36233/0372-9311-518. EDN: HZATLT.
22. Shilov S.N. [Postcovid syndrome: lesions of the digestive system and possibilities of prevention]. *Materialy Vserossijskoj naučno-praktičeskoj konferencii «Nauka i socium»* [Materials of the All-Russian scientific

and practical conference "Science and Society"]. Novosibirsk, 2022, No. 19, pp. 157-160. (In Russ.). DOI: 10.38163/978-5-6046740-7-9_2022_157. EDN: HUSWNQ.

23. Yusupov M.I., Adilova G.M., Shaikulov H.S. [On changing the properties of *E. coli* in diarrhea in children]. *Ėkonomika i socium*. № 3(82). (2021): pp. 611-616. (In Russ.). EDN: BGNLWZ.

24. Elmunzer B.J., Spitzer R.L., Foster L.D. et al. North American Alliance for the study of digestive manifestations of COVID-19. Digestive manifestations in patients hospitalized with coronavirus disease 2019. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* V. 19(7) (2021): pp. 1355-1365. DOI: 10.1016/j.cgh.2020.09.041. EDN: MOMXBA.

25. Germon P., Chen Y.H., He L. et al. *ibeA*, a virulence factor of avian pathogenic *Escherichia coli*. *Microbiology*. V. 15(4) (2005): pp. 1179-1186. DOI: 10.1099/mic.0.27809-0.

26. Gupta A., Madhavan M.V., Sehgal K. et al. Extrapulmonary manifestations of COVID-19. *Nature Medicine*. V. 26(7) (2020.): pp. 1017-1032. DOI: 10.1038/s41591-020-0968-3. EDN: HTAOKQ.

27. Johnson J.R. Virulence factors in *Escherichia coli* urinary tract infection. *Clin. Microbiol. Rev.* V. 4(1) (1991): pp. 80-128. DOI: 10.1128/CMR.4.1.80.

28. Kaczmarek A., Skowron K., Budzyńska A. et al. Virulence genes and antimicrobial susceptibility of lactose-negative and lactose-positive strains of *Escherichia coli* isolated from pregnant women and neonates. *Folia Microbiologica*. V. 62 (2017): pp. 363-371. DOI: 10.1007/s12223-017-0506-y. EDN: HJEWYU.

29. Megyeri K., Dernovics A., Al-Luhaibi Z.II., Rosztóczy A. COVID-19-associated diarrhea. *World J. Gastroenterol.* V. 27(23) (2021): pp. 3208-3222. DOI: 10.3748/wjg.v27.i23.3208. EDN: FVWZBZ.

30. Murase K., Martin P., Porcheron G. et al. *HlyF* produced by extraintestinal pathogenic *Escherichia coli* is a virulence factor that regulates outer membrane vesicle biogenesis. *J. Infect. Dis.* V. 213(5) (2016): pp. 856-865. DOI: 10.1093/infdis/jiv506.

31. Papa A., Covino M., Pizzolante F. et al. Gastrointestinal symptoms and digestive comorbidities in an Italian cohort of patients with COVID-19. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* V. 24(13) (2020.): pp. 7506-7511.

32. Raesipour M., Ranjbar R. Antibiotic resistance, virulence factors and genotyping of Uropathogenic *Escherichia coli* strains. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*. V. 7(1) (2018): pp. 1-9. EDN: EONPBJ.

33. Rizvi A., Patel Z., Liu Y. et al. Northwell health COVID-19 research consortium. Gastrointestinal sequelae 3 and 6 months after hospitalization for coronavirus disease 2019. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* V. 19(11) (2021): pp. 2438-2440. DOI: 10.1016/j.cgh.2021.06.046. EDN: ORADFT.

34. Sarowska J., Futoma-Koloch B., Jama-Kmiecik A. et al. Virulence factors, prevalence and potential transmission of extraintestinal pathogenic *Escherichia coli* isolated from different sources: recent reports. *Gut Pathogens*. V. 11 (2019): pp. 1-16. DOI: 10.1186/s13099-019-0290-0. EDN: VMTCIT.

35. Zuo T., Zhang F., Lui G.C. et al. Alterations in gut microbiota of patients with COVID-19 during time of hospitalization. *Gastroenterology*. V. 159(3) (2020): pp. 944-955. EDN: ORLQBQ.

Статья поступила в редакцию 16.05.2025; одобрена после рецензирования 27.08.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 16.05.2025; approved after reviewing 27.08.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

М. В. Назарова – аспирант кафедры общей и клинической фармакологии с курсом микробиологии;

А. В. Мاستиленко – канд. биол. наук, доцент кафедры общей и клинической фармакологии с курсом микробиологии;

Н. И. Потатуркина-Нестерова – д-р мед. наук, профессор кафедры общей и клинической фармакологии с курсом микробиологии.

Information about the authors

M. V. Nazarova – postgraduate student of the Department of General and Clinical Pharmacology with Microbiology course;

A. V. Mastilenko – candidate of biology, associate professor of the Department of General and Clinical Pharmacology with Microbiology course;

N. I. Potaturkina-Nesterova – doctor of medicine, professor of the Department of General and Clinical Pharmacology with a course in Microbiology.

Вклад авторов:

Назарова М. В. – написание исходного текста; статистическая обработка материала.

Мастиленко А. В. – концепция исследования; развитие методологии.

Потатуркина-Нестерова Н. И. – научное руководство; доработка текста; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Nazarova M. V. – writing the draft; statistical processing of the material.

Mastilenko A. V. – research concept; methodology development.

Potaturkina-Nesterova N. I. – scientific management; followon revision of the text; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 579.22 : 579.26

EDN: LNXNKX

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-279-288



Филогенетическое разнообразие нитрилутилизующих бактерий содового шламохранилища и их некоторые физиолого-биохимические особенности

Галина Андреевна Сыровацкая^{1✉}, Александр Юрьевич Максимов^{2, 3},
Юлия Геннадьевна Максимова^{4, 5}

^{1, 2, 4} Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

^{3, 5} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

^{1✉} gsyrovackya@gmail.com

² almaks1@mail.ru

⁴ maks@iegm.ru

Аннотация. Исследовано филогенетическое разнообразие нитрилутилизующих бактерий содового шламохранилища. Галоалкалотолерантные изоляты, полученные при использовании ацетамида и ацетонитрила в качестве единственных источников углерода, идентифицированы методом секвенирования 16S рДНК. Определено, что изоляты принадлежат к филумам *Actinomycetota* (родам *Arthrobacter*, *Microbacterium*, *Rhodococcus*) и *Pseudomonadota* (родам *Acinetobacter*, *Ensifer*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*). Установлено, что изоляты обладают нитрилгидратазной и амидазной активностью и содержат гены амидаз двух типов, а также Fe-содержащей нитрилгидратазы. Не обнаружено нитрилазной активности и генов нитрилаз, Со-содержащих нитрилгидратаз и энантиоселективных амидаз. Изоляты способны формировать биопленки. Показано, что биомасса биопленок увеличивается при снижении температуры роста.

Ключевые слова: гидролиз нитрилов, нитрилутилизующие бактерии, содовое шламохранилище, биопленки, алкалофилы, галофилы, галоалкалотолерантные бактерии, нитрилгидратаза, амидаза

Для цитирования: Сыровацкая Г. А., Максимов А. Ю., Максимова Ю. Г. Филогенетическое разнообразие нитрилутилизующих бактерий содового шламохранилища и их некоторые физиолого-биохимические особенности // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 279–288. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-279-288>.

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Биоразнообразие микроорганизмов в антропогенно-загрязненных экосистемах и функционально-генетические механизмы их адаптации к стрессовым условиям внешней среды», регистрационный номер 124020500028-4.

MICROBIOLOGY

Original article

Phylogenetic diversity of nitrile-utilizing bacteria of soda sludge storage facility and some of their physiological and biochemical features

Galina A. Syrovatskaya^{1✉}, Aleksandr Yu. Maksimov^{2, 3}, Yuliya G. Maksimova^{4, 5}

^{1, 2, 4} Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch RAS, Perm, Russia

^{3, 5} Perm State University, Perm, Russia

^{1✉} gsyrovackya@gmail.com

² almaks1@mail.ru

⁴ maks@iegm.ru

Abstract. The phylogenetic diversity of nitrile-utilizing bacteria from a soda sludge storage facility was studied. Haloalkalitolerant bacteria were isolated on acetamide and acetonitrile as the only carbon sources and identified by 16S rDNA sequencing. The isolates were found to belong to the phyla *Actinomycetota* (*Arthrobacter*, *Microbacterium*, *Rhodococcus* spp.) and *Pseudomonadota* (*Acinetobacter*, *Ensifer*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* spp.). The isolates were found to have nitrile hydratase and amidase activity and contain genes for two types of

amidases and Fe-containing nitrile hydratase. No nitrilase activity or nitrilase genes, Co-containing nitrile hydratases, or enantioselective amidases were found. Isolates are capable of forming biofilms, and biofilm biomass increases with decreasing growth temperature.

Keywords: nitrile hydrolysis, nitrile-utilizing bacteria, soda sludge storage, biofilm, alkaliphiles, halophiles, haloalkalitolerant bacteria, nitrile hydratase, amidase

For citation: Syrovatskaya G. A., Maksimov A. Yu., Maksimova Yu. G. [Phylogenetic diversity of nitrile-utilizing bacteria of soda sludge storage facility and some of their physiological and biochemical features]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 279-288. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-279-288>.

Acknowledgments: the study was carried out within the framework of the state assignment on the topic “Biodiversity of microorganisms in anthropogenically polluted ecosystems and functional and genetic mechanisms of their adaptation to stressful environmental conditions”, registration number 124020500028-4.

Введение

Изучение микробного разнообразия экстремальных биотопов как естественного, так и антропогенного происхождения имеет большую перспективу для развития фундаментальной науки и биотехнологий. К щелочным и/или высокоминерализованным искусственным средам относятся щелочные сточные воды, солевые отходы, хранилища содового шлама. Содовые шламохранилища – это складированные на открытых полигонах отходы производства кальцинированной соды. Содовый шлам имеет щелочную реакцию (pH 11), содержит главным образом хлорид кальция, в нем практически отсутствуют питательные вещества, необходимые микроорганизмам, при этом он нестерилен. Методом метагеномного секвенирования было показано, что в содовом шламе обитают представители филумов *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Verrucomicrobia* и некоторых других [Шилова, Максимов, Максимова, 2020].

Способность микроорганизмов к гидролизу нитрилов активно изучается на протяжении последних нескольких десятилетий. Это связано с использованием нитрилгидролизующих микроорганизмов в биотехнологиях, в частности как биокатализаторов синтеза акриламида из акрилонитрила, никотинамида из 3-цианопиридина, и с перспективой получения различных производных амидов и карбоновых кислот в фарминдустрии и химической промышленности [Debabov, Yanenko, 2011]. При этом появление нитрилутилизующих прокариотов в биотопах естественного происхождения может не быть связано с загрязнением синтетическими нитрилами. Цианогликозиды, синтезируемые растениями, обуславливают распространение нитрилутилизующих бактерий в природе [Egelkamp, 2019].

Утилизация нитрилов микроорганизмами может происходить двумя метаболическими путями: одностадийным, при гидролизе нитрилазой (КФ 3.5.5.1) до соответствующих карбоновых кислот, и двустадийным, гидратацией нитрилов до амидов нитрилгидратазой (КФ 4.2.1.84) с последующим гидролизом до карбоновой кислоты амидазой (КФ 3.5.1.4). Биокатализатором этого процесса может быть как фермент, так и целая микробная клетка. Биокатализаторы, используемые в промышленности, в основном нейтрофильны, хотя возникает интерес к нитрилутилизующим бактериям, выделенным из экстремальных биотопов, т. к. они могут быть полезны при осуществлении целлюлозного катализа в жестких условиях: при повышенной температуре, крайних значениях pH, в присутствии органических растворителей.

Есть немногочисленные примеры выделения нитрилгидролизующих прокариотов из экстремальных сред. *Natronocella acetinitrilica* gen. nov. sp., способный к утилизации ацетонитрила как источника углерода и азота при экстремально высоком pH и среднем уровне минерализации, был выделен из осадка содового озера [Sorokin et al., 2007a]. Консорциум, состоящий из нового представителя актинобактерий и гаммапротеобактерий рода *Marinospirillum*, осуществлял утилизацию изобутиронитрила при pH 10 [Sorokin et al., 2007b]. Представитель рода *Halomonas*, выделенный из засоленных содовых почв, утилизировал 2-фенилпропионитрил в качестве источника азота при pH 10 [Chmura et al., 2008]. Облигатно алкалофильный галотолерантный штамм *Bacillus alkalinitrilicus* sp. nov., растущий в присутствии изобутиронитрила, был выделен из солончаковой почвы [Sorokin, Van Pelt, Tourova, 2008]. Алкалолентерантный штамм *R. pyridinivorans* NIT-36, продуцирующий нитрилгидратазу, был выделен из горячего источника [Singh et al., 2017]. Выделены не только прокариотические, но и эукариотические микроорганизмы, способные к трансформации нитрилов в экстремальных условиях. «Черные дрожжи» *Exophiala oligosperma* R1 растут при pH 4, используя фенилацетонитрил в качестве единственного источника углерода, азота и энергии [Rustler et al., 2008]. Солеустойчивый штамм дрожжей *Meyerozyma guilliermondii* LM2, способный конвертировать бензонитрил в среде, содержащей до 1.5 M NaCl, был выделен из подводных отложений [Serra et al., 2019]. Галофильные и галотолерантные микроорганизмы, утилизирующие нитрилы, могут функционировать как биокатализаторы в присутствии органических растворителей при низкой активности воды. Внутриклеточные ферменты алкалофилов часто проявляют наибольшую активность в нейтральном диапазоне pH, однако алкало- и галотолерантные нитрилутилизующие бактерии могут служить целлюлозным биокатализатором в условиях, отличающихся от физиологических.

Загрязненные среды антропогенного происхождения могут быть источником выделения штаммов, устойчивых как к высоким концентрациям токсикантов, так и к экстремальным воздействиям окружающей среды. Кроме этого, такие микроорганизмы обычно обладают механизмами неспецифической устойчивости, которые позволяют им приспосабливаться к воздействию самых разных неблагоприятных факторов. В связи с этим изучение филогенетического разнообразия нитрилутилизующих бактерий в таком биотопе, как содовое шламохранилище, представляется достаточно важным. Целью настоящей работы явилось выделение и идентификация нитрилутилизующих бактерий, изучение их биохимических свойств и способности к биопленкообразованию под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования и условия культивирования

Бактериальные изоляты выделяли из проб содового шлама и грунта старой карты содового шламохранилища АО «Березниковский содовый завод» (г. Березники, Пермский край) на агаризованной минеральной среде (0.05% NaCl, pH 7.2) с 10 мМ ацетамидом (ацд) или 0.25% ацетонитрилом (ацн) в качестве единственных источников углерода и азота. Грунт отбирали с поверхности, на глубине 5 и 10 см, также для выделения использовали объединенную пробу. Сочетание высокой концентрации соли, щелочной среды и ацетамида/ацетонитрила как единственных источников энергии не позволило получить изоляты на агаризованной среде.

Идентификация полученных изолятов

Видовая идентификация бактериальных изолятов была проведена путем ПЦР-анализа с праймерами к генам 16S рРНК, сконструированными на основе последовательностей, представленных в базе данных GenBank, и синтезированными ООО «Евроген» (г. Москва). Препараты хромосомной ДНК получали методом щелочного лизиса. Амплификацию ДНК проводили с применением термостабильной Taq-полимеразы производства ООО «СибЭнзим» (г. Новосибирск) на термоциклере ТЗ («Biometra», Германия). Электрофоретическое разделение продуктов ПЦР-реакции проводили в 1.2–1.5% агарозном геле в трисборатном буфере при напряженности поля 5 В/см. Для оценки молекулярной массы фрагментов ДНК использовали молекулярные маркеры 1 kb и 100 b (ООО «СибЭнзим» и Axigen®). Визуализацию полос и документирование данных осуществляли после окрашивания геля бромистым этидием с использованием системы гельдокументации BioDocAnalyze («Biometra», Германия). Очистку ПЦР-продукта перед секвенированием осуществляли двумя способами: с помощью смеси ферментов ExoSAPMix (Fermentas Life Sciences) и аппарата E-Gel («Invitrogen», США) согласно инструкции фирмы-производителя. Секвенирование проводили на приборе Genetic Analyzer 3500xl («Applied Biosystems», США), следуя инструкциям фирмы-производителя. Гомологию полученных нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК с известными генами микроорганизмов анализировали с использованием программного пакета BLAST (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sutils/genom_table.cgi); программы Chromas lite 2.1. Сравнение нуклеотидных последовательностей проводили с применением программ ClustalW 2.0.9 и YACWGUI 1.2.

Определение нитрилгидратазной и амидазной активности изолятов

Нитрилгидратазную активность определяли по образованию акриламида и акриловой кислоты из акрилонитрила. Изоляты выращивали до стационарной фазы, культуральную жидкость (1 мл) центрифугировали 10 мин при 4500 g, клетки отмывали калий-фосфатным буфером (pH 7.2) и центрифугировали повторно. Клеточный преципитат суспендировали в 1 мл фосфатного буфера и вносили акрилонитрил до конечной концентрации 0.3 М, через 24 ч реакцию останавливали добавлением 50 мкл HCl. Амидазную активность определяли по образованию акриловой кислоты из акриламида. Реакцию проводили 24 ч, субстрат добавляли в концентрации 50 мМ. Концентрацию акриламида и акриловой кислоты в реакционной среде определяли методом ВЭЖХ на хроматографе Infinity II JC 1260 (Agilent, Германия) с колонкой Synergi 4u Hydro-RP 80A (250 × 4.6 мм). В качестве подвижной фазы использовали 25 мМ NaH₂PO₄ с 5% ацетонитрила, скорость потока составляла 0.500 мл/мин при 25°C, детекцию проводили при длине волны 200 нм.

Детекция генов амидаз, нитрилгидратаз и нитрилаз

Амплификацию ДНК проводили с применением термостабильной Taq-SE ДНК-полимеразы (ООО «СибЭнзим», г. Новосибирск) на термоциклере T100 («Biometra», Германия). Для анализа генов использованы разработанные ранее олигонуклеотидные праймеры [Демаков и др., 2009а; Демаков и др., 2009б; Павлова, Неустроева, Максимов, 2011]. Режим амплификации включал начальный цикл денатурации –

1 мин при 94°C; денатурацию, 94°C – 20 с; отжиг, 53° – 30 с; элонгацию, 72°C – 60 с; (35 циклов) и завершающий этап – 60 с при 72°C. Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов проводили в 1.2% агарозном геле в трис-боратном буфере при напряженности электрического поля 6 В/см. Праймеры для выявления генов ферментов, участвующих в трансформации нитрилов и амидов, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Праймеры для выявления генов амидаз, нитрилгидратаз, нитрилаз
[Primers for detecting the genes of amidases, nitrile hydratases, and nitrilases]

Выявляемые гены	Праймер	Последовательность, 5'-3'	Длина ПЦР-продукта
Амидаза <i>R. erythropolis</i> (E12517) и <i>R. rhodochrous</i> N-774 (X54074)	ARh499f ARh1002r	GAAGCAGGTGGATCATCCGG TCCGTGGCGATCACGTTCCA	503
Амидаза <i>R. erythropolis</i> (M88714)	AReR-1 AReR-2	ATGCGACACGGTGACATCTCCTCGA TTACGCTTCGACGGTCTTCTCGAC	1094
Амидаза <i>R. rhodochrous</i> J1 (D16207)	AmiJ1-1 AmiJ1-2	ATGTCTTCGTTGACTCCCCCAATT TTATGTCAGGGTGCCGGCTGCAGC	1547
Амидаза <i>Rhodococcus</i> sp. (A19131)	ARsp-1 ARsp-2	ATGGGCTTGCATGAACTGACGCTCG TCAAAGCGGCGCCAGTTCGCGGCCA	1388
α-субъединица Со-нитрилгидратазы <i>R. rhodochrous</i> J1 (D67027)	NHCoAF NHCoAR	GTGATACATATGAGCGAGCACGTCAAT ATGCATCATACGATCACTTCCTG	611
β- субъединица Со-нитрилгидратазы <i>R. rhodochrous</i> J1 (D67027)	NHCoBF NHCoBR	GTGATACATATGGATGGTATCCACGAC ATGCATCACGCAGAGATCAGGTA	689
α- субъединица Fe-нитрилгидратазы <i>R. rhodochrous</i> N-774, (X54074)	NHFeAF NHFeAR	CATATGTCAGTAACGATCGAC ATGCATCAGACGGTGGAACCTG	623
β- субъединица Fe-нитрилгидратазы <i>R. rhodochrous</i> N-774 (X54074)	NHFeBF NHFeBR	CATATGGATGGAGTACACGAT ATGCATCAGGCCGCGAGGCTCGAG	638
Нитрилаза <i>R. rhodochrous</i> K22 (D12583)	NitK22F NitK22R	ATGTCCAGCAATCCAGAGCTCAAGTACAC CTAGGCCTCCGCCTTGCCCC	1151
Нитрилаза <i>R. rhodochrous</i> J1 (D67026)	NitJ1F NitJ1R	ATGGTTCGAATACACAAACACATTCAAAG TCAGATGGAGGCTGTCGCCC	1100

Определение массивности биопленок

Биопленки выделенных изолятов выращивали в 96-луночном полистироловом планшете (Медполимер, Россия) в БТН-бульоне (Биотехновация, Россия), варьируя условия культивирования. Для изучения влияния минерализации в среду добавляли 5, 10, 50 г/л NaCl, pH среды доводили с помощью гидроксида натрия (NaOH), культивирование проводили при температуре 8, 15, 30 и 37°C. Биопленки в среде с различной концентрацией соли и pH выращивали при температуре 30°C. Влияние температуры на образование биопленок изучали на среде БТН с pH 7. После 7–10 суток инкубации планктонные клетки удаляли из лунок декантацией, дважды отмывали биопленку 200 мкл калий-фосфатным буфером и определяли массивность образованной биопленки. Биопленку окрашивали 0.1% кристаллическим фиолетовым в течение 40 мин в темноте, удаляли краситель, отмывали 1 раз калий-фосфатным буфером и экстрагировали краситель 200 мкл 96% спирта. Формирование биопленок оценивали по оптической плотности раствора красителя при λ 540 нм на планшетном ридере Infinite M1000 pro, «TECAN» (Швейцария).

Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента, различия считали значимыми при p < 0.05.

Результаты и их обсуждение

Из содового шлама и восстанавливающихся после эксплуатации грунтов территории содового шламохранилища АО «Березниковский содовый завод» на минеральной среде с ацетамидом и ацетонитрилом в качестве единственного источника углерода и энергии были выделены изоляты нитрил- и амидутилизующих бактерий, которые идентифицировали методом секвенирования гена 16S рДНК. Результаты идентификации представлены в табл. 2.

