

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

**03.03.03 Иммунология, 1.5.9. Ботаника, 1.5.11. Микробиология, 1.5.12. Зоология, 1.5.7. Генетика, 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 Нэпир 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. П. Середина*, д.б.н., профессор, Национальный исследовательский томский государственный университет, г. Томск, Россия  
*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. Ишбирдин*, д-р биол. наук, 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, 2022

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 «Пресса России. Объединенный каталог» <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e41000/>. 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](http://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. Christofí*, 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. Polítov*, 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. P. Seredina*, Dr. Biol. Sc., Tomsk State University, Tomsk, Russia  
*V. A. Chershnev*, Dr. Med. Sc., Full Member of the RAS, Institute of Immunology and Physiology of UB RAS, Ekaterinburg, Russia  
*A. G. Shiryaev*, 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. Efímik* (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, 2022

Founder and Publisher Address:  
614068, Perm, Bukireva, 15;  
Tel: 8 (342) 2396435; E-mail: info@psu.ru  
For subscription, visit the United catalog of Press of Russia:  
<https://www.pressa-ru/cat/1/edition/e41000/>. 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](https://press.psu.ru/index.php/bio)

Содержание

**Ботаника**

<i>Беляева П. Г., Шаравин Д. Ю.</i> Таксономический состав и численность планктонных водорослей в водах Западной Антарктики (февраль–март 2020 г.) . . . . .	175
<i>Ильминских Н. Г., Красноперова С. А.</i> Флора сосудистых растений порта Ямбург . . . . .	184
<i>Малых С. Ю.</i> Род <i>Dryopteris</i> Adans. в Европейской части России . . . . .	189
<i>Малых С. Ю., Овеснов С. А.</i> Диагностические признаки видов рода <i>Dryopteris</i> Adans. . . . .	201

**Зоология**

<i>Береснев В. В., Ефимик В. Е.</i> Особенности экологии клещей <i>Dermacentor reticulatus</i> Fabricius, 1794 в Пермском крае . . . . .	204
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

**Микробиология**

<i>Афанасьевская Е. В., Годовалов А. П., Карпунина Т. И.</i> С О влиянии путресцина и кадаверина на функциональную активность <i>Lactobacillus</i> spp., изолированных из генитального тракта . . . . .	212
<i>Егорова Д. О.</i> Разложение хлорбензойных кислот штаммами <i>Rhodococcus ruber</i> P25 и <i>Microbacterium oxydans</i> B51 в условиях кометаболизма . . . . .	218
<i>Луценко А. В., Сопрунова О. Б.</i> Использование дрожжевых автолизатов в составе питательных сред для культивирования микроорганизмов . . . . .	226
<i>Сидоров Н. Г., Поддубиков А. В.</i> Изучение влияния лецитина и глюкозы на ростовые свойства штаммов <i>Streptococcus pneumoniae</i> . . . . .	235

**Экология**

<i>Зайцева Н. В., Землянова М. А., Степанков М. С., Игнатова А. М., Довбыш А. А., Недошитова А. В., Волкова М. В.</i> Исследование и сравнительная оценка токсичности наночастиц оксида молибдена (VI) при однократной пероральной экспозиции . . . . .	241
Правила оформления статей в Вестник Пермского университета. Серия Биология . . . . .	250

## Contents

## Botany

- Belyaeva P. G., Sharavin D. Y.* Taxonomic composition and abundance of planktonic algae in the West Antarctica waters (February-March 2020) . . . . . 175
- Ilminskikh N. G., Krasnoperova S. A.* Flora of vascular plants of the port of Yamburg . . . . . 184
- Malyh S. Yu.* The genus *Dryopteris* Adans. in the European Russia . . . . . 189
- Malyh S. Yu., Ovesnov S. A.* Diagnostic characters of the genus *Dryopteris* Adans. . . . . 201

## Zoology

- Beresnev V. V., Efimik V. E.* Features of the ecology of ticks *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 in Perm Krai . . . . . 204

## Microbiology

- Afanasievskaya E. V., Godovalov A. P., Karpunina T. I.* Functional activity of *Lactobacillus* spp. isolated from the genital tract under the influence of putrescine and cadaverine . . . . . 212
- Egorova D. O.* Degradation of chlorobenzoic acids by strains *Rhodococcus ruber* P25 and *Microbacterium oxydans* B51 under cometabolism . . . . . 218
- Lutsenko A. V., Soprunova O. B.* Yest autolysates as components of nutrient media for cultivation of microorganisms . . . . . 226
- Sidorov N. G., Poddubikov A. V.* Studying effects of lecithin and glucose on the growth properties of *Streptococcus pneumoniae* strains . . . . . 235

## Ecology

- Zaitseva N. V., Zemlyanova M. A., Stepankov M. S., Ignatova A. M., Dovbysh A. A., Nedoshytova A. V., Volkova M. V.* Study and comparative evaluation of the toxicity of molybdenum (VI) oxide nanoparticles at a single oral exposure . . . . . 241

## БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.9:574.583

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-175-183.