Таблица 2

Идентификация нитрилгидролизующих бактерий, выделенных на территории содового шламохранилища АО «Березниковский содовый завод»

[Identification of nitrile hydrolyzing bacteria isolated on the territory of the soda sludge storage facility of JSC Bereznikovsky Soda Plant]

Изолят	Источник выделения	Вид	Типовой штамм	Сходство, %	Количество прочт. нукл-ов	Таксономия
Источник углерода – ацетонитрил						
ССО31 (ацн)	Грунт, старая карта	<i>Rhizobium radiobacter</i>	ATCC 19358(T)	100.00	809	<i>Bacteria, Pseudomonadota,</i>
ССОП 1 (ацн)	Поверхность грунта, старая карта	<i>Rhizobium nepotum</i>	39/7(T)	99.75	807	<i>Alphaproteobacteria, Rhizobiales, Rhizobiaceae, Rhizobium</i>
ССОП (ацн)	Поверхность грунта, старая карта	<i>Pseudomonas mandelii</i>	NBRC 103147(T)	99.87	782	<i>Bacteria, Pseudomonadota, Gammaproteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonadaceae, Pseudomonas</i>
ССО3 1.1(ацн)	Грунт, старая карта	<i>Microbacterim hatanonis</i>	JCM 14558(T)	98.42	699	<i>Bacteria, Actinomycetota, Actinomycetes, Micrococcales, Microbacteriaceae, Microbacterium</i>
ОШ2 / 5Э	Шлам, новая карта	<i>Rhodococcus qingshengii</i>	JCM 15477(T)	99.42	537	<i>Bacteria, Actinomycetota,</i>
ССО3 ₅ 2 / 6Э	Грунт, 5 см глубины, старая карта	<i>Rhodococcus erythropolis</i>	NBRC 15567(T)	99.84	651	<i>Actinomycetes, Corynebacteriales, Nocardiaceae, Rhodococcus</i>
Источник углерода – ацетамид						
ССО31 (ацд)	Грунт, старая карта	<i>Ensifer morelensis</i>	Lc04(T)	98.99	701	<i>Bacteria, Pseudomonadota,</i>
ССО3 1.3 (ацд)	Грунт, старая карта	<i>Ensifer morelensis</i>	Lc04(T)	99.87	781	<i>Alphaproteobacteria, Hyphomicrobiales,</i>
ССО3 ₁₀ 4 (ацд)	Грунт, старая карта, 10 см глубины	<i>Ensifer morelensis</i>	Lc04(T)	100.00	847	<i>Rhizobiaceae, Ensifer</i>
ССО3 1.2 (ацд)	Грунт, старая карта	<i>Pseudomonas sp.</i>	DSM 18928(T)	99.53	853	<i>Bacteria, Pseudomonadota,</i>
ССО3 3(ацд)	Грунт, старая карта	<i>Pseudomonas mandelii</i>	NBRC 103147(T)	98.00	751	<i>Gammaproteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonadaceae, Pseudomonas</i>
ССО3 1.4 (ацд)	Грунт, старая карта	<i>Rhodococcus sp.</i>	JCM 15477(T)	100	666	<i>Bacteria, Actinomycetota, Actinomycetes,</i>
ССО3 ₁₀ 3	Грунт, старая карта, 10 см глубины	<i>Rhodococcus erythropolis</i>	NBRC 15567 (T)	99.85	701	<i>Corynebacteriales, Nocardiaceae, Rhodococcus</i>

Изолят	Источник выделения	Вид	Типовой штамм	Сходство, %	Количество прочт. нукл-ов	Таксономия
ССОЗ ₁₀ 1 (ацд)	Грунт, старая карта, 10 см глубины	<i>Arthrobacter globiformis</i>	NBRC 12137(T)	100.00	771	<i>Bacteria, Actinomycetota, Actinomycetes, Micrococcales, Micrococcaceae, Arthrobacter</i>
ССОП 1 (ацд)	Грунт, старая карта, поверхность	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	DSM 30006(T)	99.87	876	<i>Bacteria, Pseudomonadota, Gammaproteobacteria, Pseudomonadales, Moraxellaceae, Acinetobacter</i>
ССОП 1.2 (ацд)	Грунт, старая карта, поверхность	<i>Rhizobium nepotum</i>	39/7(T)	99.77	876	<i>Bacteria, Pseudomonadota, Alphaproteobacteria, Rhizobiales, Rhizobiaceae, Rhizobium</i>

Нитрилутилизирующие бактерии были выделены главным образом из грунта старой карты шламохранилища, который характеризовался высокой минерализацией и был слабощелочным (pH 8) [Шилова, Максимов, Максимова, 2020]. Ранее из различных сред содового шламохранилища (содового шлама, грунта восстанавливаемых территорий) были выделены бактериальные штаммы, обладающие различной гидролитической активностью [Шилова, Максимов, Максимова, 2021] и устойчивостью к широкому спектру pH и высокой минерализации [Maksimova, Eliseeva, Maksimov, 2024]. На грунте старой карты шламохранилища наблюдалось восстановление растительности. Содовый шлам состоял из ионов кальция, хлора, карбонатов и гидрокарбонатов и имел pH 11, что приводило к значительному снижению микробного разнообразия по сравнению с грунтом старой карты. Из содового шлама на ацетонитриле был изолирован только один штамм галоалкалолотерантных родококков. Выделенные изоляты принадлежали филумам *Actinomycetota* и *Pseudomonadota*.

Определена активность выделенных изолятов. Показано, что изоляты обладают как амидазной активностью, которая проявляется при гидролизе акриламида, так и нитрилгидратазной активностью, выявляющейся при трансформации акрилонитрила. Когда субстратом реакции является акрилонитрил, в реакционной смеси обнаруживается как акриламид, так и акриловая кислота, что подтверждает работу нитрилгидратазно-амидазной ферментативной системы. При гидролизе акриламида в реакционной среде детектировали акриловую кислоту. Ферментативные активности изолятов представлены в табл. 3. Нитрилгидратазная активность обычно значительно превышает амидазную, особенно у селекционированных продуцентов, однако у большинства изолятов, выделенных с территории содового шламохранилища, амидазная активность была выше нитрилгидратазной.

Известно, что у родококков встречается несколько структурно-различных групп амидаз. Из щелочного высокоминерализованного биотопа были выделены бактериальные изоляты различной филогенетической принадлежности, в том числе изоляты родококков. Методом ПЦР определено наличие в геномах исследованных алкалолотерантных изолятов генов, соответствующих генам амидаз следующих типов: амидаза *R. erythropolis* (E12517) и *R. rhodochrous* N-774 (X54074), алифатическая амидаза *R. erythropolis* (M88614, Genbank), энантиоселективная амидаза *R. erythropolis* (AY026386, Genbank). Установлено, что в ДНК всех исследованных экстремотолерантных изолятов есть гены амидаз 1-го и 2-го типов (рис. 1), но не обнаруживается энантиоселективная амидаза. У всех штаммов обнаружены гены Fe-содержащей нитрилгидратазы (рис. 2) и отсутствует Co-содержащая. Гены нитрилиз не обнаружены.

Образование биопленок является адаптивной реакцией бактерий. Ранее нами было показано, что *Rhodococcus qingshengii* IEGM 1416 (изолят ОШ2 / 5Э) и *R. erythropolis* IEGM 1417 (изолят ССОЗ₅2 / 6Э) формировали более массивные биопленки при увеличении pH и снижении температуры, а *R. qingshengii* IEGM 1416 – еще и при повышении концентрации соли в среде [Maksimova, Syrovatskaya, Maksimov, 2025]. Изучено биопленкообразование выделенных на ацетамиде и ацетонитриле изолятов нитрилутилизирующих бактерий. Изоляты формировали биопленки, биомасса которых, оцененная по ОП₅₄₀ экстрагированного красителя кристаллического фиолетового, составляла от 0.2 до 0.4 единиц. Наибольшую биомассу (ОП₅₄₀ = 0.4–0.5) отмечали у биопленок *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas mandelii* и

Rhizobium nepotum. Оценили воздействие 5–50 г/л хлорида натрия, 7–12 рН и 8–37°C на формирование биопленок у изолятов, проявивших наибольшую способность к биопленкообразованию (рис. 3).

Таблица 3

Нитрилгидратазные и амидазные активности бактериальных изолятов, выделенных на территории содового шламохранилища АО «Березниковский содовый завод»
[Nitrile hydratase and amidase activities of bacterial isolates isolated on the territory of the soda sludge storage facility of JSC Bereznikovsky Soda Plant]

Изолят	Субстрат реакции (фермент)	Акрилонитрил (нитрилгидратаза)	Акриламид (амидаза)
		Активность фермента, ммоль/г·ч	
ССОП (ацн)		1.63	2.84
ССОП 2 (ацд)		3.31	33.38
ССОЗ ₁₀ 2 (ацд)		27.19	14.21
ССОЗ ₁₀ 4 (ацд)		15.23	42.99
ССОЗ ₁₀ 3 (ацд)		26.79	10.73
ССОЗ ₅ 1 (ацн)		6.50	28.19
ССОЗ 2 (ацн)		26.14	38.03
ССОЗ 2 (ацд)		23.67	37.61
ССОЗ ₁₀ (ацн)		1.89	16.18
ССОЗ 4 (ацд)		19.09	49.05
ССОЗ ₁₀ 1 (ацд)		0.97	0.87
ССОП 1 (ацд)		0.42	3.39
ССОЗ 3 (ацд)		19.76	33.23
ССОЗ 1 (ацн)		7.77	14.49
ССОЗ 3 (ацн)		1.60	17.41
ССОЗ 1 (ацд)		33.24	22.80

Примечание: независимые эксперименты по культивированию изолятов и определению ферментативной активности их клеток проведены в двухкратной повторности. В таблице приведены результаты единичного эксперимента.

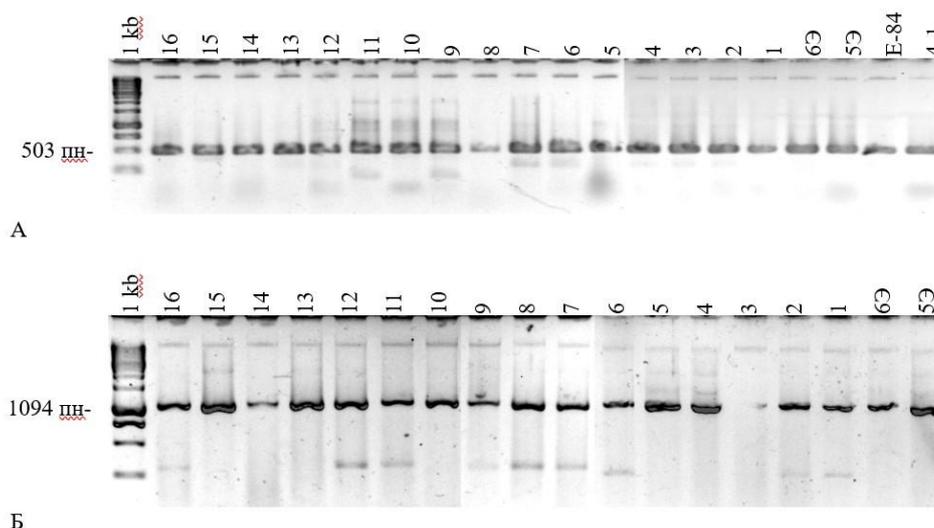


Рис. 1. ПЦР-продукты, соответствующие генам амидаз, гомологичных таковым из *R. erythropolis*, E12517, *R. rhodochrous* N-774, X54074 (А) и *R. erythropolis*, M88714 (Б).

Изоляты: 1 – ССОП (ацн), 2 – ССОП2 (ацд), 3 – ССОЗ₁₀2 (ацд), 4 – ССОЗ₁₀4 (ацд), 5 – ССОЗ₁₀3 (ацд) 6 – ССОЗ₅1 (ацн), 7 – ССОЗ2 (ацн), 8 – ССОЗ2 (ацд), 9 – ССОЗ₁₀ (ацн), 10 – ССОЗ4 (ацд), 11 – ССОЗ₁₀1 (ацд), 12 – ССОП1 (ацд), 13 – ССОЗ3 (ацд), 14 – ССОЗ1 (ацн), 15 – ССОЗ3 (ацн), 16 – ССОЗ1 (ацд), *R. qingshengii* IEGM 1416 (5Э), *R. erythropolis* IEGM 1417 (6Э), *R. erythropolis* E-84, *R. erythropolis* 4-1

[PCR products corresponding to the genes of amidases homologous to those from *R. erythropolis*, E12517, *R. rhodochrous* N-774, X54074 (A) and *R. erythropolis*, m88714 (B).

Isolates: 1 – SSOP (acn), 2 – SSOP2 (acd), 3 – SSOZ₁₀2 (acd), 4 – SSOZ₁₀4 (acd), 5 – SSOZ₁₀3 (acd), 6 – SSOZ₅1 (adc), 7 – SSOZ2 (adc), 8 – SSOZ2 (acd), 9 – SSOZ₁₀ (adc), 10 – SSOZ4 (acd), 11 – SSOZ₁₀1 (adc), 12 – ssop1 (ADC), 13 – ccos3 (ADC), 14 – ccos1 (ADC), 15 – ccos3 (ADC), 16 – ccos1 (ADC), *R. qingshengii* IEGM 1416 (5E), *R. erythropolis* IEGM 1417 (6E), *R. erythropolis* E-84, *R. erythropolis* 4-1]

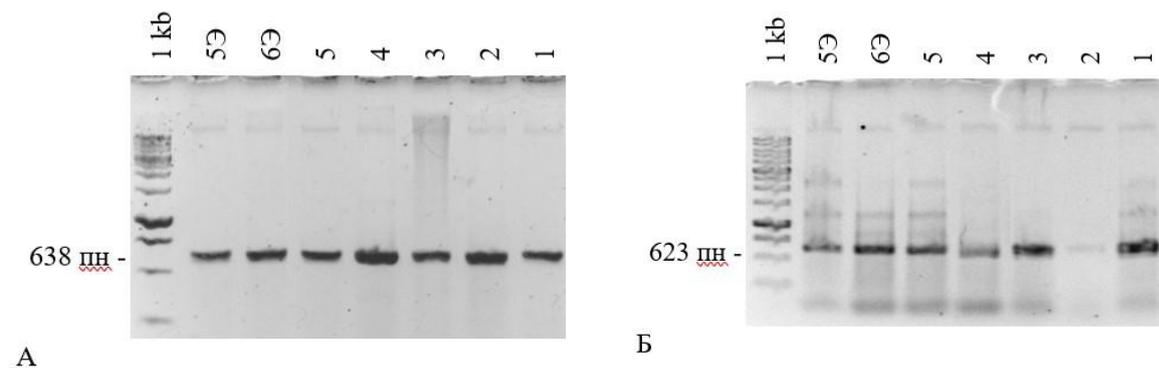


Рис. 2. ПЦР-продукты, соответствующие генам альфа (А) и бета (Б) субъединиц Fe-содержащей нитрилгидратазы, гомологичных таковым из *R. rhodochrous* N-774, X54074.

Обозначение изолятов как на рис. 1

[PCR products corresponding to the alpha (A) and beta (B) subunit genes of Fe-containing nitrile hydratase, homologous to those of *R. rhodochrous* N-774, X54074.

Designation of isolates as shown in Fig. 1]

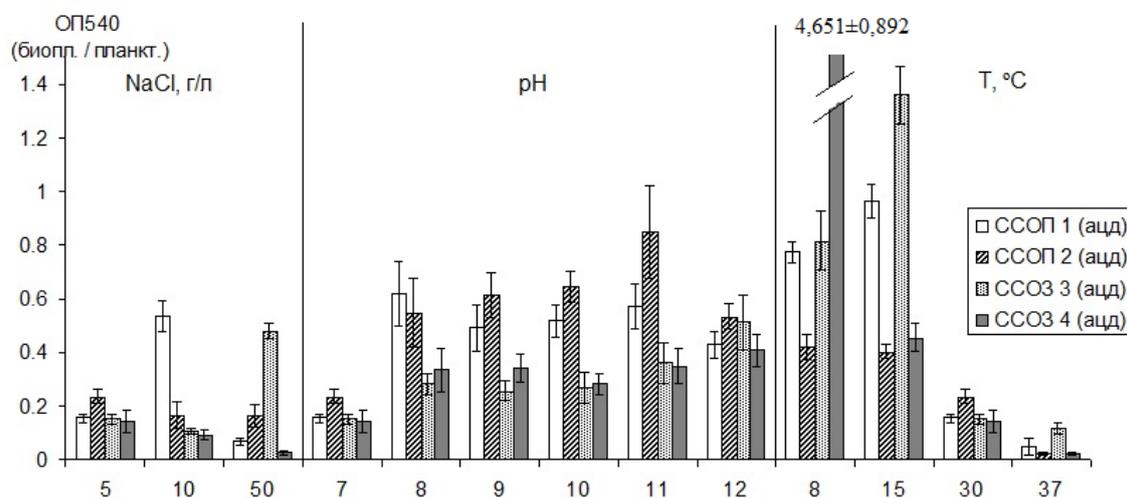


Рис. 3. Влияние концентрации NaCl, pH и температуры на биопленкообразование изолятов нитрилутилизующих бактерий содового шламохранилища

[Influence of NaCl concentration, pH, and temperature on biofilm formation of isolates of nitrilolyzing bacteria from soda sludge storage]

Высокие концентрации соли подавляли рост изолятов, только у *A. calcoaceticus* ССОП 1 и *P. mandelii* значительно увеличивалась биомасса биопленки в среде с 10 и 50 г/л NaCl соответственно. Влияние pH было более выражено для *R. nepotum*, биомасса биопленок увеличивалась при возрастании pH от 7 до 11, но снижалась при pH 12. У всех изолятов образование биопленок было достоверно выше в щелочной среде ($p < 0.05$), чем при pH 7. Температурное воздействие на биопленкообразование было сходным у всех изученных изолятов: при температуре 37°C формирование биопленок подавлялось, тогда как планктонная культура росла достаточно активно ($ОП_{540} = 0.7-0.8$). Снижение температуры до 8–15°C интенсифицировало процесс образования биопленок.

Заключение

Таким образом, с поверхности, глубины 5–10 см и из объединенной пробы грунта старой карты содового шламохранилища на ацетамиде и ацетонитриле как единственном источнике углерода были выделены изоляты нитрилутилизующих бактерий, относящиеся к филумам *Actinomycetota* и *Pseudomonadota*. Единственный штамм родококков, способный к утилизации нитрилов, был выделен из содового шлама с экстремально высокими pH и минерализацией. Изоляты обладали активностью нитрилгидратазы и амидазы, причем амидазная активность была выше нитрилгидратазной. Обнаружены гены неэнантиселективных амидаз двух типов и Fe-содержащей нитрилгидратазы. Выделенные изоляты

формировали биопленки, биомасса которых увеличивалась при снижении температуры роста. Воздействие других изученных факторов (концентрации NaCl и pH) на образование биопленок было штаммоспецифично.

Список источников

1. Демаков В.А. и др. ПЦР-анализ генов ферментов гидролиза нитрилов карбоновых кислот // Вестник Пермского университета. 2009а. № 10 (36). С. 73–78. EDN: PAVDQJ.
2. Демаков В.А. и др. Почвенные актинобактерии рода *Rhodococcus*, обладающие высокой амидазной активностью // Вестник Пермского университета. 2009б. № 10 (36). С. 79–83. EDN: PAVDQT.
3. Павлова Ю.А., Неустроева А.Н., Максимов А.Ю. Сравнительный анализ последовательностей генов амидаз почвенных актинобактерий рода *Rhodococcus* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5-3. С. 272–276. EDN: PFLHQP.
4. Шилова А.В., Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г. Выделение и идентификация алкалотолерантных бактерий с гидролитической активностью из содового шламохранилища // Микробиология. 2021. Т. 90, № 2. С. 155–165. DOI: 10.31857/s0026365621020130. EDN: KLWPKV.
5. Шилова А.В., Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г. Изменения микробиома как индикатор восстановления природных сред содового шламохранилища АО «Березниковский содовый завод» // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 1 (81). С. 84–94. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.1.84-94. EDN: MXZOXG.
6. Chmura A. et al. Utilization of arylaliphatic nitriles by haloalkaliphilic *Halomonas nitrilicus* sp. nov. isolated from soda soils // Applied Microbial and Cell Physiology. 2008. Vol. 81. P. 371–378. DOI: 10.1007/s00253-008-1685-x. EDN: LKZBGV.
7. Debabov V.G., Yanenko A.S. Biocatalytic hydrolysis of nitriles // Review Journal of Chemistry. 2011. Vol. 1, № 4. P. 376–394. DOI: 10.1134/S2079978011030010. EDN: OFRMQP.
8. Egelkamp R. et al. Impact of nitriles on bacterial communities // Frontiers in Environmental Science. 2019. Vol. 7. Art. 103. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00103.
9. Maksimova Yu., Eliseeva A., Maksimov A. Metabolic and morphological aspects of adaptation of alkaliphilic *Bacillus aequororis* 5-DB and alkali-tolerant *Bacillus subtilis* ATCC 6633 to changes in pH and mineralization // International Journal of Microbiology. 2024. Vol. 2024, № 1. Art. 3087296. DOI: 10.1155/2024/3087296.
10. Maksimova Yu.G., Syrovatskaya G.A., Maksimov A.Yu. Nitrile-hydrolyzing haloalkalitolerant rhodococci of soda sludge storage // Indian Journal of Microbiology. 2025. DOI: 10.1007/s12088-024-01445-w. EDN: PPKSHZ.
11. Rustler S. et al. Characterisation of the substrate specificity of the nitrile hydrolyzing system of the acidotolerant black yeast *Exophiala oligosperma* R1 // Studies in Mycology. 2008. Vol. 61, № 1. P. 165–174. DOI: 10.3114/sim.2008.61.17.
12. Serra I. et al. Marine microorganisms for biocatalysis: selective hydrolysis of nitriles with a salt-resistant strain of *Meyerozyma guilliermondii* // Marine Biotechnology. 2019. Vol. 21. P. 229–239. DOI: 10.1007/s10126-019-09875-0.
13. Singh P. et al. Enhanced production of Nhase of alkali stable *Rhodococcus pyridinivorans* Nit 36 and its application in acrylamide production // IJBPAS. 2017. Vol. 6, № 2. P. 278–299.
14. Sorokin D.Y. et al. Acetonitrile degradation under haloalkaline conditions by *Natronocella acetinitrilica* gen. nov., sp. nov. // Microbiology. 2007a. Vol. 153. P. 1157–1164. DOI: 10.1099/mic.0.2006/004150-0. EDN: MKICDJ.
15. Sorokin D.Y. et al. Microbial isobutyronitrile utilization under haloalkaline conditions // Applied and Environmental Microbiology. 2007b. Vol. 73, № 17. P. 5574–5579. DOI: 10.1128/AEM.00342-07. EDN: KGVDZB.
16. Sorokin D.Y., Van Pelt S., Tourova T.P. Utilization of aliphatic nitriles under haloalkaline conditions by *Bacillus alkalinitrilicus* sp. nov. isolated from soda solonchak soil // FEMS Microbiology Letters. 2008. Vol. 288, № 2. P. 235–240. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2008.01353.x. EDN: LLIXUV.

References

1. Demakov V.A. et al. [PCR assay of enzymatic genes involved in hydrolysis of carboxylic acid nitriles]. *Vestnik Permskogo universiteta*. No. 10(36) (2009a): pp. 73-78. (In Russ.). EDN: PAVDQJ.
2. Demakov V.A. et al. [Soil actinobacteria of genus *Rhodococcus* having high amidase activity]. *Vestnik Permskogo universiteta*. No. 10(36) (2009b): pp. 79-83. (In Russ.). EDN: PAVDQT.
3. Pavlova Yu. A. et al. [Comparative analysis of gene sequences of amidases of soil actinobacteria *Rhodococcus*]. *Izvestija Samarskogo naučnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. V. 13, No. 5(3) (2011): pp. 272-276. (In Russ.). EDN: PFLHQP.

4. Shilova A.V. et al. [Isolation and Identification of Alkalitolerant Bacteria with Hydrolytic Activity from a Soda Sludge Storage]. *Microbiology*. V. 90 (2021): pp. 166-175. (In Russ.).DOI: 10.1134/S0026261721020120. EDN: KLWPKV.

5. Shilova A.V. et al. [Microbiome changes as an indicator of the recovery of natural environments at the soda sludge storage facility of Berezniki soda plant]. *Voda i ekologija: problemy i reshenija*. No. 1(81) (2020): pp. 84-94. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.1.84-94. (In Russ.). EDN: MXZOXG.

6. Chmura A. et al. Utilization of arylaliphatic nitriles by haloalkaliphilic *Halomonas nitrilicus* sp. nov. isolated from soda soils. *Applied Microbial and Cell Physiology*. V. 81, No. 2 (2008): pp. 371-378. DOI: 10.1007/s00253-008-1685-x.

7. Debabov V.G., Yanenko A.S. Biocatalytic hydrolysis of nitriles. *Review Journal of Chemistry*. V. 1, No. 4 (2011): pp. 376–394. DOI: 10.1134/S2079978011030010. EDN: OFRMQP.

8. Egelkamp R. et al. Impact of nitriles on bacterial communities. *Frontiers in Environmental Science*. V. 7 (2019): Art. 103. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00103.

9. Maksimova Yu., Eliseeva A., Maksimov A. Metabolic and morphological aspects of adaptation of alkaliphilic *Bacillus aequororis* 5-DB and alkali-tolerant *Bacillus subtilis* ATCC 6633 to changes in pH and mineralization. *International Journal of Microbiology*. V. 2024, No. 1 (2024): Art. 3087296. DOI: 10.1155/2024/3087296.

10. Maksimova Yu.G. et al. Nitrile-hydrolyzing haloalkalitolerant rhodococci of soda sludge storage. *Indian Journal of Microbiology*. (2025). DOI: 10.1007/s12088-024-01445-w. EDN: PPKSHZ.

11. Rustler S. et al. Characterisation of the substrate specificity of the nitrile hydrolyzing system of the acidotolerant black yeast *Exophiala oligosperma* R1. *Studies in Mycology*. V. 61, No. 1 (2008): pp. 165-174. DOI: 10.3114/sim.2008.61.17.

12. Serra I. et al. Marine microorganisms for biocatalysis: selective hydrolysis of nitriles with a salt-resistant strain of *Meyerozyma guilliermondii*. *Marine Biotechnology*. V. 21 (2019): pp. 229-239. DOI: 10.1007/s10126-019-09875-0.

13. Singh P. et al. Enhanced production of Nhase of alkali stable *Rhodococcus pyridinivorans* Nit 36 and its application in acrylamide production. *IJBPAS*. V. 6, No. 2 (2017): pp. 278-299.

14. Sorokin D.Y. et al. Acetonitrile degradation under haloalkaline conditions by *Natronocella acetinitrilica* gen. nov., sp. nov. *Microbiology*. V. 153 (2007a): pp. 1157-1164. DOI: 10.1099/mic.0.2006/004150-0. EDN: MKICDJ.

15. Sorokin D.Y. et al. Microbial isobutyronitrile utilization under haloalkaline conditions. *Applied and Environmental Microbiology*. V. 73, No. 17 (2007b): pp. 5574-5579. DOI: 10.1128/AEM.00342-07. EDN: KGVDZB.

16. Sorokin D.Y., Van Pelt S., Tourova T.P. Utilization of aliphatic nitriles under haloalkaline conditions by *Bacillus alkalinitrilicus* sp. nov. isolated from soda solonchak soil. *FEMS Microbiology Letters*. V. 288, No. 2 (2008): pp. 235-240. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2008.01353.x. EDN: LLIXUV.