### Таксономический состав и численность планктонных водорослей в водах Западной Антарктики (февраль–март 2020 г.)

Полина Геннадьевна Беляева<sup>1</sup>, Дмитрий Юрьевич Шаравин<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup> Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь, Россия

<sup>1</sup> polina-b5@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6741-0424>

<sup>2</sup>✉ dima-sharavin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3962-8164>

**Аннотация.** Приводятся результаты исследований видового разнообразия, количественного развития и распределения фитопланктона в водах юго-восточной части моря Росса (район о. Рузвельт), на разрезе 1, вдоль восточной границы моря Росса у мыса Колбек по меридиану 156° ЗД, на разрезе 2 вблизи станции Русская, а также в проливе Брансфилд (разрез 3) в феврале-марте 2020 г. по материалам 65 Российской антарктической экспедиции. В составе фитопланктона выявлено 49 таксонов водорослей из 7 отделов, с преобладанием диатомовых водорослей. Пространственное распределение фитопланктона характеризовалось неоднородностью, что связано со сложной системой течений в районах исследования, ледовой обстановкой, климатическими и термохалинными факторами. Для всей изученной акватории характерно развитие диатомовых водорослей. Доминантными видами, составляющими более 10% численности водорослей, являлись представители родов *Fragilariopsis*, *Chaetoceros*, *Actinocyclus*, *Corethron* и *Phaeocystis*. Наиболее высокие показатели численности фитопланктона (до 264 тыс. кл./л) получены для станций разреза 2.

**Ключевые слова:** Западная Антарктика, фитопланктон, диатомовые водоросли, пространственная изменчивость, шельф

**Для цитирования:** Беляева П. Г., Шаравин Д. Ю. Таксономический состав и численность планктонных водорослей в водах Западной Антарктики (февраль–март 2020 г.) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 175–183. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-175-183>.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания № НИОКТРАААА-А19-119112290008-4. Авторы выражают благодарность С.В. Кашину (м.н.с., ЛЮО ОО АНИИ), Д.А. Орехову (к.в.н., доцент, КОЭУВД, ФГБОУ ВО СПбГУВМ), А.П. Воронину (к.б.н., с.н.с., ЛМК ГНДНК ИНЦ) за помощь в проведении исследований, а также всему экипажу НЭС «Академик Трёшников» за ответственное отношение к выполнению океанографических работ.

## BOTANY

Original article

### Taxonomic composition and abundance of planktonic algae in the West Antarctica waters (February-March 2020)

Polina G. Belyaeva<sup>1</sup>, Dmitry Y. Sharavin<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup> Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia

<sup>1</sup> polina-b5@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6741-0424>

<sup>2</sup>✉ dima-sharavin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3962-8164>

**Abstract.** Diversity, quantitative development and distribution of phytoplankton species were investigated. The study area included southeastern part of the Ross Sea (near Roosevelt Island) (station 3), transect 1 along the 156°W (Ross Sea at Cape Colbeck), near *Russkaya* station (transect 2) along the 138°W and the Bransfield Strait (transect 3) in February-March 2020, based on the data of 65th Russian Antarctic Expedition. 49 algae taxa from 7 divisions with a predominance of diatoms were identified in the phytoplankton. The spatial distribution of phytoplankton was characterized by heterogeneity which is associated with currents in the study areas, ice conditions, climatic and thermohaline factors. Development of diatoms is typical to the entire studied area. The dominant species (more than 10% of the algae population) were representatives of the genera *Fragilariopsis*, *Chaetoceros*, *Actinocyclus*, *Corethron* and *Phaeocystis*. The highest phytoplankton abundance (up to 264×10<sup>3</sup> cells/l) were obtained for transect 2 stations.

**Keywords:** West Antarctica, phytoplankton, diatoms, spatial variability, shelf

**For citation:** Belyaeva P. G., Sharavin D. Y. [Taxonomic composition and abundance of planktonic algae in the West Antarctica waters (February-March 2020)]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 175-183. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-175-183>.