Статья поступила в редакцию 25.08.2025; одобрена после рецензирования 28.08.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 25.08.2025; approved after reviewing 28.08.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

Г. А. Сыровацкая – аспирант;

А. Ю. Максимов – канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотр.;

Ю. Г. Максимова – д-р биол. наук, доцент, зав. лабораторией.

Information about the authors

G. A. Syrovatskaya – postgraduate student;

A. Yu. Maksimov – Ph.D. in Biology, Associate Professor, Senior Research Fellow;

Yu. G. Maksimova – doctor of biology, Associate Professor, head of the laboratory.

Вклад авторов:

Сыровацкая Г. А. – экспериментальная работа; написание текста.

Максимов А. Ю. – концепция исследования; частично экспериментальная работа.

Максимова Ю. Г. – научное руководство; концепция исследования; редактирование текста.

Contribution of the authors:

Syrovatskaya G. A. – experimental work; writing the text.

Maksimov A. Yu. – research concept; partially experimental work.

Maksimova Yu. G. – scientific supervision; research concept; text editing.

ГЕНЕТИКА

Научная статья

УДК 575.162

EDN: MASBCX

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-289-297



Анализ геномных ассоциаций с длиной плюсны у кур пород царскосельская, узбекская бойцовая и корниш

**Анастасия Ивановна Азовцева^{1✉}, Анна Евгеньевна Рябова²,
Наталья Викторовна Дементьева³**

¹⁻³ ВНИИ генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФИЦЖ – ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

^{1✉} ase4ica15@mail.ru

² aniuta.riabova2016@yandex.ru

³ dementevan@mail.ru

Аннотация. Особенное влияние на хозяйственно-полезные признаки у кур имеют морфологические характеристики скелета. Фенотипические данные позволяют косвенно судить о генетическом потенциале особи. Длина плюсны является одним из основных показателей развития костей, что обусловлено корреляцией этого параметра с живой массой. Целью настоящего исследования было установить кандидатные регионы, ответственные за показатель длины плюсны. Исследования были проведены на породах царскосельская, узбекская бойцовая и корниш. На основании данных полногеномного генотипирования и результатов GWAS-анализа выявлен один кандидатный регион на хромосоме 9, ассоциированный с длиной плюсны. Он содержал 50 SNP, локализованных в генах *EIF4A2*, *RFC4*, *MCF2L2*, *LAMP3*, *MCCC1* и *DCUNID1*, максимально различающих породы между собой. Часть генов участвует в процессах формирования скелетных мышц и их гомеостаза, другая – в процессах костного гомеостаза и аутофагии, а также развития и течения остеосаркомы. Наибольшие различия в аллельных частотах между породами корниш и узбекская бойцовая наблюдаются в SNP генов *MCCC1*, *LAMP3* и *MCF2L2*. Интересно, что для SNP этих же генов отмечены максимальные сходства аллельных частот в породах царскосельская и узбекская бойцовая. Проведенное исследование расширяет имеющиеся знания о механизмах роста и развития костных структур у кур.

Ключевые слова: SNP, геномный регион, плюсна, промеры, птицеводство

Для цитирования: Азовцева А. И., Рябова А. Е., Дементьева Н. В. Анализ геномных ассоциаций с длиной плюсны у кур пород царскосельская, узбекская бойцовая и корниш // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 289–297. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-289-297>.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по теме № 124020200114-7.

GENETICS

Original article

Analysis of genome-wide associations with tarsus length in Tsarskoye selo, Uzbek Game and Cornish chicken breeds

Anastasiia I. Azovtseva^{1✉}, Anna E. Ryabova², Natalia V. Dementieva³

¹⁻³ Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding—Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Pushkin, St. Petersburg, Russia

^{1✉} ase4ica15@mail.ru

² aniuta.riabova2016@yandex.ru

³ dementevan@mail.ru

Abstract. Morphological characteristics of the skeleton have a special influence on economically useful traits. Phenotypic data indirectly reflect an individual's genetic potential. Tarsus length is one of the main indicators of bone development, which is due to the correlation of this parameter with live weight. The aim of the present study was to identify candidate regions responsible for the tarsus length. Studies were conducted on Tsarskoye

Selo, Uzbek Game and Cornish breeds. One candidate region on chromosome 9 associated with metatarsal length was identified based on whole-genome genotyping data and GWAS-analysis results. The identified region contained 50 SNPs localized in *EIF4A2*, *RFC4*, *MCF2L2*, *LAMP3*, *MCCC1*, and *DCUN1D1* genes that maximally distinguished the breeds from each other. Some genes are involved in the processes of skeletal muscle formation and homeostasis, others in the processes of bone homeostasis and autophagy, as well as in the development and course of osteosarcoma. The greatest differences in allele frequencies between Cornish and Uzbek Game breeds are observed in SNPs of *MCCC1*, *LAMP3*, and *MCF2L2* genes. Interestingly, for SNPs of the same genes, the maximum similarities of allele frequencies were observed in Tsarskoye Selo and Uzbek Game breeds. The present study expands the existing knowledge on the mechanisms controlling growth and development of chicken bone structures.

Keywords: SNP, genomic region, tarsus, measurements, poultry breeding

For citation: Azovtseva A. I., Ryabova A. E., Dementieva N. V. [Analysis of genome-wide associations with tarsus length in Tsarskoye selo, Uzbek Game and Cornish breeds]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 289-297. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-289-297>.

Acknowledgments: the work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the project No. 124020200114-7.

Введение

В птицеводстве, как и в других отраслях животноводства, морфологические характеристики скелета определяют как здоровье животных, так и уровень продуктивности [Li et al., 2021]. По некоторым данным дефекты задних конечностей являются основной причиной выбраковки животных из стад [Li et al., 2021]. Кроме того, на основании физиологического состояния задних конечностей можно судить о качестве всех костей скелета [González-Cerón et al., 2015]. Одним из самых распространенных показателей развития костей является длина плюсны, во многом благодаря высокой корреляции с живой массой [Tsudzuki et al., 2007; Gao et al., 2010]. Вероятно, это связано с тем, что длина плюсны косвенно позволяет судить о пропорциях скелета; соответственно, более длинные кости создают большую площадь прикрепления для мышц.

Царскосельская порода кур является аутосексной породой комбинированного направления продуктивности с декоративным окрасом и средней длиной конечностей, выведенной на базе ВНИИГРЖ [Вахрамеев и др., 2024]. При выведении преследовалась цель создания оптимального сочетания мясных и яичных качеств, что было достигнуто скрещиванием 4-линейных гибридов пород корниш × белый плимутрок с курами пород нью-гемпшир и полтавская глинистая [Азовцева и др., 2024]. Все породы, за исключением корниш, относятся к мясо-яичному направлению продуктивности. Характерной чертой корниш, породы мясного направления продуктивности, является короткая плюсна, которая обеспечивает лучшую жизнеспособность тяжелым бройлерам [Emrani et al., 2020; Magnuson et al., 2020]. Интересно, что родоначальником породы корниш являются английские бойцовые куры – особи с высокими сильными ногами, которые участвовали в становлении многих других бойцовских пород, кроме узбекской бойцовой, которая относится к породам народной селекции и также характеризуется длинными костями конечностей [Силукова, 2018].

Целью данного исследования было выявление кандидатных регионов генома и Single Nucleotide Polymorphism (SNP), ассоциированных с длиной плюсны, у пород корниш, узбекская бойцовая и царскосельская, на основании результатов полногеномного поиска ассоциаций (GWAS, genome-wide association study) с показателем длины плюсны у породы царскосельская.

Материалы и методы

Материалами для исследования стали птицы пород царскосельская (n = 96), узбекская бойцовая (n = 22) и корниш (n = 22), содержащиеся в ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» (ВНИИГРЖ, г. Пушкин). Для породы царскосельская в возрасте 42 недель были получены значения длины плюсны. Для проведения анализа от всех пород были отобраны образцы крови из вен конечностей, из которых была выделена ДНК по стандартной фенольной методике. Полученная ДНК была проанализирована на спектрофотометре NanoDrop2000c (ThermoFisher Scientific Inc., США) для определения чистоты образцов и их концентраций. Полногеномное генотипирование осуществлено с использованием биочипа Illumina Chicken 60K SNP iSelectBeadChip (Illumina Inc., США), плотность покрытия 57,636 однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). Контроль качества образцов произведен в программе Genome Studio (Illumina Inc., США). Образцы с качеством генотипирования более 95% допущены в анализ. Все выделенные образцы (n = 140) успешно прошли контроль качества. Редактирование и фильтрация данных чипов проведены при помощи PLINK 1.9 с частотой минорных аллелей (MAF) > 0.05, в результате чего количество SNP в анализе сократилось до 43,123. GWAS-анализ осуществлен при помощи про-

граммного обеспечения (ПО) EMMAX, где была сгенерирована матрица родства «identity-by-state» (IBS). Модель расчета влияния SNP на признак

$$Y = Xb + u + e,$$

где Y – вектор фенотипов, b – эффект SNP, X – расчетная матрица генотипов SNP, u – вектор аддитивных генетических эффектов, который считается нормально распределенным со средним значением, равным 0, и (ко)дисперсией σ^2aG , где σ^2a — аддитивная генетическая дисперсия, а G — матрица геномных отношений; e — вектор случайных остаточных эффектов.

При помощи поправки Бонферрони для SNP установлены достоверно значимый $1,16E-06$ ($0.05/43,123$) и предположительно значимый $2,31E-05$ ($1.00/43,123$) уровни. Общегеномная значимость оценена методом simple в R, а расчет эффективного числа независимых тестов – в программе Meff. Аннотирование SNP проведено в геномном браузере ENSEMBL на основании сборки генома GRCgба красной джунглевой курицы (Red Jungle Fowl). При помощи базы данных NCBI изучены функциональные характеристики всех генов, расположенных в пределах 0,5 Мб от выявленных SNP. На основании генов, задействованных в остеогенезе или костном гомеостазе, определены границы кандидатных регионов, контролирующих длину плюсны. Затем в пределах границ выявленных кандидатных регионов проведен поиск всех SNP, наблюдаемых у пород царскосельская, корниш и узбекская бойцовая. Для сокращения количества анализируемых полиморфизмов, при помощи ПО Eigensoft была применена дополнительная сортировка SNP, максимально различающих породы друг от друга. Также, для оставшихся после сортировки SNP дополнительно приведены частоты встречаемости аллелей по породам.

Результаты и обсуждение

В результате проведения GWAS-анализа для царскосельской породы выявлено 2 предположительно значимых SNP и, соответственно, 2 кандидатных региона, ассоциированных с показателем длина плюсны (таблица).

Предположительно значимые SNP и кандидатные регионы, ассоциированные с длиной плюсны у царскосельской породы кур

[Suggestive SNPs and candidate regions associated with tarsus length in Tsarskoye Selo breed]

SNP	Хромосома: Позиция	P-value	Замена	Локализация	Ген-кандидат	Кандидатный регион
rs16204837	26:5,071,683	4,01E-06	T/C	интрон	<i>TAF8</i>	5,068,707–5,174,489
				Рядом:	<i>BTG2</i>	
					<i>FMOD</i>	
					<i>PREPL</i>	
rs315156385	9:16,574,949	1,36E-05	T/G	интрон	<i>DCUN1D1</i>	16,298,653–16,586,728
				Рядом:	<i>FETUB</i>	

Особенность GWAS-исследований заключается в идентификации геномных ассоциаций с фенотипическими признаками, в данном случае – с признаком длины плюсны. Это свидетельствует о том, что у исследуемого массива особей отмечена высокая вероятность влияния настоящих регионов на развитие костей плюсны. Для подтверждения этой гипотезы гены в выявленных регионах подвергаются функциональной аннотации, причем поиск проводится среди всех видов млекопитающих, т.к. зачастую гены обладают большим числом паралогов, разошедшихся в результате видообразования. Наличие связи выявленных генов с процессами костеобразования в других исследованиях еще не является расшифровкой точного механизма их действия на формирование длины плюсны у кур. Тем не менее, само наличие данных о влиянии этих генов на остеогенез в других видах свидетельствует о достоверности обнаруженных ассоциаций.

SNP rs16204837 ($4,01E-06$) на 26 хромосоме расположен в гене *TAF8* (TATA-box binding protein associated factor 8), кодирующем один или несколько факторов, связанных с TATA-связывающим белком. Ген *TAF8* задействован в процессах транскрипции и ее регуляции. Кроме того, он принадлежит к группе белков развития – важной группы генов, от которых зависит корректное течение эмбрионального развития организма. Подтверждением этой роли являются исследования мутаций *TAF8*, которые приводят к нейродегенеративным заболеваниям, сопровождающимся задержкой роста, церебральной атрофией и микроцефалией [Wong et al., 2022]. Для определения потенциальных границ кандидатных регионов, ассоциированных с длиной плюсны, вблизи целевого SNP были изучены участки длиной в 1 Мб. Такая тактика позволила выявить на 9 хромосоме ряд генов, ассоциированных с процессами остеогенеза. Так, в пределах 0,5 Мб идентифицированы гены *BTG2*, *FMOD* и *PREPL*. Ген *BTG2* (BTG anti-proliferation factor 2) задействован в процессах транскрипции и ее регуляции, а также является членом семейства генов с антипролиферативными свойствами BTG/Tob. В исследовании на мышцах ген *BTG2* усиливал транскрипционную активность передачи сигналов костного морфогенетического белка (BMP, Bone morphogenetic protein), а динамические паттерны его экспрессии в развивающихся сомитах указывают на его участие в формировании паттерна позвонков [Park et al., 2004]. Ген *FMOD*

(Fibromodulin), кодирующий фибромодулин, влияет на скорость образования фибрилл и, предположительно, играет основную роль в фибрилlogenезе коллагена. Участие *FMOD* в эмбриональных процессах костеобразования подтверждается его экспрессией хондроцитами и остеобластами во время эндохондрального и внутримембранозного окостенения [Tevlin et al., 2023]. Способность *FMOD* облегчать сшивание коллагена свидетельствует о его важности для формирования и прочности костей [Hudson et al., 2017]. Последний ген группы, *PREPL* (Prolyl endopeptidase like), представляет собой матричный белок, экспрессируемый в базальных мембранах, хряще и костном матриксе. *PREPL* обладает сильным антирезорбтивным действием, ингибируя образование остеокластов, благодаря чему был предложен в качестве нового агента при лечении костных патологий, вызванных повышенной активностью остеокластов [Rucci et al., 2013].

SNP rs315156385 ($1,36E-05$) на 9 хромосоме расположен в интроне *DCUNID1* (Defective in cullin neddylation 1 domain containing 1), обеспечивающего активность белков семейства куллинов. Являясь частью убиквитинлигазного комплекса, *DCUNID1* играет важную роль в процессах убиквитинирования и неддилирования, которые регулируют стабильность и функцию целевых белков [Passez et al., 2024]. Для второго SNP также были рассмотрены близлежащие гены. Так, в пределах 0,3 Мб от целевого SNP обнаружен ген *FETUB* (Fetuin B) – член семейства фетуинов, который играет важную роль в процессе оплодотворения. Фетуины задействованы в широком спектре процессов, в числе которых реакция на системные воспаления, регуляция рецепторов инсулина и фактора роста гепатоцитов, а также участие в процессах остеогенеза и костной резорбции. Так, снижение концентраций фетуина в крови характерно для заболевания Педжета, а повышение – для заболеваний несовершенного остеогенеза [Kubota et al., 2012].

Имеющиеся данные позволяют сделать вывод, что ассоциации с длиной плюсны на 9 и 26 хромосомах в царскосельской породе подтверждаются явным влиянием генов, обнаруженных вблизи SNP, на процессы остеогенеза. На основании этого можно предположить, что идентифицированные регионы могут оказывать влияние на длину плюсны и в других породах. Для проверки этой гипотезы в представленных регионах был проведен поиск всех SNP для пород царскосельская, корниш и узбекская бойцовая. Всего идентифицировано 6600 SNP: 5162 SNP локализованы на 9 хромосоме, а оставшиеся 1438 – на 26. При помощи программы Eigensoft отсортированы 50 SNP на 9 хромосоме, максимально отличающие породы друг от друга. Из них 33 SNP локализованы в гене *MCF2L2*, 10 SNP – в гене *RFC4*, 3 SNP – в гене *MCCC1*, 2 SNP – в *EIF4A2*, а также по 1 SNP в генах *LAMP3* и *DCUNID1*. Для упрощения визуализации SNP были дополнительно отфильтрованы – оставлены только те SNP, частоты аллелей которых максимально различаются от породы к породе. В результате для визуализации были использованы 16 SNP гена *MCF2L2*, 2 SNP – *RFC4*, 3 SNP – *MCCC1*, 2 SNP – *EIF4A2*, и 1 SNP гена *LAMP3*. Для 26 хромосомы не было выявлено SNP, значительно отличающих породы друг от друга.

Наибольшее число SNP получено в гене *MCF2L2* (MCF.2 cell line derived transforming sequence-like 2), кодирующего фактор обмена гуаниновых нуклеотидов семейства Rho (рис. 1).



Рис. 1. Частоты аллелей для SNP в гене *MCF2L2*, наблюдаемые в породах царскосельская, корниш и узбекская бойцовая

[Allele frequencies for SNPs in the *MCF2L2* gene in Tsarskoye Selo, Cornish and Uzbek Game chicken breeds]

Известно, что домен фактора обмена Rho-гуаниновых нуклеотидов обскурина может активировать сигнальный путь ГТФазы RhoA, которая играет ключевую роль в развитии и поддержании скелетных мышц [Ran et al., 2020]. Кроме того, ранее *MCF2L2* был предложен в качестве кандидатного гена, ассоциированного с неанеуплоидными структурными аномалиями эмбрионов [Carss et al., 2014]. С точки зрения развития костей важность гена *MCF2L2* обусловлена его участием в комплексе ULK1 при индукции аутофагии. Так, в исследованиях выявлено, что нокаут *MCF2L2* приводит к ингибированию аутофагии [Сао, 2012]. Последняя представляет особое значение для развития и нормального функционирования костной ткани, т.к. она влияет на выживание и функции всех типов клеток костей – остеобластов, остеокластов и остеоцитов, а также хряща – хондроцитов [Shapiro et al., 2013]. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что аутофагия – важный процесс для поддержания гомеостаза костей.

Для гена *RFC4* (Replication factor C subunit 4) обнаружено 10 SNP, однако максимально различимы породы, согласно частотам аллелей, только по 2 SNP (рис. 2). *RFC4* кодирует белковый комплекс, проявляющий ДНК-зависимую АТФазную активность. Биаллельные варианты *RFC4* ассоциированы с недиагностированным расстройством человека, характеризующимся нарушением координации, мышечной слабостью и снижением массы тела [Morimoto et al., 2024]. В исследованиях остеосаркомы гены семейства *RFC*, включая *RFC4*, проявили как повышенную экспрессию, так и участие в репликации ДНК, благодаря чему высказано предположение о их важности при развитии данного заболевания [Peng et al., 2017].

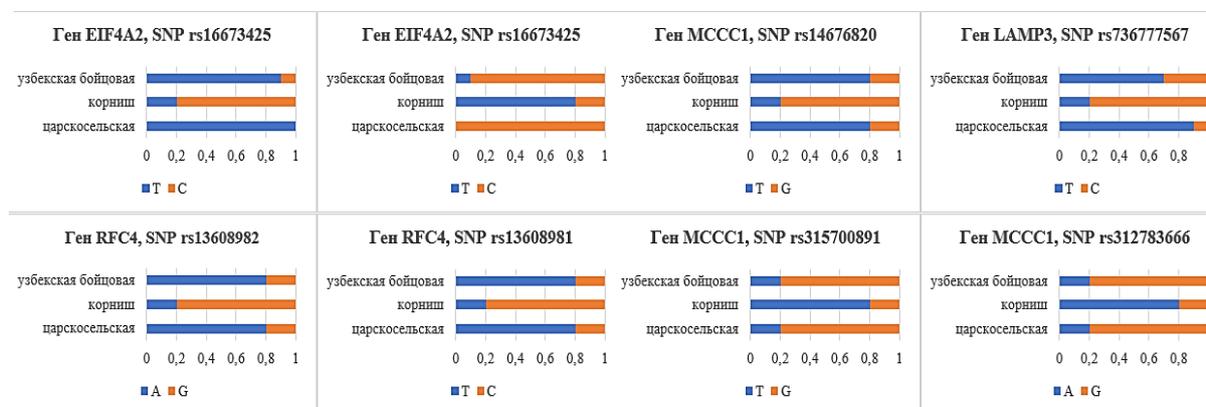


Рис. 2. Частоты аллелей для SNP в генах *MCCC1*, *LAMP3*, *RFC4* и *EIF4A2*, наблюдаемые в породах царскосельская, корниш и узбекская бойцовая

[Allele frequencies for SNPs in *EIF4A2*, *RFC4*, *LAMP3*, and *MCCC1* genes observed in Tsarskoye Selo, Cornish and Uzbek Game chicken breeds]

В гене *MCCC1* (Methylcrotonyl-CoA carboxylase subunit 1), кодирующем субъединицу 1 фермента метилкротонил-КоА-карбоксилазы, обнаружено 3 SNP (рис. 2). Мутации *MCCC1* приводят к нарушению метаболизма лейцина. В исследовании взаимосвязи сигнального пути mTOR и аутофагии выявлено, что ингибирование этого гена подавляет активность комплекса mTORC1, что, в свою очередь, приводит к активации аутофагии [Nicklin et al., 2009]. В многочисленных исследованиях на мышах выявлено, что мутации в генах, связанных с аутофагией, проявляются пониженным формированием и минерализацией костей, низкой костной массой, а также спонтанными переломами [Suzuki, Iwata, 2021], из чего следует, что активность *MCCC1* опосредованно оказывает негативное влияние на остеогенез и костный гомеостаз.

Для *EIF4A2* (Eukaryotic translation initiation factor 4A2) выявлено 2 SNP (рис. 2). *EIF4A2* кодирует РНК-геликазу, необходимую для связывания мРНК с рибосомой, а также задействованную в биосинтезе белка. Известно, что он участвует в развитии мышц у целого ряда млекопитающих, включая человека, крупного рогатого скота и свиней. Характер экспрессии *EIF4A2* у свиней во время эмбрионального и постэмбрионального развития мышц указывает на его значительную роль в миогенезе [Zhang et al., 2022].

Для гена *LAMP3* (Lysosomal associated membrane protein 3), как и для *DCUN1D1* (Defective in cullin neddylation 1 domain containing 1), обнаружен 1 SNP (рис. 2). *LAMP3* кодирует гликопротеин лизосомальной мембраны, который играет роль в процессе слияния лизосомы с аутофагосомой, модулируя тем самым процесс аутофагии [Nagelkerke et al., 2014]. Установлено, что *LAMP3* сильно активируется при метастатической остеосаркоме [Li et al., 2017]. Нокаут *LAMP3* существенно подавляет жизнеспособность клеток остеосаркомы и способствует апоптозу, тогда как его сверхэкспрессия, наоборот, повышает жизнеспособность и отменяет апоптоз [Liu et al., 2018]. В исследовании на собаках вышеупомянутый ген

DCUNID1 также характеризовался повышенной экспрессией в тканях, пораженных остеосаркомой [Rodrigues et al., 2016].

Так, практически для всех изученных генов обнаружены ассоциативные связи с остеогенезом и гомеостазом костей. Приняты во внимание как связи с аутофагией, так и с неконтролируемым разрастанием костной ткани – остеосаркомой. Это позволяет предположить, что регион на 9 хромосоме формирует гаплогруппу, способную оказывать влияние на развитие кости плюсны.

Важно отметить, что изучаемые породы проявляют разные значения длины плюсны: так, порода корниш характеризуется короткой плюсной, узбекская – длинной, а царскосельская порода занимает промежуточное положение с уклоном в сторону длинной плюсны, как у узбекской бойцовой. В связи с этим необходимо учитывать те гены, в которых отмечены наибольшие различия по частотам аллелей между исследуемыми породами. Так, SNP в генах *MCCCI*, *LAMP3* и *MCF2L2* были максимально различны между породами корниш и узбекская бойцовая, которые противопоставляются друг другу по длине плюсны. Вероятно, распределение аллельных частот породы корниш в идентифицированных SNP оказывает влияние на формирование короткой плюсны, тогда как распределение в узбекской бойцовой приводит к развитию длинной плюсны (рис.1). Принимая во внимание фенотипическую близость царскосельской и узбекской бойцовой пород по показателю длины плюсны, стоит отметить схожесть их аллельных частот. В частности, для них наблюдается схожесть аллельного распределения в тех же генах – *MCCCI*, *LAMP3* и *MCF2L2*. В частности, это SNP rs15977663, rs15977665, rs316790685 и rs15977720 гена *MCF2L2*, rs312783666 и rs315700891 гена *MCCCI*, а также SNP rs736777567 гена *LAMP3*.

Резюмируя вышесказанное, выявленные сходства и различия в аллельных распределениях генов *MCF2L2*, *LAMP3* и *MCCCI* делают последних перспективными генами-кандидатами, определяющими развитие длины плюсны. Тем не менее, для изучения генетических механизмов, лежащих в основе формирования длины плюсны, рекомендуется продолжить изучение генетической структуры региона 9 на хромосоме в других породах.

Заключение

В результате исследования с показателем длины плюсны ассоциирован кандидатный регион на 9 хромосоме. В нем найдено 50 SNP в генах *EIF4A2*, *RFC4*, *MCF2L2*, *LAMP3*, *MCCCI* и *DCUNID1*, максимально различающих породы между собой. Часть генов участвует в процессах формирования скелетных мышц и их гомеостаза (*EIF4A2*, *RFC4*, *MCF2L2*), другая – в процессах костного гомеостаза и аутофагии (*MCF2L2*, *MCCCI*, *LAMP3*), а также развития и течения остеосаркомы (*LAMP3*, *MCCCI*, *DCUNID1*, *RFC4*). Максимально различные аллельные частоты между породами корниш и узбекская бойцовая наблюдаются в SNP генов *MCCCI*, *LAMP3* и *MCF2L2*, и для SNP этих же генов отмечены максимальные сходства аллельных частот в породах царскосельская и узбекская бойцовая. Для изучения генетических механизмов, определяющих длину плюсны, рекомендуется дальнейшее изучение влияния генов и SNP кандидатного региона в других породах. Принимая во внимание, что рост и развитие костных структур находится под сложным генетическим контролем, раскрытие его молекулярных механизмов может способствовать значительному повышению эффективности селекции.

Список источников

1. Азовцева А.И. и др. Анализ селекционного прогресса в популяциях царскосельской породы кур на основании экстерьерных данных // Достижения науки и техники АПК. 2024. № 38. С. 21–28. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_5_21. EDN: HHGRRD.
2. Вахрамеев А.Б. и др. Оценка продуктивности породы кур царскосельская // Птицеводство. 2024. № 1. С. 5–11. DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-1-5-11. EDN: WANDEJ.
3. Силукова Ю.Л. Бойцовые породы кур: история происхождения и современное состояние // Генетика и разведение животных. 2018. № 2. С. 117–122. DOI: 10.31043/2410-2733-2018-2-117-122. EDN: XURUTR.
4. Cao J. Studies on the Regulatory Mechanism of the ULK1 Complex in the Induction of Autophagy: abstract PhD dissertation. USA, Minnesota, 2012. 127 p.
5. Carss K.J. et al. Exome sequencing improves genetic diagnosis of structural fetal abnormalities revealed by ultrasound // Hum. Mol. Genet. 2014. Vol. 23, № 12. P. 3269–3277. DOI: 10.1093/hmg/ddu038.
6. Emrani H. et al. Genome-wide association study of shank length and diameter at different developmental stages in chicken F2 resource population // Anim. Genet. 2020. Vol. 51, № 5. P. 722–730. DOI: 10.1111/age.12981. EDN: GEOIEE.

7. Gao Y. et al. Identification of quantitative trait loci for shank length and growth at different development stages in chicken // *Anim. Genet.* 2010. Vol. 41, № 1. P. 101–104. DOI: 10.1111/j.1365-2052.2009.01962.x.
8. González-Cerón F., Rekaya R., Aggrey S.E. Genetic relationship between leg problems and bone quality traits in a random mating broiler population // *Poult. Sci.* 2015. Vol. 94, № 8. P. 1787–1790.
9. Hudson D.M. et al. P3h3-null and Sc65-null Mice Phenocopy the Collagen Lysine Under-hydroxylation and Cross-linking Abnormality of Ehlers-Danlos Syndrome Type VIA // *J. Biol. Chem.* 2017. Vol. 292, № 9. P. 3877–3887. DOI: 10.1074/jbc.M116.762245.
10. Kubota T. et al. Biological implications of fetuin for bone remodeling system and possible evidence for its use in heterotopic ossification // *Asian Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2012. Vol. 24, № 1. C. 36–41.
11. Li Y. et al. LAMP3 promotes the invasion of osteosarcoma cells via SPP1 signaling // *Mol. Med. Rep.* 2017. Vol. 16, № 5. P. 5947–5953. DOI: 10.3892/mmr.2017.7349.
12. Li Y.D. et al. A combination of genome-wide association study and selection signature analysis dissects the genetic architecture underlying bone traits in chickens // *Animal.* 2021. Vol. 15, № 8. Art. 100322. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100322. EDN: RDUGGS.
13. Liu S. et al. LAMP3 plays an oncogenic role in osteosarcoma cells partially by inhibiting TP53 // *Cell Mol. Biol. Lett.* 2018. № 23. Art. 33. DOI: 10.1186/s11658-018-0099-8. EDN: AMCEIG.
14. Magnuson A. D. et al. Supplemental methionine and stocking density affect antioxidant status, fatty acid profiles, and growth performance of broiler chickens // *J. Anim. Sci.* 2020. Vol. 98, № 4. Art. skaa092. DOI: 10.1093/jas/skaa092. EDN: EKKCAN.
15. Morimoto M. et al. Expanding the genetic and phenotypic landscape of replication factor C complex-related disorders: RFC4 deficiency is linked to a multisystemic disorder // *Am. J. Hum. Genet.* 2024. Vol. 111, № 9. P. 1970–1993. DOI: 10.1016/j.ajhg.2024.07.008. EDN: FULZHX.
16. Nagelkerke A. et al. LAMP3 is involved in tamoxifen resistance in breast cancer cells through the modulation of autophagy // *Endocr. Relat. Cancer.* 2014. Vol. 21, № 1. P. 101–112. DOI: 10.1530/ERC-13-0183. EDN: YELNON.
17. Nicklin P. et al. Bidirectional transport of amino acids regulates mTOR and autophagy // *Cell.* 2009. Vol. 136, № 3. P. 521–534. DOI: 10.1016/j.cell.2008.11.044.
18. Pancez J.D. et al. DCUN1D1 and neddylation: Potential targets for cancer therapy // *Biochim. Biophys. Acta Mol. Basis Dis.* 2024. Vol. 1870, № 7. Art. 167308. DOI: 10.1016/j.bbadis.2024.167308. EDN: LQTTFD.
19. Park S. et al. B-cell translocation gene 2 (Btg2) regulates vertebral patterning by modulating bone morphogenetic protein/smad signaling // *Mol. Cell Biol.* 2004. Vol. 24, № 23. P. 10256–10262. DOI: 10.1128/MCB.24.23.10256-10262.2004.
20. Peng C. et al. Investigation of crucial genes and microRNAs in conventional osteosarcoma using gene expression profiling analysis // *Mol. Med. Rep.* 2017. Vol. 16, № 5. P. 7617–7624. DOI: 10.3892/mmr.2017.7506.
21. Ran S. et al. Association of 3p27.1 Variants with Whole Body Lean Mass Identified by a Genome-wide Association Study // *Sci. Rep.* 2020. Vol. 10, № 1. Art. 4293. DOI: 10.1038/s41598-020-61272-z. EDN: LOXNCC.
22. Rodrigues L.C. et al. Osteosarcoma tissues and cell lines from patients with differing serum alkaline phosphatase concentrations display minimal differences in gene expression patterns // *Vet. Comp. Oncol.* 2016. Vol. 14, № 2. P. 58–69. DOI: 10.1111/vco.12132.
23. Rucci N. et al. Proline/arginine-rich end leucine-rich repeat protein N-terminus is a novel osteoclast antagonist that counteracts bone loss // *J. Bone. Miner. Res.* 2013. Vol. 28, № 9. P. 1912–1924. DOI: 10.1002/jbmr.1951.
24. Shapiro I.M. et al. Boning up on autophagy: the role of autophagy in skeletal biology // *Autophagy.* 2014. Vol. 10, № 1. P. 7–19. DOI: 10.4161/auto.26679.
25. Suzuki A., Iwata J. Amino acid metabolism and autophagy in skeletal development and homeostasis // *Bone.* 2021. № 146. Art. 115881. DOI: 10.1016/j.bone.2021.115881. EDN: QCLLHP.
26. Tevlin R. et al. Denervation during mandibular distraction osteogenesis results in impaired bone formation // *Sci. Rep.* 2023. Vol. 13, № 1. Art. 2097. DOI: 10.1038/s41598-023-27921-9. EDN: KLXXYL.
27. Tsudzuki M. et al. Identification of quantitative trait loci affecting shank length, body weight and carcass weight from the Japanese cockfighting chicken breed, Oh-Shamo (Japanese Large Game) // *Cytogenet. Genome Res.* 2007. Vol. 117, № 1-4. P. 288–295. DOI: 10.1159/000103190.
28. Wong K.M. et al. Mutations in TAF8 cause a neurodegenerative disorder // *Brain.* 2022. Vol. 145, № 9. P. 3022–3034. DOI: 10.1093/brain/awac154. EDN: HQQWKO.
29. Zhang Z. et al. Copy number variation of EIF4A2 loci related to phenotypic traits in Chinese cattle // *Vet. Med. Sci.* 2022. Vol. 8, № 5. P. 2147–2156. DOI: 10.1002/vms3.875. EDN: CRCZVC.

References

1. Azovtseva A.I. et al. [Analysis of selection progress in populations of the Tsarskoye selo chicken breed based on exterior data]. *Dostizheniya nauki i tehniki APK.* No. 38 (2024): pp. 21-28. (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451_2024_38_5_21. EDN: HHGRRD.

2. Vakhrameev A.B. et al. [Evaluation of the productivity in the dual-purpose chicken breed Tsarskoye Selo]. *Pticevodstvo*. V. 73, No. 1 (2024): pp. 5-11. (In Russ.). DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-1-5-11. EDN: WAHDEJ.
3. Silyukova Y.L. [Game breeds of chickens: history of creating and current stay]. *Genetika I razvedeniye zhivotnykh*. No. 2 (2018): pp. 117-122. (In Russ.). DOI: 10.31043/2410-2733-2018-2-117-122. EDN: XURUTR.
4. Cao J. Studies on the Regulatory Mechanism of the ULK1 Complex in the Induction of Autophagy: abstract PhD dissertation. USA, Minnesota, 2012. 127 p.
5. Carss K. J. et al. Exome sequencing improves genetic diagnosis of structural fetal abnormalities revealed by ultrasound. *Hum. Mol. Genet.* V. 23, No. 12 (2014): pp. 3269-3277. DOI: 10.1093/hmg/ddu038.
6. Emrani H. et al. Genome-wide association study of shank length and diameter at different developmental stages in chicken F2 resource population. *Anim. Genet.* V. 51, No. 5 (2020): pp. 722-730. DOI: 10.1111/age.12981. EDN: GEOIEE.
7. Gao Y. et al. Identification of quantitative trait loci for shank length and growth at different development stages in chicken. *Anim. Genet.* V. 41, No. 1 (2010): pp. 101-104. DOI: 10.1111/j.1365-2052.2009.01962.x.
8. González-Cerón F., Rekaya R., Aggrey S. E. Genetic relationship between leg problems and bone quality traits in a random mating broiler population. *Poult. Sci.* V. 94, No. 8 (2015): pp. 1787-1790.
9. Hudson D.M. et al. P3h3-null and Sc65-null Mice Phenocopy the Collagen Lysine Under-hydroxylation and Cross-linking Abnormality of Ehlers-Danlos Syndrome Type VIA. *J. Biol. Chem.* V. 292, No. 9 (2017): pp. 3877-3887. DOI: 10.1074/jbc.M116.762245.
10. Kubota T. et al. Biological implications of fetuin for bone remodeling system and possible evidence for its use in heterotopic ossification. *Asian Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. V. 24, No. 1 (2012): pp. 36-41.
11. Li Y. et al. LAMP3 promotes the invasion of osteosarcoma cells via SPP1 signaling. *Mol. Med. Rep.* V. 16, No. 5 (2017): pp. 5947-5953. DOI: 10.3892/mmr.2017.7349.
12. Li Y.D. et al. A combination of genome-wide association study and selection signature analysis dissects the genetic architecture underlying bone traits in chickens. *Animal*. V. 15, No. 8 (2021). Art. 100322. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100322. EDN: RDUGGS.
13. Liu S. et al. LAMP3 plays an oncogenic role in osteosarcoma cells partially by inhibiting TP53. *Cell Mol. Biol. Lett.* No. 23 (2018). Art. 33. DOI: 10.1186/s11658-018-0099-8. EDN: AMCEIG.
14. Magnuson A.D. et al. Supplemental methionine and stocking density affect antioxidant status, fatty acid profiles, and growth performance of broiler chickens. *J. Anim. Sci.* V. 98, No. 4 (2020) Art. skaa092. DOI: 10.1093/jas/skaa092. EDN: EKKCAN.
15. Morimoto M. et al. Expanding the genetic and phenotypic landscape of replication factor C complex-related disorders: RFC4 deficiency is linked to a multisystemic disorder. *Am. J. Hum. Genet.* V. 111, No. 9 (2024): pp. 1970-1993. DOI: 10.1016/j.ajhg.2024.07.008. EDN: FULZHX.
16. Nagelkerke A. et al. LAMP3 is involved in tamoxifen resistance in breast cancer cells through the modulation of autophagy. *Endocr. Relat. Cancer*. V. 21, No. 1 (2014): pp. 101-112. DOI: 10.1530/ERC-13-0183. EDN: YELNON.
17. Nicklin P. et al. Bidirectional transport of amino acids regulates mTOR and autophagy. *Cell*. Vol. 136, No. 3 (2009): pp. 521-534. DOI: 10.1016/j.cell.2008.11.044.
18. Pancez J.D. et al. DCUN1D1 and neddylation: Potential targets for cancer therapy. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Basis. Dis.* V. 1870, No. 7 (2024). Art. 167308. DOI: 10.1016/j.bbadis.2024.167308. EDN: LQTTFD.
19. Park S. et al. B-cell translocation gene 2 (Btg2) regulates vertebral patterning by modulating bone morphogenetic protein/smad signaling. *Mol. Cell Biol.* V. 24, No. 23 (2004): pp. 10256-10262. DOI: 10.1128/MCB.24.23.10256-10262.2004.
20. Peng C. et al. Investigation of crucial genes and microRNAs in conventional osteosarcoma using gene expression profiling analysis. *Mol. Med. Rep.* V. 16, No. 5 (2017): pp. 7617-7624. DOI: 10.3892/mmr.2017.7506.
21. Ran S. et al. Association of 3p27.1 Variants with Whole Body Lean Mass Identified by a Genome-wide Association Study. *Sci. Rep.* V. 10, No. 1 (2020). Art. 4293. DOI: 10.1038/s41598-020-61272-z. EDN: LOXNCC.
22. Rodrigues L.C. et al. Osteosarcoma tissues and cell lines from patients with differing serum alkaline phosphatase concentrations display minimal differences in gene expression patterns. *Vet. Comp. Oncol.* V. 14, No. 2 (2016): pp. 58-69. DOI: 10.1111/vco.12132.
23. Rucci N. et al. Proline/arginine-rich end leucine-rich repeat protein N-terminus is a novel osteoclast antagonist that counteracts bone loss. *J. Bone. Miner. Res.* V. 28, No. 9 (2013): pp. 1912-1924. DOI: 10.1002/jbmr.1951.
24. Shapiro I.M. et al. Boning up on autophagy: the role of autophagy in skeletal biology. *Autophagy*. V. 10, No. 1 (2014): pp. 7-19. DOI: 10.4161/auto.26679.
25. Suzuki A., Iwata J. Amino acid metabolism and autophagy in skeletal development and homeostasis. *Bone*. No. 146 (2021). Art. 115881. DOI: 10.1016/j.bone.2021.115881. EDN: QCLLHP.
26. Tevlin R. et al. Denervation during mandibular distraction osteogenesis results in impaired bone formation. *Sci. Rep.* V. 13, No. 1 (2023). Art. 2097. DOI: 10.1038/s41598-023-27921-9. EDN: KLXXYL.

27. Tsudzuki M. et al. Identification of quantitative trait loci affecting shank length, body weight and carcass weight from the Japanese cockfighting chicken breed, Oh-Shamo (Japanese Large Game). *Cytogenet. Genome Res.* V. 117, No. 1-4 (2007): pp. 288-295. DOI: 10.1159/000103190.

28. Wong K.M. et al. Mutations in TAF8 cause a neurodegenerative disorder. *Brain.* V. 145, No. 9 (2022): pp. 3022-3034. DOI: 10.1093/brain/awac154. EDN: HQQWKO.

29. Zhang Z. et al. Copy number variation of EIF4A2 loci related to phenotypic traits in Chinese cattle. *Vet. Med. Sci.* V. 8, No. 5 (2022): pp. 2147-2156. DOI: 10.1002/vms3.875. EDN: CRCZVC.

Статья поступила в редакцию 10.06.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 10.06.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

А. И. Азовцева – аспирант, младший научный сотрудник;

А. Е. Рябова – аспирант, младший научный сотрудник;

Н. В. Дементьева – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией молекулярной генетики.

Information about the authors

A. I. Azovtseva – PhD student, junior researcher;

A. E. Ryabova – PhD student, junior researcher;

N. V. Dementieva – Cand. Biol. Sci., leading researcher, head of the laboratory of molecular biology.

Вклад авторов:

Азовцева А. И. – развитие методологии; сбор данных; статистическая обработка материала; написание исходного текста; итоговые выводы.

Рябова А. Е. – развитие методологии; сбор данных; написание исходного текста; редактирование исходного текста; итоговые выводы.

Дементьева Н. В. – научное руководство; концепция исследования; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Azovtseva A. I. – scientific management; data collection; statistical analysis; draft writing; final conclusions.

Ryabova A. E. – scientific management; data collection; statistical analysis; draft writing; draft editing; final conclusions.

Dementieva N. V. – scientific management; research concept; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

ГЕНЕТИКА

Научная статья

УДК 575

EDN: MMBUEO

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-298-304



**Анализ ассоциаций уровня личностной тревожности
с аллельными вариантами генов обмена веществ**

**Ю. С. Новокович¹, О. С. Глотов¹, М. В. Асеев¹, А. В. Кусакин¹, Д. Е. Полев¹,
А. С. Глотов²**

¹ Центр геномных технологий ООО «Сербалаб», Санкт-Петербург, Россия

² НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Сергеевна Новокович, novokovich@inbox.ru

Аннотация. Исследование посвящено выявлению генетических маркеров, ассоциированных с повышенной личностной тревожностью среди 119 психически здоровых лиц, преимущественно русской национальности, проживающих в европейской части России. Уровень личностной тревожности устанавливался при помощи опросника Спилбергера – Ханина и самоанкетирования. Варианты генов *COMT* rs4633, rs4680, *APOE* rs429358, rs7412, *CBS* rs234706, rs4920037, *MTHFR* rs1801131, rs1801133, *NOS3* rs1800779 и *VDR* rs2228570 определяли при помощи методов ПЦР-ПДРФ анализа и Реал-Тайм ПЦР. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием двустороннего точного теста Фишера, с пороговым уровнем значимости p value <0.05. Выявлена ассоциация с повышенной тревожностью для *APOE* rs7412 C/T ($p=0.02$), *APOE* e2/e3 ($p=0.04$), *CBS* rs4920037 A/A ($p=0.019$), *NOS3* rs1800779A/A ($p=0.008$), *VDR* rs2228570 G/G ($p=0.034$). С умеренной и низкой тревожностью ассоциированы 2 варианта: *NOS3* rs1800779A/G ($p=0.01$), *APOE* e3/e4 ($p=0.035$).

Ключевые слова: генетика тревожности, генетика человека, гены обмена веществ, психогенетика, аллельные варианты гена

Для цитирования: Анализ ассоциаций уровня личностной тревожности с аллельными вариантами генов обмена веществ / Ю. С. Новокович, О. С. Глотов, М. В. Асеев, А. В. Кусакин, Д. Е. Полев, А. С. Глотов // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 298–304. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-298-304>.

GENETICS

Original article

**Analysis of associations of the level of personal anxiety
with allelic variations of metabolic genes**

**Yu. S. Novokovich¹, O. S. Glotov¹, M. V. Aseev¹, A. V. Kusakin¹, D. E. Polev¹,
A. S. Glotov²**

¹ Center for Genomic Technologies «Cerbalaб», St. Petersburg, Russia

² D.O. Ott Research Institute for Obstetrics, Gynaecology and Reproductology, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Yuliya S. Novokovich, novokovich@inbox.ru

Abstract. The study is devoted to the identification of genetic markers associated with increased personal anxiety among 119 mentally healthy people, mainly of Russian nationality, living in the European part of Russia. The level of personal anxiety was determined using the Spielberger-Khanin questionnaire and self-questioning. Gene variants *COMT* rs4633, rs4680, *APOE* rs429358, rs7412, *CBS* rs234706, rs4920037, *MTHFR* rs1801131, rs1801133, *NOS3* rs1800779, and *VDR* rs2228570 were determined using PCR-RDRF analysis and Real-Time PCR. Statistical processing of the results was carried out using a two-way accurate Fisher test, with a threshold significance level of p value <0.05. An association with increased anxiety was found for *APOE* rs7412 C/T ($p=0.02$), *APOE* e2/e3 ($p=0.04$), *CBS* rs4920037 A/A ($p=0.019$), *NOS3* rs1800779A/A ($p=0.008$), *VDR* rs2228570 G/G ($p=0.034$) with moderate and low anxiety are associated: *NOS3* rs1800779A/G ($p=0.01$), *APOE* e3/e4 ($p=0.035$).

Keywords: genetics of anxiety, human genetics, metabolic genes, psychogenetics, allelic variants of the gene

For citation: Novokovich Yu. S., Glotov O. S., Aseev M. V., Kusakin A. V., Polev D. E., Glotov A. S. [Analysis of associations of the level of personal anxiety with allelic variations of metabolic genes]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 298-304. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-298-304>.

Введение

Патологическая тревожность является одним из наиболее распространенных нарушений психического здоровья, о чем говорят данные исследований Всемирной организации здравоохранения. За время пандемии COVID-19 распространенность тревожных расстройств и депрессий в мире выросла на 25% [WHO, 2022]. В работах различных исследователей можно встретить данные о том, что в России уровень тревожности среди населения колеблется от 35% до 70% [Сергеева, 2023].

Личностная тревожность характеризуется устойчивой предрасположенностью к переживанию тревожных состояний. Это состояние оказывает значительное влияние на качество жизни и уровень психологического благополучия индивида. Личностная тревожность рассматривается как комплексное нарушение, обусловленное взаимодействием генетических, биологических, психологических и социальных факторов [Холщевников, 2024].

Согласно исследованиям, вероятность передачи тревожных расстройств по наследству составляет от 30 до 40% [Kalin et al., 2021]. Однако полученные данные, связанные с вкладом генетических факторов, как и с факторами окружающей среды, широко варьируется между исследованиями [Borges-Vieira, Cardoso, 2023]. Таким образом, выявление новых генетических маркеров, предрасполагающих к развитию данного состояния, является актуальной задачей. Патогенез тревожных расстройств является многофакторным, включающим сложные взаимодействия между биологическими факторами, влиянием окружающей среды и психологическими механизмами [Ohi et al., 2020]. Следовательно, существует острая необходимость в понимании молекулярной основы тревожных расстройств и разработке более совершенных доклинических моделей, применимых для разработки новых персонализированных методов лечения [Garakani et al., 2020]. В данной работе мы исследовали как гены нейромедиаторного обмена, так и гены, задействованные в обмене липидов, оксида азота и витаминов.

Как показано в исследовании, прием фолатов и витамина D показал высокую эффективность при терапии тревожности и депрессии [Chubar et al., 2020]. Рецепторы витамина D имеются во многих тканях, в том числе в головном мозге. Их особенно много в префронтальной коре, гиппокампе, поясной извилине, таламусе, гипоталамусе и черной субстанции. Перечисленные регионы имеют важное значение в патофизиологии психических нарушений [Xie et al., 2022]. Достаточно хорошо изучена роль оксида азота в развитии психических нарушений. NO играет важную роль в нейропротекции, модуляции гематоэнцефалического барьера и защите нейронов от окислительного стресса. Кроме этого, NO вызывает расслабление гладкой мускулатуры, что увеличивает кровоснабжение головного мозга [Jankovic et al., 2024]. Лocus *NOS3* rs1800779 может участвовать в закупорке артерий, гибели нейронов и демиелинизации. Поскольку он расположен в промоторной области гена, то может влиять на активность выработки или на снижение биодоступности оксида азота [Nasyrova et al., 2020]. Недавние исследования показали, что ген *APOE* связан не только с болезнью Альцгеймера, но и с повышенной тревожностью [Xu et al., 2023]. Поскольку тревожность является одним из наиболее распространенных нейропсихиатрических симптомов при болезни Альцгеймера, многие исследователи рассматривают эти два нарушения с учетом общих эпидемиологических и биологических корреляций [Patel, Masurkar, 2021]. Исходя из этого, можно предположить, что гены, регулирующие процессы обмена липидов, оксида азота, фолатов и витаминов, можно рассматривать в качестве генов-кандидатов, участвующих в патогенезе повышенной тревожности у человека.

Цель данной работы – изучение связи уровня личностной тревожности с вариантами генов обмена веществ, а именно: *COMT*, *APOE*, *CBS*, *MTHFR*, *NOS3*, *VDR* среди психически здоровых лиц, проживающих в городах европейской части России.