**Acknowledgments:** the study was carried out within the framework of the State assignment № НИОКТПА-AAA-A19-119112290008-4. We wish to thank Kashin S.V. (AARI), Orekhov D.A. (SPSUVM) and Voronin A.P. (IC RAS) for their help and support during the field campaign. We also thank the captain and crew of the IBRV *Akademik Tryoshnikov* and many other colleagues on board for their assistance during the RAE65 austral summer cruise.

## Введение

Фитопланктон, создающий первичную продукцию антарктических морей, является одним из важнейших компонентов океанической экосистемы. Изучение водорослей Антарктики российскими исследователями было начато в 1960-х гг. на небольших по площади акваториях [Гогорев, 2009]. Несмотря на значимость региона Западной Антарктики и существенный интерес исследователей к этому региону, малоизученным остается район Южного океана (ЮО) между морями Росса и Амундсена, который весьма интересен с океанографической точки зрения [Антипов, Кашин, Молчанов, 2020]. Также в литературе крайне мало информации о видовом составе и пространственном распределении фитопланктона сектора ЮО от м. Колбек (п-ов. Эдуарда VII, 158°ЗД) до м. Дарт (западная часть моря Амундсена, 126°ЗД). Более подробно изучен район Южных Шетландских островов [Garibotti, Vernet, Ferrario, 2003; Cefarelli, Vernet, Ferrario, 2011; Mendes, Souza, Garcia et al., 2012; Rozema, Venables, Poll et al., 2017; Dotto et al., 2021].

Ежегодно формирующийся морской лед является главной особенностью полярных регионов и играет фундаментальную роль в структурировании морских экосистем на высоких широтах, тем самым влияя на взаимодействие океана и атмосферы, а также влияя на глобальный климат [Thomas, Dieckmann, 2002; Smetacek, Nicol, 2005; Saggiomo, Poulin, Mangoni et al., 2017]. В водах, омывающих Антарктический полуостров, за последние десятилетия отмечено существенное повышение температуры [Mangoni, Saggiomo, Volinesì et al., 2017]. Подобные изменения сказываются на состоянии ледового покрова, ареале местной фауны, а также на физико-химических характеристиках водной толщи, составе и развитии фитопланктона [Mendes, Souza, Garcia et al., 2012; Rozema, Venables, Poll et al., 2017].

Цель – изучить состав водорослей планктона и их численность в районах исследованной акватории Западной Антарктики в конце летнего и начале осеннего сезонов.

## Материал и методика

Материал был собран в тихоокеанском секторе ЮО в рамках 65-й РАЭ, в ходе 14-го рейса НЭС «Академик Трёшников» в период с 06.02. по 10.03.2020 г. Пробы воды отбирали пластиковыми батометрами зондирующего комплекса «Sea Bird 911+». Исследования проведены в акватории Западной Антарктики на эпизодической станции 3 в юго-восточной части моря Росса (Китовая бухта) в 12 км севернее о. Рузвельт (78°41.13' ЮШ 163°42.58' ЗД, 6.02.2020). На разрезе 1, протяжённостью 35 км вдоль восточной границы моря Росса у мыса Колбек п-ова Эдуарда VII по меридиану 156° ЗД (7.02.2020), для альгологических исследований были взяты пробы со станций 4, 7 и 9, приуроченных к шельфу, склону и глубоководной области соответственно. Поверхностный 50-метровый слой имел температуру около 0°C при содержании кислорода 7.4–7.7 мл/л, на глубине 500 м температура доходила до –1.8°C, а солёность – до 34 psu. На глубинах 600–800 м разреза 1 от края бровки тянулся относительно солёный (34.7 psu), тёплый слой (около 1.5°C) с низким содержанием кислорода (4 мл/л). На разрезе 2, длиной 87 км вблизи станции Русская, в 36 км от фронта шельфового ледника Корделла Халла (24.02.2020) пробы отбирались со станций 10, 11, 21 и 22. Разрез 2 имел более сложную топографию дна с депрессиями в начале разреза. Верхние 50 м содержали 8.0–8.7 мл/л кислорода и имели небольшую минерализацию (32.8 psu). Слой с температурами до –1.79°C и содержанием кислорода 5–7 мл/л доходил до глубин 400–500 м. Максимум температуры (1.56°C) и солёности (34.7 psu) на разрезе находился на расстоянии около 20 км от бровки, на глубине 450 м, при содержании кислорода около 4.4 мл/л. На 118-километровом разрезе 3 в проливе Брансфилд (район антарктической станции Беллинсгаузен 9–10.03.2020) для альгологических исследований пробы отбирали на станциях 23, 27 и 33, где только ст. 27 находилась в глубоководной области пролива. Большое количество островов и рельеф дна существенно отличают данный разрез от первых двух. Верхний 100-метровый слой воды с температурой выше 0°C простирался от створа разреза практически до южного берега пролива. Тёплые, до 2°C, менее минерализованные воды преобладали в северной части разреза. В акватории, примыкающей к Антарктическому п-ову господствовали холодные воды. Поверхностный слой характеризовался солёностью 34.0–34.5 psu и содержанием кислорода 7.2–7.5 мл/л. Придонные воды котловины пролива, отмеченные на разрезе глубинами до 1 770 м с температурой –1.5°C