Материалы и методы исследования

В исследовании участвовало 119 человек, среди которых было 28 мужчин в возрасте от 18 до 64 лет (средний возраст – 37.5 лет) и 91 женщина в возрасте от 18 до 73 лет (средний возраст – 38 лет). Для определения уровня тревожности участников использовался опросник Спилбергера – Ханина и анкета, в которой участники могли указать наличие тревоги. Критерии включения в группу с высоким уровнем тревоги (ВУТ): балл опросника от 44 и выше, наличие отметки о наличии тревоги в анкете. Критерии включения в группу с нормальным или низким уровнем тревоги (НУУТ): балл опросника от 43 и ниже, отсутствие отметки о наличии тревоги в анкете. Критерии исключения: расхождение по данным

анкеты и опросника, наличие психических заболеваний, прием каких-либо лекарств на регулярной основе. Все участники исследования предоставляли информацию о месте проживания, росте и весе, а также о том, курят ли они и употребляют ли алкоголь. Все участники исследования проживали в городах европейской части России, преимущественно в Москве и Московской обл. – 39.8%, преимущественно русской национальности – 91.59%. Все лица, включенные в данное исследование, подписали информированное согласие, в соответствии с протоколом, одобренным этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета № 02-258 (PK115-03-20 от 23.11.2023). Для проведения молекулярно-генетического анализа была осуществлена процедура выделения ДНК из венозной крови по методу спин-колонки набором «К-СОРБ-50» (Синтол, Россия) или из буккального эпителия набором LumiPure Genomic DNA Blood and Buccal Kit manual (Lumiprobe, Россия). Генотипирование 10 вариантов генов проводили на базе Центра Геномных Технологий Сербалаб, в рамках коммерческой панели «Генетический тест». Варианты генов *COMT* rs4633, rs4680, *APOE* rs429358, rs7412, *CBS* rs234706, rs4920037, *MTHFR* rs1801131, rs1801133, *NOS3* rs1800779 и *VDR* rs2228570 определяли при помощи методов ПЦР-ПДРФ анализа и Реал-Тайм ПЦР. Амплификацию изученных локусов проводили с помощью метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) синтеза ДНК на амплификаторе Real-Time CFX 96 (Bio-Rad, США) и Терцек (ДНК Технология, Россия). Перечень исследованных локусов и условий анализа – в табл. 1. Продукты реакции разделяли при помощи электрофореза в 7.5% полиакриламидном геле. Статистическая обработка данных: для анализа взаимосвязи ВУТ с социодемографическими параметрами был применен корреляционный анализ. Анализ ассоциаций с ВУТ по исследованным аллельным вариантам генов проводился с использованием двустороннего точного теста Фишера с пороговым уровнем значимости p value <0.05. Анализ соответствия исследованных частот генотипов равновесию Харди – Вайнберга в группе сравнения (НУУТ) проводили методом χ^2 .

Таблица 1

Перечень исследованных локусов, условия амплификации, праймеры и ферменты для ПЦР, ПЦР-ПДРФ анализа, наборы для Real-Time PCR

[The list of studied loci, amplification conditions, primers and enzymes for PCR, PCR-PDF analysis, kits for Real-Time PCR]

Ген	SNP	Праймеры	Фермент	Т о	Фрагменты
<i>COMT</i>	rs4633	F_ТТATCGGCTGGAACGAGTTC AT;R_GGGTGATAACAGCTTCT CCTGT	BstBAI	65°	C/C:191+83;C/T:274+19 1+83;T/T: 274
<i>COMT</i>	rs4680	F: CCAACCCTGCACAGGCAAG AT;R: CAAGGGTGACCTGGAAC AGCG	-	63°	K+ - 626 bp (контроль ПЦР);G - 451 bp; A - 222 bp
<i>APOE</i>	rs429358	F_AGACGCGGGCACGGCTGTC CAAGGA3';R_CCCTCGCGAGC CCCGGCCTGGTACAC 3'	Cys130Ar g	69°	91(E3)+85(E2)+76(E4)+ 38 (нет при E2)+29+23 E2 (rs429358-T,rs7412- T);E3 (rs429358- T,rs7412-C);E4 (rs429358-C, rs7412-C)
<i>APOE</i>	rs7412	F_AGACGCGGGCACGGCTGTC CAAGGA3';R_CCCTCGCGAGC CCCGGCCTGGTACAC 3'	Cys130Ar g	69°	
<i>CBS</i>	rs234706	F_CACACGGAATGCACATGTA GAAA R_GAAGCTCTCATGGCACTTAT TGTT	Bst4CI	65°	C/C:276+94;C/T: 370+276+94; T/T :370
<i>CBS</i>	rs4920037	F_GAGATGTGTACACTCCCAG GCA R_CTGGCGGCTGAAGAACGAA ATC	Fail	50°	C/C: 155+137;C/T: 155+137+100+37;T/T: 155+100+37
<i>MTHFR</i>	rs1801131, rs1801133	D-3803 РиалБест-Генетика Гемостаза (Вектор Бест, Россия)	Метод Реал-Тайм ПЦР		
<i>NOS3/eNOS</i>	rs1800779	F_AGTCTGGCCAACACAAATC CTC R_ACTACAGTTCCCAGAATGC AGGT	BccI	37°	G/G: 196+83 G/A: 279+196+83 A/A: 279
<i>VDR</i>	rs2228570	Набор реагентов для определения полиморфизма Met/Thy гена VDR (Синтол, Россия)	Метод Реал-Тайм ПЦР		

Примечание: SNP – (Single nucleotide polymorphism) – однонуклеотидный полиморфизм; Т о – температура отжига праймеров.

Результаты

Перед проведением анализа ассоциаций генов-кандидатов с повышенной тревожностью был произведен анализ взаимосвязи уровня тревожности с основными параметрами выборки. В нашем исследовании не было выявлено статистически значимых отличий между двумя группами по таким показателям, как пол, возраст, ИМТ, курение или употребление алкоголя. Далее был произведен анализ соответствия распределения частот аллелей и генотипов равновесию Харди – Вайнберга в группах ВУТ и НУУТ. Частоты генотипов для всех исследованных вариантов генов в группе сравнения находились в соответствии с равновесием, кроме *MTHFR* rs1801131 (табл. 2).

Таблица 2

Результаты двустороннего точного теста Фишера исследованных полиморфных локусов и тест Харди – Вайнберга для генотипов в контрольной группе

[The results of the two-way accurate Fisher test of the studied polymorphic loci and the Hardy-Weinberg test for genotypes in the control group]

Ген	rs ID	Генотип	НУУТ	ВУТ	OR	p-value	n = 70	HWE	χ^2	p
<i>COMT</i>	rs4633	C/C	14	8	1.28	0.641	0.200	0.190	0.07	0,8
	rs4633	C/T	33	29	0.62	0.263	0.471	0.492		
	rs4633	T/T	23	12	1.51	0.414	0.329	0.318		
<i>COMT</i>	rs4680	A/A	21	11	1.48	0.406	0.300	0.250	1.23	0.27
	rs4680	A/G	28	27	0.54	0.135	0.400	0.500		
	rs4680	G/G	21	11	1.48	0.406	0.300	0.250		
<i>APOE</i>	rs7412	C/C	64	39	2.74	0.099	0.914	0.889	3.37	0.07
	rs7412	C/T	4	10	0.24	0.02	0.057	0.108		
	rs7412	T/T	2	0	inf	0.511	0.029	0.003		
	rs429358	T/T	49	41	2.15	0.642	0.700	0.687	0.32	0.57
	rs429358	C/T	18	7	2.08	0.172	0.257	0.284		
	rs429358	C/C	3	1	0.46	0.128	0.043	0.029		
<i>APOE</i>	rs7412/rs429358	e2/e2	1	0	inf	1	-	-	-	-
		e2/e3	3	8	0.23	0.049	-	-	-	-
		e3/e3	46	35	0.77	0.554	-	-	-	-
		e3/e4	19	5	3.28	0.035	-	-	-	-
		e4/e4	1	1	0.7	1	-	-	-	-
<i>CBS</i>	rs234706	G/G	35	20	1.45	0.355	0.500	0.520	0.27	0.6
	rs234706	G/A	31	26	0.7	0.359	0.443	0.402		
	rs234706	A/A	4	3	0.93	1	0.057	0.078		
<i>CBS</i>	rs4920037	G/G	49	25	2.24	0.054	0.700	0.710	0.36	0.55
	rs4920037	G/A	20	18	0.69	0.425	0.286	0.265		
	rs4920037	A/A	1	6	0.1	0.019	0.014	0.025		
<i>MTHFR</i>	rs1801131	T/T	32	23	0.95	1	0.457	0.451	0.01	0.92
	rs1801131	G/T	30	23	0.85	0.71	0.429	0.441		
	rs1801131	G/G	8	3	1.98	0.522	0.114	0.108		
	rs1801133	G/G	30	29	0.52	0.095	0.429	0.413	0.13	0.71
	rs1801133	G/A	30	18	1.29	0.571	0.429	0.459		
	rs1801133	A/A	10	2	3.92	0.119	0.143	0.128		
<i>NOS3</i>	rs1800779	A/A	20	26	0.35	0.008	0.286	0.327	1.09	0.3
	rs1800779	A/G	40	16	2.75	0.01	0.571	0.490		
	rs1800779	G/G	10	7	1	1	0.143	0.184		
<i>VDR</i>	rs2228570	G/G	13	18	0.39	0.034	0.186	0.243	1.85	0.2

Примечание: НУУТ – нормальный и умеренный уровень тревожности; ВУТ – высокий уровень тревожности; OR – отношение шансов; p-value – значение p для двустороннего точного теста Фишера; HWE – частота генотипа по равновесию Харди – Вайнберга; χ^2 – значение хи-квадрат для теста Харди – Вайнберга; p – значение p-value для теста Харди – Вайнберга.

Распределение частот аллелей вариантов генов
[Frequency distribution of allele variants of genes]

Ген	rs ID	Аллели	MAF (European ALFA project):	Частота аллеля в данном исследовании
<i>COMT</i>	rs4680	G>A	A=0.48	0.55
	rs4633	C>T	T=0.49	0.50
<i>APOE</i>	rs7412	C>T	T=0.08	0.075
	rs429358	T>C	C=0.07	0.13
<i>CBS</i>	rs234706	G>A	A=0.33	0.29
	rs4920037	G>A	A=0.22	0.21
<i>MTHFR</i>	rs1801131	T>G	G=0.30	0.31
	rs1801133	G>A	A=0.34	0.30
<i>NOS3</i>	rs1800779	G>A	G=0.34	0.37
<i>VDR</i>	rs2228570	A>G	A=0.38	0.46

Примечание: MAF – частота минорного аллеля.

Статистически значимые различия по распределению частот генотипов исследованных вариантов в группе ВУТ по сравнению с НУУТ были выявлены для следующих вариантов при p value <0.05: *APOE* rs7412 C/T ($p = 0.02$), *APOE* e2/e3 ($p = 0.04$), *APOE* e3/e4 ($p = 0.035$), *CBS* rs4920037 A/A ($p = 0.019$), *NOS3* rs1800779A/A ($p = 0.008$), *NOS3* rs1800779A/G ($p = 0.01$), *VDR* rs2228570 G/G ($p = 0.034$). Таким образом, в группе ВУТ были значимо повышены варианты *APOE* rs7412 C/T, e2/e3, *CBS* rs4920037 A/A, *NOS3* rs1800779A/A, *VDR* rs2228570 G/G, а *NOS3* rs1800779A/G, *APOE* e3/e4 были повышены в группы НУУТ (табл. 2). Полученные нами данные согласуются с результатами некоторых исследователей. Показана ассоциация *APOE* rs7412 C/T с симптомами тревоги в бразильской популяции [de Moraes et al., 2022]. Вариант гена *VDR* rs2228570 G/G связан с плохим качеством сна [Menezes-Júnior et al., 2024], что косвенно может указывать на повышенную тревожность. Как показало исследование [Nasyrova et al., 2020], генотип A/A rs1800779 *NOS3* -922 T>G снижает активность фермента эндотелиальной синтазы оксида азота, что может иметь значение в этиологии тревожности. Эти данные подчеркивают значимость комплексного подхода к оценке факторов, влияющих на психическое здоровье. По гену *COMT* полученные нами данные не совпадают с результатами работы Е.В. Булычевой [Булычева, 2022], что может объясняться разными возрастными категориями. В нашей работе при сравнении частот генотипов вариантов *CBS* rs234706, *MTHFR* rs1801131, *MTHFR* rs1801133, *COMT* rs4633, *COMT* rs4680 не было выявлено статистически значимых различий между группами ВУТ и НУУТ. Ограничением нашего исследования является небольшой размер выборки. Требуются дополнительные исследования с большим количеством участников. В российской литературе большинство исследований, посвященных изучению генетических аспектов тревожности, сфокусировано на анализе вариантов генов дофаминовой и серотониновых систем. Нам не удалось найти других работ, посвященных тревожности по генам, представленным в нашем исследовании. Таким образом, изучение вклада генов обмена веществ в повышенной тревожности в российской литературе проведено впервые.

Заключение

Этиологию повышенной тревожности, как и большинства психических расстройств, можно рассматривать как взаимодействие между генетическими факторами риска и факторами окружающей среды. Изучение роли генетических аспектов в формировании тревожности может способствовать более глубокому пониманию ее патогенеза, терапии и профилактики. В данном исследовании внимание было сосредоточено на генах обмена веществ, что расширяет спектр возможных молекулярно-биологических причин формирования данного нарушения. Обнаруженная ассоциация с генами, регулирующими метаболизм витамина D, синтез оксида азота и метаболизм липопротеинов, говорит о том, что в развитие патологической тревоги могут вносить вклад не только гены нейромедиаторного обмена, но и гены обмена веществ. Тем не менее, их роль остается недостаточно изученной. Необходимы исследования, учитывающие эпигенетические, средовые и межэтнические факторы с большей выборкой. Полученные данные могут быть использованы в клинической и фармакологической практике для выявления новых возможных мишеней воздействия при терапии и профилактике.

Список источников

1. Булычева Е.В. Особенности когнитивных и некогнитивных показателей психического здоровья, ассоциированных с полиморфизмом VAL158MET гена COMT, у школьников подросткового возраста // Профилактическая медицина. 2022. № 25(2). С. 42–48. DOI: 10.17116/profmed20222502142. EDN: KQGNLY.
2. Сергеева А.М. Современные исследования тревожности в России // Проблемы теории и практики современной психологии: материалы XXII Всерос. конф. Иркутск, 2023. С. 186–190. EDN: JTQAUB.
3. Холщевников О.Г. Факторы, влияющие на развитие тревожных состояний // Достижения науки и образования. 2024. № 6(97). С. 31–36. EDN: FSMUOA.
4. Borges-Vieira J.G., Cardoso C.S. Efficacy of B-vitamins and vitamin D therapy in improving depressive and anxiety disorders: a systematic review of randomized controlled trials // Nutr. Neurosci. 2023. Vol. 26, № 3. P. 187–207. DOI: 10.1080/1028415X.2022.2031494. EDN: BZJSYK.
5. Chubar V. et al. Gene-environment interaction: New insights into perceived parenting and social anxiety among adolescents // Eur. Psychiatry. 2020. Vol. 63, № 1. Art. E64. DOI: 10.1192/j.eurpsy.2020.62.
6. de Moraes I.F. et al. Depression and Anxiety Symptoms in Older Adults: A Joint Association Study of Candidate Genes // J. Dep. Anxiety. 2022. Vol. 11. P. 486. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1979357/v1. EDN: SXOKZC.
7. Garakani A. et al. Pharmacotherapy of anxiety disorders: current and emerging treatment options // Front. Psychiatry. 2020. Vol. 11. Art. 595584. DOI: 10.3389/fpsy.2020.595584.
8. Jankovic T. et al. The role of nitric oxide and hormone signaling in chronic stress, anxiety, depression, and post-traumatic stress disorder // Mol. Cell Endocrinol. 2024. Vol. 590. Art. 112266. DOI: 10.1016/j.mce.2024.112266. EDN: WDEMLO.
9. Kalin N.H. Anxiety, depression, and suicide in youth // Am. J. Psychiatry. 2021. Vol. 178(4). P. 275–279. DOI: 10.1176/appi.ajp.2020.21020186. EDN: WZNZFU.
10. Menezes-Júnior L.A. et al. The role of interaction between vitamin D and VDR FokI gene polymorphism (rs2228570) in sleep quality of adults // Sci. Rep. 2024. Vol. 14, № 1. Art. 8141. DOI: 10.1038/s41598-024-58561-2. EDN: KBWZDB.
11. Nasyrova R.F. et al. Genetic Factors of Nitric Oxide's System in Psychoneurologic Disorders // Int. J. Mol. Sci. 2020. Vol. 21, № 5. Art. 1604. DOI: 10.3390/ijms21051604. EDN: TXGZJG.
12. Ohi K. et al. Shared genetic etiology between anxiety disorders and psychiatric and related intermediate phenotypes // Psychol. Med. 2020. Vol. 50, № 4. P. 692–704. DOI: 10.1017/S003329171900059X. EDN: QVKWAG.
13. Patel P., Masurkar A.V. The Relationship of Anxiety with Alzheimer's Disease: A Narrative Review // Curr Alzheimer Res. 2021. Vol. 18(5). P. 359–371. DOI: 10.2174/1567205018666210823095603. EDN: HVTSRD.
14. WHO. Mental Health and COVID-19: Early evidence of the pandemic's impact [Электронный ресурс]. URL: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Mental_health-2022.1 (дата обращения: 02.03.2025).
15. Xie F. et al. Effect of vitamin D supplementation on the incidence and prognosis of depression: An updated meta-analysis based on randomized controlled trials // Front. Public Health. 2022. Vol. 10. Art. 903547. DOI: 10.3389/fpubh.2022.903547. EDN: TQEWTV.
16. Xu C. et al. APOE Gene Associated with Dementia-Related Traits, Depression, and Anxiety in the Hispanic Population // Genes (Basel). 2023. Vol. 14, № 7. Art. 1405. DOI: 10.3390/genes14071405. EDN: PFTVXX.

References

1. Bulycheva E.V. [Features of Cognitive and Non-Cognitive Indicators of Mental Health Associated with the VAL158MET Polymorphism of the COMT Gene in Adolescents]. *Profilaktičeskaja medicina*. No. 25(2) (2022); pp. 42-48. (In Russ.). DOI: 10.17116/profmed20222502142. EDN: KQGNLY.
2. Sergeeva A.M. [Modern Research on Anxiety in Russia]. *Problemy teorii i praktiki sovremennoj psixologii* [Problems of Theory and Practice of Modern Psychology: Proceedings of the XXII All-Russian Conference]. Irkutsk, 2023, pp. 186-190. (In Russ.). EDN: JTQAUB.
3. Kholshchevnikov O.G. [Factors Influencing the Development of Anxiety States]. *Dostiženija nauki i obrazovanija*. No. 6 (97) (2024); pp. 31-36. (In Russ.). EDN: FSMUOA.
4. Borges-Vieira J.G., Cardoso C.S. Efficacy of B-vitamins and vitamin D therapy in improving depressive and anxiety disorders: a systematic review of randomized controlled trials. *Nutr. Neurosci.* V. 26, No. 3 (2023): pp. 187-207. DOI: 10.1080/1028415X.2022.2031494. EDN: BZJSYK.
5. Chubar V. et al. Gene-environment interaction: New insights into perceived parenting and social anxiety among adolescents. *Eur. Psychiatry*. V. 63, No. 1 (2020). Art. E64. DOI: 10.1192/j.eurpsy.2020.62. EDN: MLYAUB.
6. de Moraes I.F. et al. Depression and Anxiety Symptoms in Older Adults: A Joint Association Study of Candidate Genes. *J. Dep. Anxiety*, V. 11 (2022); p. 486. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1979357/v1. EDN: SXOKZC.

7. Garakani A. et al. Pharmacotherapy of anxiety disorders: current and emerging treatment options. *Front. Psychiatry*. V. 11 (2020). Art. 595584. DOI: 10.3389/fpsy.2020.595584.
8. Jankovic T. et al. The role of nitric oxide and hormone signaling in chronic stress, anxiety, depression, and post-traumatic stress disorder. *Mol. Cell Endocrinol*. V. 590 (2024). Art. 112266. DOI: 10.1016/j.mce.2024.112266. EDN: WDEMLO.
9. Kalin N.H. Anxiety, depression, and suicide in youth. *Am. J. Psychiatry*. V. 178(4) (2021): pp.275-279. DOI: 10.1176/appi.ajp.2020.21020186. EDN: WZNZFU.
10. Menezes-Júnior L.A. et al. The role of interaction between vitamin D and VDR FokI gene polymorphism (rs2228570) in sleep quality of adults. *Sci. Rep.* V. 14, No. 1 (2024). Art. 8141. DOI: 10.1038/s41598-024-58561-2. EDN: KBWZDB.
11. Nasyrova R.F. et al. Genetic Factors of Nitric Oxide's System in Psychoneurologic Disorders. *Int. J. Mol. Sci.* V. 21, No. 5 (2020). Art. 1604. DOI: 10.3390/ijms21051604. EDN: TXGZJG.
12. Ohi K. et al. Shared genetic etiology between anxiety disorders and psychiatric and related intermediate phenotypes. *Psychol. Med.* V. 50, No. 4 (2020): pp. 692-704. DOI: 10.1017/S003329171900059X. EDN: QVKWAG.
13. Patel P., Masurkar A.V. The Relationship of Anxiety with Alzheimer's Disease: A Narrative Review. *Curr Alzheimer Res.* V. 18(5) (2021): pp. 359-371. DOI: 10.2174/1567205018666210823095603. EDN: HVTSRD.
14. WHO. Mental Health and COVID-19: Early evidence of the pandemic's impact. Available at: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Mental_health-2022.1 (accessed 02.03.2025).
15. Xie F. et al. Effect of vitamin D supplementation on the incidence and prognosis of depression: An updated meta-analysis based on randomized controlled trials. *Front. Public Health.* V. 10 (2022). Art. 903547. DOI: 10.3389/fpubh.2022.903547. EDN: TQEWTV.
16. Xu C. et al. APOE Gene Associated with Dementia-Related Traits, Depression, and Anxiety in the Hispanic Population. *Genes (Basel)*. V. 14, No. 7 (2023), Art. 1405. DOI: 10.3390/genes14071405. EDN: PFTVXX.

Статья поступила в редакцию 22.05.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 22.05.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

Юлия Сергеевна Новокович – novokovich@inbox.ru, коммерческий директор;
 Олег Сергеевич Глотов – oglotov@mail.ru, д-р биол. наук, директор по науке;
 Михаил Владимирович Асеев – micas@mail.ru, канд. биол. наук;
 Алексей Викторович Кусакин – kusakinax@gmail.com, биоинформатик;
 Дмитрий Евгеньевич Полев – brantoz@gmail.com, канд. биол. наук, главный биолог;
 Андрей Сергеевич Глотов – anglotov@mail.ru, д-р биол. наук, зав. отделом геномной медицины им. В.С. Баранова.

Information about the authors

Yuliya S. Novokovich – novokovich@inbox.ru, Commercial Director;
 Oleg S. Glotov – oglotov@mail.ru, Doctor of Biology, Director of Science;
 Mikhail V. Aseev – micas@mail.ru, Candidate of Biological Sciences;
 Alexey V. Kusakin – kusakinax@gmail.com, Bioinformatics;
 Dmitry E. Polev – brantoz@gmail.com, Candidate of Biological Sciences, Chief Biologist;
 Andrey S. Glotov – anglotov@mail.ru, Doctor of Biology, Head of the V.S. Baranov Department of Genomic Medicine.

Вклад авторов:

Новокович Ю. С. – концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы; лабораторная часть.
 Глотов О. С. – доработка текста; итоговые выводы; разработка методик.
 Асеев М. В. – доработка текста; итоговые выводы; разработка методик.
 Кусакин А. В. – статистическая обработка данных.
 Полев Д. Е. – лабораторная часть.
 Глотов А. С. – общее руководство; разработка методик.

Contribution of the authors:

Novokovich Yu. S. – research concept; writing the source text; final conclusions; laboratory part.
 Glotov O. S. – revision of the text; final conclusions; development of methodology.
 Aseev M. V. – revision of the text; final conclusions; development of methodology.
 Kusakin A. V. – statistical data processing.
 Polev D. E. – laboratory part.
 Glotov A. S. – general guidance; methodology development.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

ИММУНОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 571.27:618.2:612.112.91

EDN: MMBUEO

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-305-312



**Ассоциация показателей обмена ионов железа и
количественного соотношения разных популяций лейкоцитов
периферической крови при беременности**

Екатерина Григорьевна Орлова^{1, 2✉}, Ольга Леонидовна Горбунова³,
Нина Вячеславовна Каримова⁴

^{1,3} Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

^{2✉} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, orlova_katy@mail.ru

³ olia15_77@mail.ru

⁴ Централизованная клиничко-диагностическая лаборатория, Пермь, Россия, Karimova.n@ckdl.ru

Аннотация. Изучены показатели обмена ионов железа и количественный состав лейкоцитов периферической крови и красной крови у здоровых женщин в I триместре нормальной беременности. Установлено, что концентрация сывороточного ферритина имеет прямую взаимосвязь с количеством сывороточного железа, но обратную зависимость с процентным и абсолютным содержанием нейтрофилов и моноцитов, а также средней концентрацией гемоглобина в эритроцитах. Выявлена положительная корреляция между уровнем сывороточного железа и общим количеством лейкоцитов. Полученные результаты расширяют наше понимание взаимосвязи показателей метаболизма ионов железа с количественными характеристиками лейкоцитов периферической крови при физиологической беременности.

Ключевые слова: ферритин, ионы железа, лейкоциты периферической крови, беременность

Для цитирования: Орлова Е. Г., Горбунова О. Л., Каримова Н. В. Ассоциация показателей обмена ионов железа и количественного соотношения разных популяций лейкоцитов периферической крови при беременности // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 305–312. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-305-312>.

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 25-25-00388.

IMMUNOLOGY

Original article

**Association of iron ion metabolism and the quantitative ratio
of different populations of peripheral blood leukocytes
during pregnancy**

Ekaterina G. Orlova^{1, 2✉}, Olga L. Gorbunova³, Nina V. Karimova⁴

^{1,3} Perm Federal Research Center, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of the RAS, Perm, Russia

^{2✉} Perm State University, Perm, Russia, orlova_katy@mail.ru

³ olia15_77@mail.ru

⁴ Karimova.n@ckdl.ru

Abstract. The study examined the iron ion exchange parameters and the quantitative composition of peripheral blood leukocytes and red blood cells in healthy women during the first trimester of normal pregnancy. It was found that the serum ferritin concentration has a direct relationship with the serum iron concentration, but an inverse relationship with the percentage and absolute number of neutrophils and monocytes, as well as the average hemoglobin concentration in red blood cells. A positive correlation was found between serum iron levels and the total number of white blood cells. The obtained results expand our understanding of the relationship between iron ion metabolism indicators and the quantitative characteristics of peripheral blood leukocytes during physiological pregnancy.

Keywords: ferritin, iron ions, peripheral blood leukocytes, pregnancy

For citation: Orlova E. G., Gorbunova O. L., Karimova N. V. [Association of iron ion metabolism and the quantitative ratio of different populations of peripheral blood leukocytes during pregnancy]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 305-312. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-305-312>.

Acknowledgments: the work was carried out by Russian Science Foundation: N 25-25-00388.

Введение

При беременности иммунореактивность организма матери претерпевает существенные изменения, что необходимо для предотвращения отторжения полуаллогенного плода и сохранения беременности [Ширшев, 2009]. Основные изменения касаются снижения противомикробной резистентности организма беременной женщины в силу системного гормонально-зависимого угнетения цитотоксических реакций адаптивного иммунитета [Ширшев, Куклина, Баженова, 2008; Циркин и др., 2015]. Нейтрофилы являются ведущими эффекторами неспецифической резистентности организма. Беременность характеризуется развитием нейтрофильного лейкоцитоза, что отчасти компенсирует снижение антимикробной резистентности организма [Ширшев, Куклина, Баженова, 2008; Циркин и др., 2015]. Однако фагоцитарная и цитотоксическая активность нейтрофилов при беременности снижаются [Ширшев, Куклина, Баженова, 2008; Орлова и др., 2024]. Метаболизм ионов железа играет критическую роль в регуляции функций клеток иммунной системы, в том числе и нейтрофилов. Так, снижение концентрации ионов железа в плазме угнетает пролиферацию, дифференцировку и эффекторные функции нейтрофилов [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Нейтрофилы больных железодефицитной анемией характеризуются сниженной бактерицидной и фагоцитарной активностью, способностью к развитию окислительного взрыва, формированию внеклеточных ловушек [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Подобные изменения объясняются тем, что ионы железа входят в состав пероксидгенирующих и нитроксидгенирующих ферментов, а также миелопероксидазы и каталазы [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Функции митохондрий и активность ферментов дыхательной цепи также зависят от присутствия ионов железа [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Все вышесказанное свидетельствует о значимости изучения при беременности взаимосвязи показателей метаболизма ионов железа с количественными характеристиками лейкоцитов периферической крови, среди которых нейтрофилы являются доминирующей популяцией. Актуальность исследования подтверждается высокой распространенностью железодефицитных анемий среди беременных, что является тяжелым осложнением беременности [Юрасов и др., 2023].

Одним из ключевых факторов, характеризующих метаболизм ионов железа, является концентрация белка ферритина. Ферритин представляет собой водорастворимый гликопротеиновый комплекс, обладающий ферроксидазной активностью [Arosio, Elia, Poli, 2017]. Ферритин сосредоточен в цитоплазме клеток, где он связывает ионы железа. Макрофаги ретикулоэндотелиальной системы печени, селезенки, костного мозга содержат основные запасы внутриклеточного железа в организме. При снижении уровня железа в плазме происходит протеолиз ферритина и высвобождение железа [Arosio, Elia, Poli, 2017]. Высокие уровни ионов железа в плазме стимулируют синтез ферритина в гепатоцитах и запасы железа. У здоровых взрослых концентрация ферритина в сыворотке прямо коррелирует с количеством депонированного железа и характеризует запасы железа в организме [Arosio, Elia, Poli., 2017]. Помимо ретикулоэндотелиальной системы печени и селезенки ферритин присутствует практически во всех тканях организма, в том числе и в клетках иммунной системы [Arosio, Elia, Poli., 2017]. При железодефицитной анемии у беременных кроме снижения уровня гемоглобина и количества сывороточного железа снижаются уровень ферритина, количество и функциональная активность гранулоцитов [Терещенко, Пахмутова, 2012; Бобров, Репина, Клиценко, 2011]. Определение уровня ферритина важно для ранней диагностики и своевременной профилактики анемии, поскольку ферритин напрямую отражает запасы железа в организме [Матюшичев, Шамратова, 2005; Сидорко, Калмаханов, 2020].

Однако взаимосвязь уровня ферритина, ионов железа в периферической крови и количественных характеристик субпопуляций лейкоцитов при физиологической беременности не изучена. Поэтому цель данной работы изучить ассоциации показателей метаболизма ионов железа и количественных характеристик лейкоцитов периферической крови при физиологической беременности.

Материалы и методы исследования

Проведено ретроспективное исследование лабораторных показателей периферической крови 34 женщин, ранее проходивших обследования в рамках пренатального скрининга I триместра беременности в ООО «Централизованная клиничко-диагностическая лаборатория», г. Пермь. Средний возраст и срок беременности, представленные в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей Me(Q1-Q3), составили 29 лет (22–35) и 12 недель (9–12) соответственно. Объектом исследования являлась венозная кровь, которую получали из локтевой вены утром натощак в вакуумные пробирки с этилендиаминтетрауксусной

кислотой в качестве антикоагулянта после 8 ч голодания. Использовались следующие критерии включения: добровольное информированное согласие на использование биологического материала, отсутствие патологий беременности в прошлом и настоящем; отсутствие острых и хронических заболеваний; отсутствие лабораторных и клинических признаков анемии, отрицание диет, приема гормональных, противовоспалительных или антибактериальных препаратов. Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. с ее последующими изменениями или сопоставимым нормам этики и одобрено локальным этическим комитетом ИЭГМ УрО РАН (протокол № 16 от 05.06.2022).

В периферической крови были изучены показатели красной крови (количество эритроцитов, уровень гемоглобина, показатели насыщенности эритроцитов гемоглобином и анизоцитоза эритроцитов) субпулционный состав лейкоцитов на гематологическом анализаторе DxH800-Beckman Coulter. Уровень ферритина в сыворотке крови детектировали на анализаторе AU480-Beckman методом турбодиметрии. Концентрацию хорионического гонадотропина для верификации срока беременности определяли методом иммунохемилюминесцентного анализа на анализаторе AU480-Beckman. Уровень ионов железа в сыворотке крови изучали калориметрическим методом на анализаторе Beckman Coulter.

Статистический анализ проводили с помощью программы Prism v.8.0.1 (Graphpad, США). Для проверки нормальности распределения использовали критерий Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Поскольку данные не подчинялись закону нормального распределения, то были представлены в виде медианы (Me), нижних (LQ) и верхних квартилей (UQ). Корреляционные взаимосвязи анализировали с помощью корреляции Спирмена ($p < 0.05$). Анализ отличий между независимыми группами проводили с использованием *U*-критерия Манна – Уитни.

Результаты и обсуждение

В исследуемую группу были включены женщины в I триместре физиологической беременности, у которых по данным проведенных исследований отсутствовали клинические и лабораторные маркеры железодефицитной анемии. Количество эритроцитов, уровень гемоглобина, показатель анизоцитоза эритроцитов, концентрация сывороточного железа и ферритина были в пределах диапазона референсных значений для данного срока беременности (табл. 1). Анализ литературы показывает, что уровень ферритина в сыворотке крови снижается, пропорционально сроку беременности [Терещенко, Пахмутова, 2012; Юрасов и др., 2023]. А референсные значения для уровня ферритина в сыворотке крови в разные триместры беременности имеют большие различия, что, очевидно, обусловлено разным сроком беременности у обследуемых и методом детекции ферритина [Сидорко, Калмаханов 2005]. Большинство авторов считают нормой для женщин репродуктивного возраста и беременных концентрацию в пределах 15–150 нг/мл [Сидорко, Калмаханов 2005; Терещенко, Пахмутова, 2012; Юрасов и др., 2023]. В исследовании С.А. Боброва с соавторами показано, что у женщин репродуктивного возраста и здоровых беременных в I триместре нормальная концентрация сывороточного ферритина должна превышать 63.0 нг/мл [Бобров, Репина, Клиценко, 2011]. В исследованной нами группе на фоне отсутствия клинических и лабораторных маркеров железодефицитной анемии уровень ферритина в I триместре беременности варьировал от 27.2 до 53.7 нг/мл, а концентрация сывороточного железа составляла от 16.25 до 19.30 мкмоль/л (табл. 1). Оба показателя соответствовали диапазону референсных значений, при этом концентрация ферритина имела прямую положительную корреляцию с уровнем сывороточного железа, что подтверждает значимость определения сывороточного ферритина для оценки запасов железа в организме (табл. 1). Подобные взаимосвязи отмечены в работах многих авторов.

Таблица 1

Гематологические показатели женщин в I триместре физиологической беременности
[Hematological parameters in women during the first trimester of physiological pregnancy]

	Показатель	Me(Q1-Q3)	Референсные значения	Коэффициент корреляции Спирмена с концентрацией ферритина, <i>R</i>	Уровень значимости коэффициента корреляции Спирмена, <i>p</i>
1	Эритроциты, $10^{12}/л$	4.5 (4.1-4.8)	3.5-5.2	-0.25	0.27
2	Гемоглобин, г/л	127.0 (125.1-137.2)	120-152	0.04	0.87
3	Гематокрит, %	39.1 (36.8-41.1)	36.0-42.0	0.03	0.90
4	Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	28.7 (28.3-30.1)	27.0-34.0	-0.47	0.03
5	Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	338.2 (330.2-340.1)	320-370	-0.46	0.03

	Показатель	Me(Q1-Q3)	Референсные значения	Коэффициент корреляции Спирмена с концентрацией ферритина, R	Уровень значимости коэффициента корреляции Спирмена, p
6	Показатель анизоцитоза эритроцитов, %	13.4 (12.9-13.8)	11.5-14.5	0.13	0.59
7	Средний объем тромбоцита, фл	10.5 (9.1-10.6)	7.5-11.2	-0.02	0.94
8	Тромбоциты, 10 ⁹ /л	286 (251-301)	150-400	0.11	0.65
9	Лейкоциты, 10 ⁹ /л	6.86 (6.19-7.42)	4.37-9.68	-0.25	0.27
10	Нейтрофилы, %	57.4 (55.2-63.2)	42.5-73.2	-0.53	0.01
11	Нейтрофилы, 10 ⁹ /л	3.94 (3.42-4.69)	2.0-7.2	-0.53	0.01
12	Моноциты, %	7.30 (6.72-7.65)	4.3-11.0	-0.44	0.04
13	Моноциты, 10 ⁹ /л	0.50 (0.42-0.55)	0.3-0.7	-0.53	0.01
14	Лимфоциты, %	33.8 (26.9-36.4)	18.2-47.4	-0.41	0.06
15	Лимфоциты, 10 ⁹ /л	2.22 (1.95-2.25)	1.2-3.2	0.32	0.15
16	Эозинофилы, %	1.6 (1.24-2.07)	0.0-5.0	-0.03	0.91
17	Эозинофилы, 10 ⁹ /л	0.11 (0.08-0.16)	0-0.3	-0.09	0.69
18	Базофилы, %	0.45 (0.35-0.50)	0.0-1.0	-0.56	0.01
19	Базофилы, 10 ⁹ /л	0.03 (0.02-0.03)	0-0.1	-0.44	0.05
20	СОЭ, мм/ч	7.2 (3.1-10.3)	1-20	0.12	0.59
21	Железо, мкмоль/л	17.40 (16.25-19.30)	13.2-30.43	0.53	0.01
22	Ферритин, нг/мл	50.9 (27.2-53.7)	15-150	-	-

Примечание: данные представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей Me(Q1-Q3).

Изучение корреляционных взаимосвязей ферритина с показателями красной крови выявило следующие закономерности. Так, уровень ферритина имел обратную зависимость со средним объемом эритроцитов и содержанием гемоглобина в эритроците (табл. 1), тогда как достоверных взаимосвязей с общим уровнем гемоглобина выявлено не было. Отсутствие прямой зависимости между уровнем гемоглобина и ферритина отмечается многими авторами, поскольку уровень этих белков в периферической крови отражает разные физиологические процессы [Матюшичев, Шамратова, 2005; Сидорко, Калмаханов, 2020]. Количество ферритина в сыворотке крови показывает запасы железа во внутриклеточных депо организма, главным образом, в гепатоцитах, клетках селезенки, костного мозга, которые расходуются не только для синтеза гемоглобина. Поэтому уровень ферритина снижается уже в предлатентный период дефицита железа, когда истощаются запасы железа в депо, но поступление его для гемопоза не снижается, т. е. концентрация гемоглобина остается в пределах допустимых значений [Сидорко, Калмаханов, 2020]. Выявленные обратные ассоциации количества ферритина с содержанием гемоглобина в эритроцитах, по-видимому, объясняется взаимосвязью с интенсивностью расходования ионов железа на гемопоз. Можно полагать, что выявленная обратная корреляция отражает характерный для беременности процесс снижения концентрации ферритина из-за увеличения расходования ионов железа на фоне компенсаторного увеличения синтеза эритроцитов.

Изучение корреляционных взаимосвязей уровня ферритина с количеством лейкоцитов показывает обратную, но не достоверную зависимость с общим количеством лейкоцитов, а также достоверную обратную зависимость с относительным и абсолютным числом нейтрофилов, базофилов и моноцитов (табл. 1). Известно, что уровень лейкоцитов нарастает в динамике беременности за счет увеличения абсолютного количества нейтрофилов, а число моноцитов и лимфоцитов не меняется [Sanci, Töz, Ince, 2017; Ozel, Davutoglu, Yurtkal, 2020]. Можно полагать, что выявленная обратная зависимость между концентрацией ферритина и количеством нейтрофилов и моноцитов обусловлена интенсивным расходованием ионов железа для их образования и дифференцировки в костном мозге. Строгая зависимость гранулоцитопоза от уровня ионов железа показана в работах нескольких авторов [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Так, даже незначительное снижение концентрации ионов железа в плазме угнетало пролиферацию, дифференцировку и эффекторные функции нейтрофилов, но не лимфоцитов [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. В экспериментах на мышах индуцированная гипоферремия снижала дифференцировку и выход в кровоток нейтрофилов, присутствие нейтрофилов в селезенке и брюшной полости, а также их фагоцитарную активность [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Эти же авторы отмечают, что лимфопоз в значительно меньшей степени зависит от присутствия ионов железа [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022].

Поскольку в публикациях нескольких авторов показано, что уровень ферритина в 30 нг/мл является критичным для выявления снижения запасов ионов железа и диагностики предлатентной стадии железо-

дефицитной анемии [Сидорко, Калмаханов 2005; Бобров, Репина, Клиценко, 2011; Терещенко, Пахмутова, 2012; Юрасов и др., 2023], мы разделили исследуемую группу в соответствии с концентрацией ферритина. В первую группу были включены обследуемые, у которых концентрация ферритина была менее 30 нг/мл (n=19), а вторую группу составили обследуемые с концентрацией ферритина более 30 нг/мл (n=15) (табл. 2).

Таблица 2

**Гематологические показатели женщин в I триместре физиологической беременности
в зависимости от концентрации ферритина в сыворотке крови**
**[Hematological parameters of women in the first trimester of physiological pregnancy, depending
on the concentration of ferritin in the blood serum]**

	Показатель	Референсные значения	Концентрация ферритина меньше 30 нг/мл Ме(Q1-Q3)	Концентрация ферритина больше 30 нг/мл Ме(Q1-Q3)
			Группа А	Группа Б
1	Эритроциты, 10 ¹² /л	3.5-5.2	4.5 (4.1-4.7)	4.5 (4.0-4.8)
2	Гемоглобин, г/л	120-152	127.0 (125.1-137.2)	127.0 (123.2-133.2)
3	Гематокрит, %	36.0-42.0	39.1 (36.8-41.1)	39.0 (36.7-39.2)
4	Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	27.0-34.0	28.7 (28.3-30.1) <i>R=-0.47; p=0.03</i> <i>к уровню ферритина</i>	28.2 (27.3-29.1)
5	Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	320-370	338.2 (330.2-340.1) <i>R=-0.46; p=0.03</i> <i>к уровню ферритина</i>	338.0 (329.2-344.1)
6	Показатель анизоцитоза эритроцитов, %	11.5-14.5	13.4 (12.9-13.8)	13.4 (12.8-14.5)
7	Средний объем тромбоцита, фл	7.5-11.2	10.5 (9.1-10.6)	10.0 (7.9-10.5)
8	Тромбоциты, 10 ⁹ /л	150-400	286 (251-301)	275 (225-297)
9	Лейкоциты, 10 ⁹ /л	4.37-9.68	6.86 (6.19-7.42) <i>R=0.44; p=0.04</i> <i>к уровню ионов железа</i>	6.86 (5.59-7.93) <i>R=0.44; p=0.04</i> <i>к уровню ионов железа</i>
10	Нейтрофилы, %	42.5-73.2	57.4 (55.2-63.2) <i>R=-0.51; p=0.01</i> <i>к уровню ферритина</i>	57.4 (57.2-67.2)
11	Нейтрофилы, 10 ⁹ /л	2.0-7.2	3.94 (3.42-4.69) <i>R=-0.51; p=0.01</i> <i>к уровню ферритина</i>	3.94 (3.2-5.33)
12	Моноциты, %	4.3-11.0	7.30 (6.72-7.65)	7.30 (6.5-7.61)
13	Моноциты, 10 ⁹ /л	0.3-0.7	0.50 (0.42-0.55)	0.50 (0.38-0.65)
14	Лимфоциты, %	18.2-47.4	33.8 (26.9-36.4)	33.0 (32.3-37.1)
15	Лимфоциты, 10 ⁹ /л	1.2-3.2	2.22 (1.95-2.25)	2.20 (1.75-2.29)
16	Эозинофилы, %	0.0-5.0	1.6 (1.24-2.07)	1.6 (1.3-2.2)
17	Эозинофилы, 10 ⁹ /л	0-0.3	0.11 (0.08-0.16)	0.11 (0.08-0.17)
18	Базофилы, %	0.0-1.0	0.45 (0.35-0.50)	0.45 (0.32-0.52)
19	Базофилы, 10 ⁹ /л	0-0.1	0.03 (0.02-0.03)	0.03 (0.01-0.03)
20	СОЭ, мм/ч	1-20	6 (2-8)	11 (7-15.3) <i>p=0.04 к группе А</i> <i>R=0.53; p=0.01</i> <i>к уровню ферритина</i>
21	Железо, мкмоль/л	13.2-30.43	17.40 (16.25-19.30) <i>R=0.50; p=0.01</i> <i>к уровню ферритина</i>	27.5 (22.3-29.1) <i>p=0.02 к группе А</i> <i>R=0.53; p=0.01</i> <i>к уровню ферритина</i>
22	Ферритин, нг/мл	15-150	20.1 (17.2-33.7)	57.7 (36.6-83.9) <i>p=0.02 к группе А</i>

Примечание: данные представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей Ме(Q1-Q3). Анализ отличий между группами с уровнем ферритина менее 30 нг/мл (группа А) и более 30 нг/мл (группа Б) проводили с использованием *U*-критерия Манна – Уитни. Взаимосвязь показателей анализировали, рассчитывая коэффициент корреляции Спирмена (*R*).

Установлено, что выделенные по уровню ферритина группы не отличались по показателям красной крови, а также количеству и субпопуляционному составу лейкоцитов (табл.2). Однако были выявлены достоверные отличия по показателю СОЭ и уровню сывороточного железа между группами, хотя оба показателя находились в пределах референсных значений. Так, в группе с высоким уровнем ферритина (более 30 нг/мл) определялись достоверно большее количество сывороточного железа и более высокий показатель СОЭ (табл. 2) по сравнению с группой с низким уровнем ферритина (менее 30 нг/мл). Также в группе с высоким уровнем ферритина показана положительная корреляция показателя СОЭ с уровнем ферритина (табл. 2). Следует отметить, что физиологическое течение беременности характеризуется увеличением уровня СОЭ по причине увеличения содержания белков, главным образом относящихся к белкам острой фазы воспаления, к которым принадлежит и ферритин, поэтому выявленная взаимосвязь не является случайной. Однако все упомянутые показатели находились в пределах референсных значений, что свидетельствует об отсутствии воспалительных процессов.

В обеих группах выявлены прямые корреляции количества лейкоцитов с уровнем ионов железа, что играет важную роль ионов железа для синтеза лейкоцитов (табл. 2).

В группе с низким уровнем ферритина (менее 30 нг/мл) сохранились отрицательные корреляции ферритина с относительным и абсолютным содержанием нейтрофилов и моноцитов, и с количеством гемоглобина в эритроцитах, описанные нами ранее (табл. 1, 2), тогда как в группе с высоким уровнем ферритина эти корреляции присутствовали, но не были статистически достоверными, что, очевидно, связано с меньшим количеством участников в данной группе. Полученные результаты подтверждают описанные выше предположения о взаимосвязи снижения концентрации ферритина вследствие расходования запасов железа для синтеза эритроцитов и гранулоцитов при беременности. Можно полагать, что определение уровня ферритина при беременности значимо не только для контроля запасов ионов железа в организме, но и для прогнозирования гранулопоза.

Заключение

У женщин в I триместре физиологической беременности выявлена статистически значимая связь между основными показателями обмена ионов железа, показателями красной крови, общим содержанием лейкоцитов, а также относительным и абсолютным количеством нейтрофилов и моноцитов. Полученные результаты свидетельствуют о важной роли ионов железа и ферритина, отражающих запасы ионов железа в организме, в регуляции количественного и качественного состава лейкоцитов периферической крови при беременности. Выявленные ассоциации дополняют наше понимание механизмов регуляции функций клеток иммунной системы при беременности и перспективны для направленной модуляции их функций.

Список источников

1. Бобров С.А., Репина М.А., Клиценко О.А. Сывороточный ферритин как фактор прогноза развития железодефицитной анемии у беременных женщин // Журнал акушерства и женских болезней. 2011. Т. 60, № 3. С. 49–55. EDN: OFSQIX.
2. Матюшичев В.Б., Шамратова В.Г. Взаимосвязи показателей эритроцитов и лейкоцитов крови при железодефицитной анемии // Biological Communications. 2005. № 1. С. 93–97. EDN: RTSYVF.
3. Орлова Е.Г. и др. Метаболические особенности гранулоцитов периферической крови при физиологической беременности // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2024. Том 21, № 3. С. 233–241. EDN: FYWKOM.
4. Сидорко Т.Н., Калмаханов С.Б. Анемия беременных и ферритин: природа ничего не создает напрасно (Обзор литературы) // Вестник КазНМУ. 2020. № 2. С. 31–36. EDN: MIQQOD.
5. Терещенко С.Ю., Пахмутова О.А. К вопросу о нормативных значениях уровня сывороточного ферритина для диагностики железодефицитного состояния // Гематология и трансфузиология. 2012. Т. 57, № S3. С. 140. EDN: QOAGYK.
6. Циркин В.И. и др. Роль нейтрофилов в физиологическом течении беременности и родов и некоторых акушерских осложнениях // Вестник Уральской академической науки. 2015. № 4(55). С. 75–86. EDN: VKFDNH.
7. Ширшев С.В. Иммунология материнско-фетальных взаимодействий. Екатеринбург, 2009. 582 с.
8. Ширшев С.В., Куклина Е.М., Баженова А.В. Влияние прогестерона на фагоцитарную и окислительную активность моноцитов и нейтрофилов // Вестник Пермского университета. 2008. Вып. 9(25), Биология. С. 87–90.

9. Юрасов В.В. и др. Изучение связи концентрации железа с показателями ферритина и трансферрина в сыворотке крови // Молекулярная медицина. 2023. Т. 21, № 1. С. 37–42. DOI: 10.29296/24999490-2023-01-05

10. Arosio P., Elia L., Poli M. Ferritin, cellular iron storage and regulation // *IUBMB Life* 2017. Vol. 69. P. 414-422. DOI: 10.1002/iub.1621.

11. Frost J.N. et al. Plasma iron controls neutrophil production and function // *Sci. Adv.* 2022. Vol. 8(40). Art. eabq5384. DOI: 10.1126/SCIADV.ABQ5384.

12. Kuźmicka W. et al. Iron excess affects release of neutrophil extracellular traps and reactive oxygen species but does not influence other functions of neutrophils // *Immunol. Cell. Biol.* 2022. Vol. 100(2). P. 87–100. DOI: 10.1111/IMCB.12509.