имели солёность около 34.5 psu и были относительно насыщены кислородом (6.5–6.7 мл/л). Схема расположения разрезов в районе исследований приведена на рис. 1.

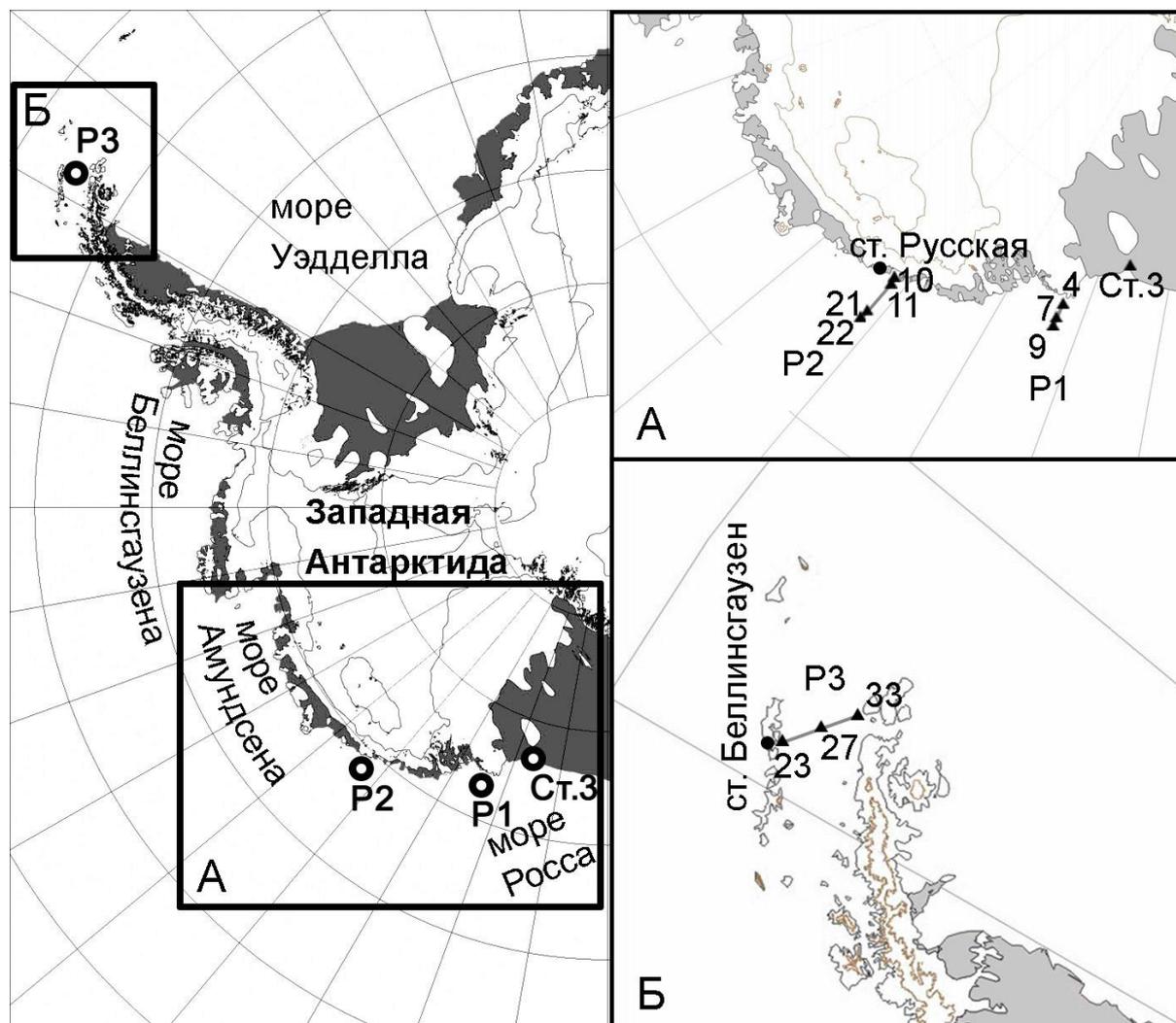


Рис. 1. Схема расположения разрезов и станций в районе исследований (Западная Антарктика)