13. Ozel A., Davutoglu E.A., Yurtkal A. How do platelet-to-lymphocyte ratio and neutrophil-to-lymphocyte ratio change in women with preterm premature rupture of membranes, and threaten preterm labour? // *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. 2020. Vol. 40(2). P. 195–199. DOI: 10.1080/01443615.2019.1621807.

14. Sancı M., Töz E., Ince O. Reference values for maternal total and differential leukocytes counts in different trimesters of pregnancy and the initial postpartum period in western Turkey // *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. 2017. Vol. 37(5). P. 571–575. DOI: 10.1080/01443615.2016.1268575.

References

1. Bobrov S.A., Repina M.A., Klicenko O.A. [Serum ferritin as a prognostic factor for the development of iron deficiency anemia in pregnant women]. *Žurnal akušerstva i ženskih boleznej*. V. 60, No. 3 (2011): pp. 49-55. (In Russ.). EDN: OFSQIX.

2. Matyushichev V.B., Shamratova V.G. [Interrelation of indicators of erythrocytes and leukocytes of blood in iron deficiency anemia]. *Biological Communications*. No. 1 (2005): pp. 93-97. (In Russ.). EDN: RTSYVF.

3. Orlova E.G., Loginova O.A., Gorbunova O.L., Shirshov S.V. [Metabolic features of peripheral blood granulocytes in physiological pregnancy]. *Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademičeskoj nauki*. V. 21, No. 3 (2024): pp. 233-241. (In Russ.). EDN: FYWKOM.

4. Sidorko T.N., Kalmakhanov S.B. [Anemia of pregnant women and ferritin: nature does not create anything in vain (Literature review)]. *Vestnik KazNMU*. No. 2 (2020): pp. 31-36. (In Russ.). EDN: MIQQOD.

5. Tereshchenko S.Yu., Pakhmutova O.A. [On the issue of the normative values of serum ferritin levels for the diagnosis of iron deficiency]. *Gematologija i transfuziologija*. V. 57, No. S3 (2012): p. 140. (In Russ.). EDN: QOAGYK.

6. Tsikin V.I., Anisimov K.Yu., Polezhaeva T.V., Zaitseva O.O., Khudyakov A.N., Solomina O.N., Khlybova S.V., Dmitrieva S.L., Popova V.S. [The role of neutrophils in the physiological course of pregnancy and childbirth and some obstetric complications]. *Vestnik Ural'skoj akademičeskoj nauki*. No. 4(55) (2015): pp. 75-86. (In Russ.). EDN: VKFDNH.

7. Shirshov S.V. *Immunologija materinsko-fetal'nyh vzaimodejstvij* [Immunology of maternal-fetal interactions]. Ekaterinburg, 2009. 582 p. (In Russ.).

8. Shirshov S.V., Kuklina E.M., Bazhenova A.V. [The effect of progesterone on the phagocytic and oxidative activity of monocytes and neutrophils]. *Vestnik Permskogo universiteta*. Iss. 9(25). *Biologiya* (2008): pp. 87-90. (In Russ.).

9. Yurasov V.V., Sadykov A.R., Morozova G.D., Namiot E.D., Logvinenko A.A., Skalny A.V. [Study of the relationship of iron concentration with the ferritin and transferrin in blood serum]. *Molekuljarnaja medicina*. No. 1 (2023): pp. 37-42. DOI: 10.29296/24999490-2023-01-05.

10. Arosio P., Elia L., Poli M. Ferritin, cellular iron storage and regulation. *IUBMB Life*. V. 69 (2017): pp. 414-422. DOI: 10.1002/iub.1621.

11. Frost J.N., Wideman S.K., Preston A.E., Teh M.R., Ai Z., Wang L., Cross A., White N., Yazicioglu Y., Bonadonna M., Clarke A.J., Armitage A.E., Galy B., Udalova I.A., Drakesmith H. Plasma iron controls neutrophil production and function. *Sci. Adv.* V. 8(40) (2022). Art. eabq5384. DOI: 10.1126/SCIADV.ABQ5384.

12. Kuźmicka W., Manda-Handzlik A., Mroczek A., Cieloch A., Moskalik A., Demkow U., Wachowska M., Ciepela O. Iron excess affects release of neutrophil extracellular traps and reactive oxygen species but does not influence other functions of neutrophils. *Immunol. Cell. Biol.* V. 100(2). (2022): pp. 87-100. DOI: 10.1111/imcb.12509.

13. Ozel A., Davutoglu E.A., Yurtkal A. How do platelet-to-lymphocyte ratio and neutrophil-to-lymphocyte ratio change in women with preterm premature rupture of membranes, and threaten preterm labour? *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. V. 40(2) (2020): pp. 195-199. DOI: 10.1080/01443615.2019.1621807.

14. Sancı M., Töz E., Ince O. Reference values for maternal total and differential leukocytes counts in different trimesters of pregnancy and the initial postpartum period in western Turkey. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. V. 37(5) (2017): pp. 571-575. DOI: 10.1080/01443615.2016.1268575.

Статья поступила в редакцию 05.09.2025; одобрена после рецензирования 12.09.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 05.09.2025; approved after reviewing 12.09.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

Е. Г. Орлова – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунорегуляции, доцент кафедры микробиологии и иммунологии;

О. Л. Горбунова – канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории иммунорегуляции;

Н. В. Каримова – руководитель Централизованной клинико-диагностической лаборатории.

Information about the authors

E. G. Orlova – doctor of biology, leading researcher of laboratory of immunoregulation, associate professor at the department of microbiology and immunology;

O. L. Gorbunova – candidate of biology, researcher of laboratory of immunoregulation;

H. V. Karimova – Head of the Centralized Clinical and Diagnostic Laboratory.

Вклад авторов:

Орлова Е. Г. – концепция исследования; написание статьи.

Горбунова О. Л. – оформление статьи; статистическая обработка результатов.

Каримова Н. В. – выполнение лабораторных исследований.

Contribution of the authors:

Orlova E. G. – research concept; writing of the review.

Gorbunova O. L. – the design of the article; statistical processing of results.

Karimova H. V. – performing laboratory tests.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

ИММУНОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 615.32:582.739:615.375

EDN: QIIGXJ

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-313-321



Исследование иммуотропных свойств сухих экстрактов клевера и цикория на фоне иммуносупрессии

А. А. Синеговец¹, И. В. Михайлова¹, А. И. Смолягин¹, Ю. В. Филиппова¹,
Н. А. Кузьмичева¹

¹Оренбургский государственный медицинский университет Минздрава России, Оренбург, Россия
Автор, ответственный за переписку: Ангелина Анатольевна Синеговец, a.a.sinegovets@yandex.ru

Аннотация. Проведена оценка влияния сухих экстрактов травы *Cichorium intybus* L. и травы *Trifolium pratense* L. на показатели клеточного и гуморального иммунитета, а также выраженности их антиоксидантных свойств при экспериментальной иммуносупрессии, вызванной метотрексатом. Врожденный иммунитет оценивали посредством определения активности перитонеальных макрофагов, адаптивный иммунитет – в реакциях антителообразования, гемагглютинации и гиперчувствительности замедленного типа при иммуносупрессивном воздействии метотрексата. Интенсивность процессов свободно-радикального окисления оценивали по активности антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы), и по концентрации продуктов перекисного окисления (тиобарбитуровой кислоты-активных продуктов и диеновых конъюгатов). Установлено, что на фоне иммуносупрессии сухие экстракты цикория и клевера способствовали восстановлению параметров врожденного иммунитета (фагоцитарная активность перитонеальных макрофагов) и адаптивного иммунитета (реакции антителообразования, гемагглютинации и гиперчувствительности замедленного типа), активации антиоксидантных ферментов и снижению уровня продуктов перекисного окисления. Влияние сухих экстрактов травы *Cichorium intybus* L. и травы *Trifolium pratense* L. сопоставимо действию препарата сравнения иммунала, а в условиях иммуносупрессивного действия метотрексата фитосубстанции приводили изученные параметры иммунной системы в пределы показателей интактной группы мышей. Данные фитопрепараты могут быть рассмотрены в качестве иммуномодулирующих растительных средств.

Ключевые слова: цикорий обыкновенный, клевер луговой, метотрексат, врожденный и адаптивный иммунитет, супероксиддисмутазы, каталаза, тиобарбитуровой кислоты активные продукты, диеновые конъюгаты

Для цитирования: Исследование иммуотропных свойств сухих экстрактов клевера и цикория на фоне иммуносупрессии / А. А. Синеговец, И. В. Михайлова, А. И. Смолягин, Ю. В. Филиппова, Н. А. Кузьмичева // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 313–321. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-313-321>.

IMMUNOLOGY

Original article

Study of immunotropic properties of dry extracts of clover and chicory against the background of immunosuppression

А. А. Sinegovets¹, I. V. Mikhailova¹, A. I. Smolyagin¹, Yu. V. Filippova¹,
N. A. Kuzmicheva¹

¹Orenburg state medical university of the Ministry of Health, Orenburg, Russia
Corresponding author: Angelina A. Sinegovets, a.a.sinegovets@yandex.ru

Abstract. The effect of dry extracts of the herb *Cichorium intybus* L. and the herb *Trifolium pratense* L. was evaluated. Effects on cellular and humoral immunity, as well as the severity of their antioxidant properties in experimental immunosuppression caused by methotrexate. Innate immunity was assessed by measuring the activity of peritoneal macrophages, while adaptive immunity was evaluated through antibody formation, hemagglutination, and delayed-type hypersensitivity reactions under methotrexate-induced immunosuppressive conditions. The intensity of free radical oxidation processes was evaluated by the activity of antioxidant enzymes (su-

peroxide dismutase and catalase) and the concentration of lipid peroxidation products (thiobarbituric acid–reactive substances and diene conjugates). It was found that under immunosuppression, dry extracts of chicory and clover contributed to the restoration of innate immunity parameters (phagocytic activity of peritoneal macrophages) and adaptive immunity (antibody formation, hemagglutination, and delayed-type hypersensitivity reactions), activation of antioxidant enzymes, and reduction in lipid peroxidation products. The effects of dry extracts of *Cichorium intybus* L. and *Trifolium pratense* L. were comparable to those of the reference drug Immunal. Under methotrexate-induced immunosuppression, the phytochemicals restored the studied immune system parameters to levels observed in the intact mouse group. These phytopreparations may be considered as plant-based immunomodulatory agents.

Keywords: common chicory, meadow clover, methotrexate, innate and adaptive immunity, superoxide dismutase, catalase, thiobarbituric acid–reactive substances, diene conjugates

For citation: Sinegovets A. A., Mikhailova I. V., Smolyagin A. I., Filippova Yu. V., Kuzmicheva N. A. [Study of immunotropic properties of dry extracts of clover and chicory against the background of immunosuppression]. *Bulletin of Perm University. Biology.* Iss. 3 (2025): pp. 313-321. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-313-321>.

Введение

В настоящее время для коррекции иммунодефицитных состояний идет активный поиск новых средств как синтетического, так и природного происхождения, действующих на основные компоненты иммунной системы, причем особенно перспективным является использование средств природного происхождения. Следует отметить, что многочисленные исследования последних лет демонстрируют, что в основе развития различных заболеваний лежит одно и то же явление, заключающееся в повреждении клеточных оболочек и структур внутри клетки свободными радикалами кислорода [Лушак, 2007]. В данном контексте перспективными являются лекарственные средства, содержащие фенольные соединения, включающие флавоноиды, фенольные кислоты, кумарины, танины и др. [Масная и др., 2013]. Данные соединения проявляя низкую токсичность, оказывают антиоксидантное действие и модифицирующее влияние на структуру биологических мембран лимфоцитов, обеспечивая усиление их пролиферативного потенциала и функции [Зверев и др., 2017].

Среди природных источников фенольных соединений особый интерес представляют клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) и цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), широко распространенные на территории Российской Федерации [Кароматов, Абдулхаков, 2016]. Благодаря богатому комплексу биологически активных веществ (БАВ) данные лекарственные растения оказывают широкий терапевтический спектр фармакологических эффектов, таких как антиоксидантный, антирадикальный, гиполипидемический, антисклеротический, противоопухолевый, противовоспалительный, ранозаживляющий, антимикробный, антиаллергический и другие [Новиков и др., 2010; Сайбель и др., 2016]. В связи с этим актуальным является оценка иммунопротекторного и антиоксидантного действия сухих экстрактов клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) и цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) в отношении параметров врожденного и адаптивного иммунитета при метотрексат-индуцированной иммуносупрессии.

Цель исследования – оценка влияния сухих экстрактов травы *Cichorium intybus* L. и травы *Trifolium pratense* L. на показатели клеточного и гуморального иммунитета, а также выраженности их антиоксидантных свойств при экспериментальной иммуносупрессии, вызванной метотрексатом.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовались сухие экстракты, полученные методом перколяции с применением этилового спирта, цикория травы (СЭЦТ) [Патент РФ № 2828665] и клевера травы (СЭКТ) [Патент РФ № 2803502].

Экспериментальные исследования были выполнены на 307 половозрелых беспородных белых мышак-самцах массой 25–30 г. Животных содержали в стандартных условиях вивария в соответствии с правилами обращения с лабораторными животными, установленными Директивой Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых в научных целях, а также Федеральным законом от 27.12.2018 г. № 498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (ред. от 27.12.2019). Действие исследуемых экстрактов было изучено на модели иммуносупрессии, индуцированной цитостатиком метотрексатом (МТХ) («Сандоз», Словения; лекарственная форма – раствор для инъекций) [Железнова, 2010]. СЭЦТ, СЭКТ и препарат сравнения «Иммунал» мыши получали через 1 ч, 24 ч и 48 ч после введения МТХ. Экспериментальные мыши были разделены на 8 групп: 1 группа – интактные мыши, получавшие воду очищенную; 2 группа – мыши, получавшие препарат сравнения «Иммунал» (ИММ) в дозировке 240 мг/кг, 3 группа – мыши, получавшие СЭЦТ в дозировке 50 мг/кг; 4 груп-

па – мыши, получавшие СЭКТ в дозировке 50 мг/кг; 5 группа – мыши, получавшие МТХ в дозировке 10 мг/кг; 6 группа – мыши, получавшие МТХ в дозировке 10 мг/кг и ИММ в дозировке 240 мг/кг; 7 группа – мыши, получавшие МТХ в дозировке 10 мг/кг и СЭЦТ в дозировке 50 мг/кг; 8 группа – мыши, получавшие МТХ в дозировке 10 мг/кг и СЭКТ в дозировке 50 мг/кг.

Изучение особенностей формирования клеточного иммунитета проводили на модели локальной реакции гиперчувствительности замедленного типа (ГЗТ) к эритроцитам барана (ЭБ). Для этого животным каждой группы проводили иммунизацию путем внутрибрюшинного введения 10% взвеси ЭБ. Через 4 суток после иммунизации вводили разрешающую дозу ЭБ в подошвенную поверхность стопы, в другую стопу вводили физиологический раствор. Тестирование реакции проводили через 24 ч путем измерения толщины стоп опытной и контрольной лапок [Волчегорский и др., 2000]. Гуморальный иммунный ответ исследовали путем определения прямых антителообразующих клеток (АОК) в селезенке иммунизированных животных по методу [Jerne, Nordin, 1963]. Результаты выражали в показателях, характеризующих относительное АОК на 1 млн спленоцитов и их абсолютное содержание на всю селезенку. Определение титра антител к ЭБ осуществляли с помощью реакции геммагломинации (РГА). Для этого сыворотку крови животных инактивировали при 56°C и затем раститровывали изотоническим раствором хлорида натрия. После раститровки в каждую лунку вносили 2.5% раствор ЭБ и инкубировали в термостате 1 ч при температуре 37°C. После окончания инкубации учитывали результаты РГА по характеру осадка эритроцитов. Полученные титры антител переводили в десятичные логарифмы [Волчегорский и др., 2000]. Количество лейкоцитов определяли в камере Горяева, лейкоформулу периферической крови изучали в мазках, окрашенных по Романовскому-Гимза, подсчитывая в каждой мазке не менее 200 клеток, определение фагоцитарной активности перитонеальных макрофагов проводили по методике [Волчегорский и др., 2000] посредством расчета фагоцитарного показателя (ФП) и фагоцитарного индекса (ФИ).

Определение концентрации тиобарбитуровой кислоты-активных продуктов (ТБКАП) было основано на образовании продуктами перекисного окисления липидов с тиобарбитуровой кислотой окрашенного комплекса (розовый), экстрагируемого бутанолом. Измерение оптической плотности проводили при длине волны 535 и 570 нм («Агат-Мед», Россия). Установление содержания диеновых конъюгатов (ДК) осуществляли спектрофотометрическим методом при длине волны 233 нм [Горина, 2019]. Об активности каталазы судили по способности преобразовывать субстрат (пероксид водорода) в реакции с солями молибдена. Интенсивность развивающейся окраски измеряли на спектрофотометре УФ-1200 («Shanghai Mapada Instruments Co., Ltd», Китай) при длине волны 410 нм [Королюк и др., 1988]. Активность супероксиддисмутазы (СОД) определяли по скорости аутоокисления адреналина в адренохром в щелочной среде. Скорость окисления адреналина оценивали по кинетике изменения оптической плотности при длине волны 347 нм [Сирота, 1999].

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью пакета Statistica 10 (StatSoft, USA), включая методы параметрического (критерий Стьюдента) и непараметрического (критерий Манна-Уитни) анализов. Результаты представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (25-й и 75-й процентиль), а также в виде среднеарифметического значения ($M \pm m$).

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенного эксперимента было выявлено, что использование СЭЦТ, СЭКТ, ИММ и цитостатика МТХ не вызывало гибели подопытных животных, что указывает на безопасность исследуемых средств. Исследование числа лейкоцитов и лейкоформулы у мышей всех групп не выявило достоверных отличий подавляющего большинства показателей по отношению к параметрам интактных мышей. Установлено только снижение уровня лейкоцитов и лимфоцитов ($4.0 \cdot 10^9 \pm 0.42$ и $51.14 \pm 5.9\%$) у мышей, получавших МТХ по сравнению с контролем ($7.2 \cdot 10^9 \pm 0.46$ и $81.5 \pm 2.21\%$).

Для оценки врожденного иммунитета было изучено влияние исследуемых веществ на фагоцитарную активность перитонеальных макрофагов (табл. 1). По сравнению с интактной группой животных было установлено, что ИММ, СЭЦТ и СЭКТ не изменяли фагоцитарный показатель и фагоцитарный индекс, тогда как в группе МТХ отмечалось достоверное снижение фагоцитарного показателя и фагоцитарного индекса. При совместном введении МТХ с ИММ, МТХ с СЭЦТ и МТХ с СЭКТ отмечалось достоверное повышение фагоцитарных показателей по сравнению с их уровнем у мышей, которым вводился только МТХ, кроме того, фагоцитарные показатели в данных группах были близки к параметрам интактных мышей. Таким образом, полученные результаты подтверждают иммунокорректирующие свойства сухих экстрактов клевера и цикория при совместном влиянии цитостатика по отношению одного из главных параметров врожденного иммунитета – фагоцитоза.

Результаты влияния фитоэкстрактов на клеточный и гуморальный иммунитет выявили, что по отношению к показателям контрольной группы введение иммунала увеличивало титр антител к ЭБ на 30%, относительное количество АОК на 24%, а применение СЭЦТ и СЭКТ значимо не изменяло исследуемые параметры (табл. 2).

Таблица 1

Влияние сухих экстрактов клевера и цикория на фагоцитарные показатели мышей при метотрексат-индуцированной иммуносупрессии

[Effect of dried extracts of clover and chicory on phagocytic parameters of mice with methotrexate-induced immunosuppression]

№ группы	Группа	n	Фагоцитарный показатель, %	Фагоцитарный индекс
1	ИНТ	12	31 [29; 36]	8.3 [7.3; 8.8]
2	ИММ	10	32 [27; 40]	8.0 [6.6; 8.5]
3	СЭЦТ	11	30 [26; 39]	7.3 [6.6; 8.4]
4	СЭКТ	11	32 [30; 33]	7.7 [7.0; 8.0]
5	МТХ	11	26* [25.5; 27.0]	5.9* [5.0; 6.5]
6	МТХ+ИММ	13	33^ [29; 37]	7.0^ [6.7; 7.4]
7	МТХ+СЭЦТ	11	30 [27; 32]	7.2^ [6.6; 8.7]
8	МТХ+СЭКТ	11	34^ [33; 35]	7.5^ [6.3; 8.0]

Примечание: здесь и в следующих таблицах: различия достоверны при $p \leq 0.05$: * – по сравнению с животными 1 группы; # – по сравнению с животными 2 группы; ^ – по сравнению с животными 5 группы.

Таблица 2

Влияние сухих экстрактов клевера и цикория на параметры клеточного и гуморального иммунитета при метотрексат-индуцированной иммуносупрессии

[The effect of dried extracts of clover and chicory on the parameters of cellular and humoral immunity in methotrexate-induced immunosuppression]

№ группы	Группа	Индекс реакции ГЗТ, %	Титр антител, lg	Число АОК на 10^6 спленоцитов	Абсолютное число АОК на селезенку
1	ИНТ	32 [30; 34] n=15	1.51 [1.51; 2.20] n=8	149 [130; 171] n=8	28583 [17471; 32503] n=8
2	ИММ	35 [29; 53] n=13	1.96 [1.51; 2.40] n=8	185 [162; 199] n=8	29214 [24936; 33066] n=8
3	СЭЦТ	36 [33; 43] n=13	1.96 [1.59; 2.10] n=8	163 [135; 175] n=8	28501 [24283; 32726] n=8
4	СЭКТ	35 [21; 53] n=13	1.82 [1.51; 2.10] n=8	152# [145; 164] n=8	30316 [27675; 32055] n=8
5	МТХ	18*# [17; 23] n=13	0.6 [0.6; 2.10] n=8	124# [104; 140] n=8	18968# [15933; 23774] n=8
6	МТХ+ИММ	25 [15; 43] n=13	0.90# [0.90; 1.82] n=8	136# [121; 146] n=8	22184# [18241; 24459] n=8
7	МТХ+СЭЦТ	27 [17; 45] n=13	1.20 [0.98; 1.43] n=8	127 [100; 144] n=8	23800 [22634; 26522] n=8
8	МТХ+СЭКТ	46*^ [37; 50] n=12	1.67 [1.50; 2.03] n=8	168 [155; 188] n=8	25485 [22652; 28706] n=8

Воздействие цитостатика МТХ приводило по сравнению с интактной группой животных к достоверному снижению индекса реакции ГЗТ, титра антител к ЭБ в 2.5 раза, относительного содержания АОК в 1.2 раза и абсолютного количества АОК на селезенку в 1.5 раза. Одновременное воздействие иммунала и МТХ приводило к достоверному снижению титра антител к ЭБ, относительного и абсолютного содержания АОК и уменьшению индекса реакции ГЗТ в 1.4 раза у мышей 6 группы (МТХ+ИММ) по сравнению с животными 2 группы (ИММ). Вместе с тем, использование иммунала совместно с МТХ (6 группа) уменьшало отрицательные сдвиги исследуемых показателей по сравнению с группой мышей, получавших только МТХ (5 группа).

Аналогичные тенденции изменений изучаемых параметров у мышей наблюдались при введении МТХ и СЭЦТ (7 группа), МТХ и СЭКТ (8 группа). Так при введении СЭЦТ и МТХ отмечалось снижение индекса ГЗТ, относительного и абсолютного количества АОК у мышей 7 группы по сравнению с животными 3 группы. Использование СЭЦТ совместно с МТХ (7 группа) уменьшало отрицательные сдвиги исследуемых показателей по сравнению с группой животных, получавших только МТХ (5 группа). При применении СЭКТ на фоне иммуносупрессии сохранялись те же тенденции изменений исследуемых параметров, как и при использовании СЭЦТ+МТХ.

Таким образом, при введении МТХ совместно с иммуналом, СЭЦТ и СЭКТ наблюдались односторонние сдвиги показателей клеточного и гуморального иммунитета, свидетельствующие об иммунокорректирующем действии данных препаратов на фоне иммуносупрессии, вызванной МТХ.

Для выяснения механизмов воздействия СЭЦТ и СЭКТ на фоне иммуносупрессии мышей, вызванной МТХ, была проведена оценка выраженности антиоксидантной активности изучаемых экстрактов через определение концентрации продуктов перекисного окисления липидов в сыворотке крови и активности ферментов антиоксидантной защиты. Установлено отсутствие значимых различий содержания ТБКАП и ДК у мышей при введении иммунала, СЭЦТ и СЭКТ (табл. 3).

Таблица 3

Влияние фитоэкстрактов клевера и цикория на интенсивность образования ТБКАП и ДК в сыворотке мышей при метотрексат-индуцированной иммуносупрессии
[Effect of clover and chicory phytoextracts on the intensity of TBCAP and DC formation in mouse serum during methotrexate-induced immunosuppression]

№ группы	Группа	n	ТБКАП, мкмоль/л	ДК, мкмоль/мл
1	ИНТ	6	4.92 [4.62; 5.03]	4.44 [3.39; 5.44]
2	ИММ	6	5.64 [5.18; 6.56]	4.54 [4.25; 5.78]
3	СЭЦТ	6	4.31 [3.79; 4.82]	4.48 [4.33; 4.23]
4	СЭКТ	6	4.18 [4.10; 4.74]	3.39 [3.10; 3.10]
5	МТХ	6	8.54* [7.82; 9.22]	8.74* [8.00; 9.48]
6	МТХ+ИММ	6	5.13^ [4.72; 5.69]	3.46^ [2.81; 4.69]
7	МТХ+СЭЦТ	6	5.01^ [4.51; 5.21]	3.43^ [2.96; 3.90]
8	МТХ+СЭКТ	6	4.74^ [4.41; 5.69]	3.28^ [2.92; 4.11]

Напротив, при введении мышам МТХ достоверно были увеличены концентрации ТБКАП и ДК в сыворотке крови. В то же время, применение ИММ, СЭЦТ и СЭКТ на фоне МТХ значимо снижало концентрации ТБКАП и ДК, что свидетельствовало о наличии у исследуемых фитосубстанций антиоксидантных свойств.

Для дальнейшего анализа выраженности антиоксидантных свойств изучаемых фитоэкстрактов на данной модели была исследована активность антиоксидантных ферментов. Полученные результаты показали отсутствие существенного влияния СЭЦТ, СЭКТ и ИММ на активность каталазы и СОД, по сравнению с параметрами интактной группы мышей (табл. 4).

Таблица 4

Влияние фитоэкстрактов клевера и цикория на активность каталазы и супероксиддисмутазы у мышей при метотрексат-индуцированной иммуносупрессии
[Effect of clover and chicory phytoextracts on catalase and superoxide dismutase activity in mice with methotrexate-induced immunosuppression]

№ группы	Группа	n	Каталаза, мкат/л	Супероксиддисмутаза, усл ед/г Нб
1	ИНТ	6	0.14 [0.11; 0.18]	55 [49; 62]
2	ИММ	6	0.18 [0.09; 0.30]	55 [40; 69]
3	СЭЦТ	6	0.20 [0.18; 0.22]	57 [37; 59]
4	СЭКТ	6	0.13 [0.07; 0.27]	49 [45; 58]
5	МТХ	6	0.04* [0.03; 0.05]	26* [25; 30]
6	МТХ+ИММ	6	0.19^ [0.13; 0.20]	48 [35; 54]
7	МТХ+СЭЦТ	6	0.19^ [0.07; 0.20]	56^ [44; 59]
8	МТХ+СЭКТ	6	0.18^ [0.16; 0.20]	55^ [46; 64]

В то же время выявлено достоверное снижение активности данных ферментов у мышей при введении МТХ. При совместном введении экспериментальным животным СЭЦТ, СЭКТ и ИММ на фоне влияния МТХ отмечалось значимое повышение уровня каталазы и СОД по сравнению с параметрами животных, получавших только МТХ, что говорит о способности фитоэкстрактов снижать негативное действие иммуносупрессора.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования влияния СЭЦТ и СЭКТ на клеточный и гуморальный иммунитет, а также их антиоксидантных свойств было установлено, что данные фитосубстанции в условиях иммуносупрессии, индуцированной МТХ, способствуют восстановлению таких параметров, как индекс реакции ГЗТ, титр антител и количество АОК, фагоцитарный индекс и фагоцитарный показатель до значений, сопоставимых с уровнем интактной группы животных, а также повышают активность антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы и каталазы и снижают концентрации продуктов перекисного окисления липидов (ТБКАП и ДК). Установленное уменьшение развития интенсивности реак-

ции ГЗТ при воздействии МТХ, может быть обусловлено тем, что формирование ГЗТ это тимусзависимый процесс и при влиянии цитостатика происходит уменьшение регуляторного влияния тимуса [Михайлова, 2014]. Как было показано нами ранее в условиях влияния МТХ имела место гипоплазия вилочковой железы, выражающаяся в снижении массы тимуса и количества тимоцитов [Михайлова и др., 2023]. Изменение гуморального иммунного ответа (уменьшение числа АОК в селезенке и титра антител), установленное у мышей, получавших МТХ, в ответ на Т-зависимый антиген, может быть связано с недостаточностью со стороны Т-хелперов, что в условиях Т-клеточного дефицита представляется весьма вероятным [Михайлова и др., 2024]. Иммуотропные эффекты изучаемых экстрактов клевера и цикория могут быть обусловлены тем, что фитопрепараты способны оказывать непосредственное воздействие на биомембраны клеток, влиять на их структурное состояние, повышать стабильность клеточных мембран, изменять их селективную проницаемость в отношении многих субстанций, оказывать влияние на активность клеточных ферментов [Зиновьев, 2003].

Эффективность действия СЭЦТ и СЭКТ может быть обусловлена совокупным влиянием БАВ, среди которых, вероятнее всего, ведущая роль принадлежит фенольным соединениям, механизм действия которых связан с выраженной антиоксидантной активностью. Многочисленные исследования, проведенные в основном *in vitro*, показывают, что фенольные соединения, в том числе флавоноиды, могут быть отнесены к неферментным антиоксидантам, способным прямо или косвенно ослаблять, или предупреждать клеточные повреждения, вызываемые свободными радикалами [Murphy, 2011]. При этом большое значение в механизме антиоксидантного действия флавоноидов имеет хелатирование металлов переменной валентности. Флавоноиды легко связывают ионы таких переходных металлов, как железо и медь, которые, инициируя перекисное окисление, способствуют образованию свободных радикалов. По мнению многих исследователей, хелатирование металлов является наиболее эффективным путем подавления процессов перекисного окисления флавоноидами [Шур, Шур, Самотруева, 2019]. Индуцируемый ионами переменной валентности оксидативный стресс ведет к массивному повреждению белков, липидов и особенно ядер клеток, где молекулы ДНК координатно связаны с различными переходными металлами [Halliwell, Gutteridge, 2015, Нотова, Маршинская, 2023]. Исходя из вышеизложенного, связывание переходных металлов, главным образом железа и меди, катализирующих образование свободных радикалов и за счет этого инициирующих оксидативный стресс, представляет собой важную антиоксидантную стратегию [Космачевская, 2024, Быкова, 2015].

Таким образом, особенностью антиоксидантного действия флавоноидов является их комплексный характер, не ограничивающийся повышением уровня антиоксидантных механизмов или нейтрализацией возникающих в результате свободнорадикального окисления токсичных соединений. Это действие осуществляется на разных уровнях, с включением разных структур, в том числе не связанных с прямым антиоксидантным действием.

Анализ полученных экспериментальных результатов позволяет сделать вывод о том, что СЭЦТ и СЭКТ могут быть использованы для дальнейшего изучения в качестве потенциальных лекарственных средств, обладающих иммуномодулирующими ресурсами. Установленные эффекты дают основания рассматривать данные фитосубстанции в качестве перспективных средств растительного происхождения, способных оказывать корректирующее влияние на функциональное состояние иммунной системы, что, в свою очередь, открывает возможности для их применения не только в составе комплексной терапии, направленной на восстановление иммунологической реактивности организма, но и в профилактических целях при различных формах иммунодефицитных состояний.

Список источников

1. Быкова А.А. Прогностическое значение динамики показателей оксидативного стресса у пациентов с острым коронарным синдромом: дис. ... канд. мед. наук. М., 2015. 124 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/prognosticheskoe-znachenie-dinamiki-pokazatelei-oksidativnogo-stressa-u-patsientov-s-ostryim-> (дата обращения: 28.08.2025).
2. Волчегорский И.А. и др. Экспериментальное моделирование и лабораторная оценка адаптивных реакций организма. Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2000. 167 с. EDN: MLPRZJ.
3. Горина Е.И. Воздействие бигуанидиновых производных на антиоксидантный статус крыс при гипергликемии, индуцированной стрептозоцином и протамин-сульфатом: дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2019. 177 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/vozdеistvie-biguanidinovykh-proizvodnykh-na-antioksidantnyi-status-krys-pri-giperгликемии> (дата обращения: 28.08.2025).
4. Железнова А.Д. Экспериментальное обоснование применения милиацина для коррекции иммуносупрессии, индуцированной метотрексатом: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Пермь, 2010. 22 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004611099> (дата обращения: 28.08.2025).
5. Зверев Я.Ф., Брюханов В.М. Флавоноиды как перспективные природные антиоксиданты // Бюллетень медицинской науки. 2017. № 1(5). С. 20–27. DOI: 10.31684/2541-8475.2017.1(5).20-27. EDN: ZQJAIL.

6. Зиновьев А.И. Роль адаптогенов в коррекции иммунной системы и критерии оценки их качества // Практическая фитотерапия. 2003. № 1. С. 13–17.
7. Кароматов И.Д., Абдулхаков И.У. Клевер луговой применение в медицине (обзор литературы) // Биология и интегративная медицина. 2016. № 5. С. 95–100. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kleвер-lugovoy-primenenie-v-medicine-obzor-literatury> (дата обращения: 30.01.2024). EDN: XGVEYB.
8. Королюк М.А. и др. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. 1988. № 1. С. 16–19. EDN: ZTCAGW.
9. Космачевская О.В. и др. Образование дополнительных металлсвязывающих центров в белках в стрессовых условиях // Успехи биологической химии. 2024. Т. 64. С. 349–396. URL: https://www.fbras.ru/wp-content/uploads/2024/02/10-Kosmachevskaya_et_al.pdf (дата обращения: 28.09.2025).
10. Лушак В.И. Свободнорадикальное окисление белков и его связь с функциональным состоянием организма // Биохимия. 2007. Т. 72, вып. 8. С. 995–1017. URL: <https://biochemistrymoscow.com/ru/archive/2007/72-08-0995/> (дата обращения: 24.08.2025). EDN: IBPPSR.
11. Масная Н.В. и др. Влияние полифенольных соединений, выделенных из *Carthamus tinctorius* и *Calendula officinalis* L., на функциональную активность иммунокомпетентных клеток в условиях цито-статической иммуносупрессии // Бюллетень сибирской медицины. 2013. Т. 12, № 3. С. 41–51. EDN: QZDKQT.
12. Михайлова И.В. Иммунологические аспекты комбинированного воздействия бихромата калия и бензола на организм (экспериментальное исследование): дис. ... д-ра биол. наук. Челябинск, 2014. 192 с.
13. Михайлова И.В. и др. Оценка иммунорегуляторных свойств сухого экстракта травы *Cichorium intybus* L. в системах *in vitro* и *in vivo* // Цитокины и воспаление. 2023. Т. 20, № 1. С. 25–31. DOI: 10.17816/CI2023231-4. EDN: HXJSZM. URL: <https://cijournal.ru/1684-7849/article/view/623749> (дата обращения: 28.08.2025).
14. Михайлова И.В. и др. Оценка иммуномодулирующего действия сухого экстракта травы *Trifolium pratense* L. // Вестник Биомедицина и Социология. 2024. Т. 9, № 2. С. 44–51. DOI: 10.26787/nydha-2618-8783-2024-9-2-44-51. EDN: ONVPRG.
15. Новиков О.О. и др. Изучение флавоноидного состава цветков клевера лугового // Научные ведомости. Сер. Естественные науки. 2010. № 21(92). С. 113–117. EDN: NDAVHP.
16. Нотова С.В., Маршинская О.В., Казакова Т.В. Роль микроэлементов в антиоксидантной системе защиты организма // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 1. С. 156–166. DOI: 10.33284/2658-3135-106-1-156. EDN: UQJMBH.
17. Патент № 2828665 Российская Федерация, МПК А61К 36/48 А61Р 37/02 А61Р 39/06 В01Д 11/02. Способ получения средства, обладающего антиоксидантной и иммуномодулирующей активностью, на основе травы *Trifolium pratense* L.: №2023131553 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 15.10.2024 / Михайлова И.В., Иванова Е.В., Синеговец А.А., Смолягин А.И., Кузьмичева Н.А.; заявитель ФГБОУ ВО «ОрГМУ» Минздрава РФ. 9 с.: ил. EDN: WXOJFJ.
18. Патент № 2803502 Российская Федерация, МПК А61К 36/28, А61Р 37/02, А61Р 39/06, В01Д 11/02. Способ получения средства, обладающего антиоксидантной и иммуномодулирующей активностью. №2022131332; заявл. 29.11.2022 : опубл. 14.09.2023 / Михайлова И.В., Иванова Е.В., Смолягин А.И., Бондаренко А.А., Синеговец А.А., Кузьмичева Н.А., Филиппова Ю.В., Воронкова И.П., Винокурова Н.В.; заявитель ФГБОУ ВО «ОрГМУ» Минздрава РФ. 10 с.: ил. EDN: JUCAXW.
19. Сайбель О.Л. и др. Изучение динамики накопления фенольных соединений в траве цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) // Медицинский вестник Башкортостана. 2016. Т. 11, № 5 (65). С. 80–83. EDN: XDZDQT.
20. Сирота Т.В. Новый подход в исследовании процесса аутоокисления адреналина и использование его для измерения активности супероксиддисмутазы // Вопросы медицинской химии. 1999. Т. 45, № 3. С. 263–272. EDN: SYRLBX.
21. Шур Ю.В., Шур В.Ю., Самотруева М.А. Некоторые механизмы иммуотропного и адаптогенного действия фитопрепаратов // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2019. Т. 17, № 4. С. 19–29. DOI: 10.7816/RCF17419-29.
22. Free Radicals in Biology and Medicine / В. Halliwell, J.M.C. Gutteridge, eds. 5-th ed. Oxford; New York: Oxford University Press, 2015. 951 p.
23. Jerne N.K., Nordin A.A. Plaque formation in agar by single antibody-producing cells // Science. 1963. Vol. 140, № 3565. P. 405. DOI: 10.1126/science.140.3565.405.
24. Murphy M.P. Unraveling the biological roles of reactive oxygen species // Nature Reviews Molecular Cell Biology. 2011. Vol. 13. P. 1–12. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4445605/> (дата обращения: 28.08.2025).

References

1. Bykova A.A. *Prognostičeskoe značenie dinamiki pokazatelej oksidativnogo stressa u pacientov s ostrym koronarnym sindromom. Diss. kand. med. nauk* [Prognostic value of oxidative stress dynamics in patients with acute coronary syndrome. Cand. Diss.]. Moscow, 2015. 124 p. (In Russ.). Available at: <https://www.dissercat.com/content/prognosticheskoe-znachenie-dinamiki-pokazatelei-oksidativnogo-stressa-u-patsientov-s-ostrym-> (accessed 28.08.2025).
2. Volchegorskiy I.A., Dolgushin I.I., Kolesnikov O.L., Tseylikman V.E. *Eksperimental'noe modelirovanie i laboratornaja ocenka adaptivnykh reakcij organizma* [Experimental modeling and laboratory evaluation of adaptive reactions of the organism]. Chelyabinsk, ChGPU Publ., 2000. 167 p. (In Russ.). EDN: MLPRZJ.
3. Gorina E.I. *Vozdejstvie biguanidinovykh proizvodnykh na antioksidantnyj status krysa pri giperglikemii, inducirovannoj streptozocinom i protamin-sulfatom. Diss. kand. med. nauk* [Effect of biguanidine derivatives on the antioxidant status of rats with streptozotocin- and protamine sulfate-induced hyperglycemia. Cand. Diss.]. Voronezh, 2019. 177 p. (In Russ.). Available at: <https://www.dissercat.com/content/vozdjeistvie-biguanidinovykh-proizvodnykh-na-antioksidantnyi-status-krysa-pri-giperglikemii> (дата обращения: 28.08.2025).
4. Zheleznova A.D. *Eksperimental'noe obosnovanie primenenija miliatsina dlja korrektsii immunosupressii, inducirovannoy metotreksatom. Avtoref. diss. kand. med. nauk* [Experimental substantiation of the use of miliaicin for the correction of methotrexate-induced immunosuppression. Abstract Cand. Diss.]. Perm, 2010. 22 p. (In Russ.). Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004611099> (дата обращения: 28.08.2025).
5. Zverev Ya.F., Bryukhanov V.M. [Flavonoids as promising natural antioxidants]. *Bulleten' medicinskoj nauki*, No. 1(5) (2017): pp. 20-27. (In Russ.). DOI: 10.31684/2541-8475.2017.1(5).20-27. EDN: ZQJAIL.
6. Zinov'ev A.I. [The role of adaptogens in immune system correction and criteria for evaluating their quality]. *Praktičeskaja fitoterapija*, No. 1 (2003): pp. 13-17. (In Russ.)
7. Karomatov I.D., Abdulkhaqov I.U. [Red clover use in medicine (literature review)]. *Biologija i integrativnaja medicina*, No. 5 (2016): pp. 95-100. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/klever-lugovoy-primenenie-v-meditsine-obzor-literatury> (accessed 30.01.2024). (In Russ.). EDN: XGVEYB.
8. Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Mayorova I.G., Tokarev V.E. [Method for determination of catalase activity]. *Laboratornoe delo*, No. 1 (1988): pp. 16-19. (In Russ.). EDN: ZTCAGW.
9. Kosmachevskaya O.V. et al. [Formation of additional metal-binding centers in proteins under stressful conditions]. *Uspechi biologičeskoj chimii*. V. 64 (2024): pp. 349-396. Available at: https://www.fbras.ru/wp-content/uploads/2024/02/10-Kosmachevskaya_et_al.pdf (accessed 28.09.2025). (In Russ.).
10. Lushchak V.I. [Free radical oxidation of proteins and its relationship to the functional state of the organism]. *Biokhimiya*, V. 72, iss. 8 (2007): pp. 995-1017. Available at: <https://biochemistrymoscow.com/ru/archive/2007/72-08-0995/> (accessed 24.08.2025). (In Russ.). EDN: IBPPSR.
11. Masnaya N.V., Isaykina N.V., Sherstoboev E.Yu., Kalinkina G.I. [Effect of polyphenolic compounds isolated from *Carthamus tinctorius* and *Calendula officinalis* L. on the functional activity of immunocompetent cells under cytostatic immunosuppression]. *Bulleten' sibirskoj mediciny*, V. 12, No. 3 (2013): pp. 41-51. (In Russ.). EDN: QZDKQT.
12. Mikhaylova I.V. *Immunologičeskie aspekty kombinirovannogo vozdejstviya bichromata kalija i benzola na organizm (eksperimental'noe issledovanie). Diss. d-ra. biol. nauk* [Immunological aspects of combined exposure to potassium dichromate and benzene on the organism (experimental study). Dis. dokt. biol. nauk]. Chelyabinsk, 2014. 192 p. (In Russ.).
13. Mikhaylova I.V., Ivanova E.V., Smolyagin A.I., Bondarenko A.I., Sinegovets A.A., Bondarenko T.A., Bekpergenova A.V. [Evaluation of immunoregulatory properties of dry extract of *Cichorium intybus* L. herb in vitro and in vivo systems]. *Citokiny i vospalenie*. V. 20, No. 1 (2023): pp. 25-31. (In Russ.). DOI: 10.17816/CI2023231-4. EDN: HXJSZM. Available at: <https://cijournal.ru/1684-7849/article/view/623749> (accessed 28.08.2025).
14. Mikhaylova I.V., Sinegovets A.A., Smolyagin A.I., Kuzmicheva N.A., Pavlenko M.A. [Evaluation of immunomodulatory effect of dry extract of *Trifolium pratense* L. herb]. *Vestnik Biomedicina i Sociologija*. V. 9, No. 2 (2024): pp. 44-51. (In Russ.). DOI: 10.26787/nydha-2618-8783-2024-9-2-44-51. EDN: ONVPRG.
15. Novikov O.O., Pisarev D.I., Sorokopudov V.N. et al. [Study of flavonoid composition of *Trifolium pratense* flowers]. *Naučnye vedomosti. Serija Estestvennye nauki*. No. 21(98) (2010): pp. 113-117. (In Russ.). EDN: NDAVHP.
16. Notova S.V., Marshinskaya O.V., Kazakova T.V. [Role of microelements in the antioxidant defense system]. *Životnovodstvo i kormoproizvodstvo*, V. 106, No.1 (2023): 156-166. (In Russ.). DOI: 10.33284/2658-3135-106-1-156. EDN: UQJMBH.
17. Patent RU № 2828665. *Sposob polučeniya sredstva, obladajuščego antioksidantnoj i immunomodulirujuščej aktivnost'ju, na osnove travy Trifolium pratense L.* [Method for obtaining a remedy with antioxidant and immunomodulatory activity based on *Trifolium pratense* L. herb]. No. 2023131553; appl. 28.11.2023; publ.

15.10.2024 / Mikhaylova I.V., Ivanova E.V., Sinegovets A.A., Smolyagin A.I., Kuzmicheva N.A.; applicant FSBEI HE "OrSMU" Ministry of Health of the Russian Federation. 9 p.: ill. (In Russ.).

18. Patent RU № 2803502. *Sposob polucheniya sredstva, obladajuščego antioksidantnoj i immunomodulirujuščej aktivnost'ju* [Method for obtaining a remedy with antioxidant and immunomodulatory activity]. No. 2022131332; appl. 29.11.2022; publ. 14.09.2023 / Mikhaylova I.V., Ivanova E.V., Smolyagin A.I., Bondarenko A.A., Sinegovets A.A., Kuzmicheva N.A., Filippova Yu.V., Voronkova I.P., Vinokurova N.V.; applicant FSBEI HE "OrSMU" Ministry of Health of the Russian Federation. 10 p.: ill. (In Russ.).

19. Saybel' O.L., Dargaeva T.D., Fadeev N.B., Dul V.N. [Study of accumulation dynamics of phenolic compounds in the herb of *Cichorium intybus* L.]. *Medicinskij vestnik Baškortostana*, V. 11, No. 5(65) (2016): pp. 80–83. (In Russ.). EDN: XDZDQT.

20. Sirota T.V. [A new approach in studying adrenaline autooxidation and its use for measuring superoxide dismutase activity]. *Voprosy medicinskoj chimii*. V. 45, No. 3 (1999): pp. 263–272. (In Russ.). EDN: SYRLBX.

21. Shur Yu.V., Shur V.Yu., Samotrueva M.A. [Some mechanisms of immunotropic and adaptogenic effects of phytopreparations]. *Obzory po kliničeskoj farmakologii i lekarstvennoj terapii*. V. 17, No. 4 (2019): pp. 19–29. (In Russ.). DOI: 10.7816/RCF17419-29.

22. Halliwell B., Gutteridge J.M.C. (Eds.) *Free Radicals in Biology and Medicine*. 5th ed. Oxford, New York, Oxford University Press, 2015. 951 p.

23. Jerne N.K., Nordin A.A. Plaque formation in agar by single antibody-producing cells. *Science*. V. 140, No. 3565 (1963): p. 405. DOI: 10.1126/science.140.3565.405.

24. Murphy M.P. Unraveling the biological roles of reactive oxygen species. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. V. 13 (2011): pp. 1–12. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4445605/> (accessed 28.08.2025).

Статья поступила в редакцию 02.09.2025; одобрена после рецензирования 12.09.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 02.09.2025; approved after reviewing 12.09.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

Ангелина Анатольевна Синеговец – a.a.sinegovets@yandex.ru, ассистент кафедры фармацевтической химии;
Ирина Валерьевна Михайлова – michaylova74@yandex.ru, д-р биол. наук, доцент, зав. кафедрой фармацевтической химии;

Александр Иванович Смолягин – a.i.smolyagin@mail.ru, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры клинической лабораторной и функциональной диагностики;

Юлия Владимировна Филиппова – yuliaf78@mail.ru, канд. мед. наук, доцент кафедры фармацевтической химии;

Наталья Александровна Кузьмичева – natalie-vip@list.ru, старший преподаватель кафедры фармацевтической химии.

Information about the authors

Angelina A. Sinegovets – a.a.sinegovets@yandex.ru, Assistant of the Department of Pharmaceutical Chemistry;

Irina V. Mikhailova – michaylova74@yandex.ru, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Pharmaceutical Chemistry;

Alexandr I. Smolyagin – a.i.smolyagin@mail.ru, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Clinical Laboratory and Functional Diagnostics;

Yulia V. Filippova – yuliaf78@mail.ru, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Chemistry;

Natalia A. Kuzmicheva – natalie-vip@list.ru, Senior Lecturer of the Department of Pharmaceutical Chemistry.

Вклад авторов:

Синеговец А. А. – развитие методологии; получение и обработка результатов; написание исходного текста.

Михайлова И. В. – научное руководство; концепция исследования.

Смолягин А. И. – итоговые выводы.

Филиппова Ю. В. – доработка текста.

Кузьмичева Н. А. – статистическая обработка материала.

Contribution of the authors:

Sinegovets A. A. – development of methodology; obtaining and processing results; writing the original text.

Mikhailova I. V. – scientific supervision; research concept.

Smolyagin A. I. – final conclusions.

Filippova Yu. V. – text revision.

Kuzmicheva N. A. – statistical processing of the material.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Вестник Пермского университета.
Серия БИОЛОГИЯ =
2025. Выпуск 3

Bulletin of Perm University.
BIOLOGY
2025. Issue 3

Научное издание

Редактор *А. С. Беляева*

Корректор *Е. Г. Ефимик*

Компьютерная верстка *С. А. Овеснова*

Подписано в печать 18.09.2025. Выход в свет 30.10.2025.
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 10,7. Тираж 28 экз. Заказ № 1573.
Распространяется бесплатно.

Издательский центр Пермского государственного
национального исследовательского университета
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии издательства
Пермского национального исследовательского политехнического университета
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.

Подписка на журнал осуществляется онлайн на сайте агентства «Урал-Пресс»
<https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8940022/>
Подписной индекс 41000