[Location of the Stations and Transects in the study area of West Antarctica]

На каждой станции отбор проб фитопланктона проводили в верхнем перемешанном слое (1–2 горизонта: 0–10, 10–50 м). Пробы воды объемом 1–2 л сгущали с помощью воронки обратной фильтрации с использованием мембранных фильтров «Владипор» с размером пор 1.2–3.0 мкм. Пробы фиксировали формалином. Обработку проб вели в Учинской камере объемом 0.01 мл, клетки просчитывали в зависимости от численности вида, но не менее чем в 4 камерах. Постоянные препараты диатомовых водорослей готовили методом холодного сжигания с последующей заливкой высокопреломляющей анилин-формальдегидной смолой [Методика ..., 1975]. Анализ проб проводили под световым микроскопом Axiostar-Plus. Большинство водорослей определены нами только до рода. Доминантными считали виды с численностью  $\geq 10\%$ . Таксономическую принадлежность различных групп водорослей устанавливали по определителям и многочисленным работам по планктонной флоре Южного океана [Сёмина, Голикова, Нагаева, 1982; Carmelo, 1997; Tomas, 1997; Герасимюк, 2008; Hoppenrath et al., 2009; Гогорев, 2010; Cefarelli et al., 2010; Гогорев, 2013; Gogorev, Samsonov 2016; Almandoz et al., 2017]. Оценку сходства видового состава фитопланктона проводили, используя коэффициент Сёренсена-Чекановского [Мэгаррн, 1992].

### Результаты и их обсуждение

В фитопланктоне исследованной акватории ЮО идентифицировано 49 таксонов водорослей: Bacillariophyta – 40, Dinophyta – 3 таксона, Cyanoprokaryota – 2, Chrysophyta (Silicoflagellates), Haptophyta, Cryptophyta и предположительно красные водоросли – по 1. Набор видов в фитопланктоне был типичен для

этих областей ЮО. Водоросли представлены видами разного размера (от 5 до 280 мкм) и включают не идентифицированные мелкоразмерные диатомовые и кокки.

Фитопланктон на станциях различался как по числу (от 5 до 22 таксонов) и набору видов, так и по вкладу отдельных видов и групп в общую численность и биомассу планктона. Виды диатомовых водорослей, подсчитанные и идентифицированные с помощью оптической микроскопии, приведены в таблице и на рис. 2 и 3. Доминантными видами, составляющими более 10% популяции водорослей планктона более чем на одной станции, являются лишь 5 родов (*Fragilariopsis*, *Chaetoceros*, *Actinocyclus*, *Corethron* и *Phaeocystis*).

Наиболее разнообразен из диатомовых водорослей род *Fragilariopsis*, отмеченный на всех станциях изученного района, что является типичным для вод Антарктики. В изученной акватории род *Fragilariopsis* представлен 9 видами (*F. curta*, *F. cylindrus*, *F. ritscheri*, *F. obliquecostata*, *F. rhombica*, *F. pseudonana*, *F. separanda*, *F. kerguelensis*, *F. nana*) (таблица, рис. 2).

### Состав видов фитопланктона ЮО на станции 3 и разрезах 1–3

#### [Phytoplankton species composition of the Southern Ocean (SO) at Station 3 and Transects 1-3]

Водоросли	P1	P2	P3	Станция 3
<b>Bacillariophyta</b>				
<i>Achnanthes</i> sp.	+	+	–	–
<i>Actinocyclus actinochilus</i> (Ehrenberg) Simonsen	+	+	–	+
<i>Actinocyclus</i> sp.	+	+	+	–
<i>Asteromphalus hookeri</i> Ehrenberg	–	+	–	–
<i>Asteromphalus</i> spp.	–	+	–	–
<i>Azpeitia</i> sp.	+	+	+	–
<i>Chaetoceros</i> spp.	–	+	–	+
<i>Chaetoceros dictyota</i> Ehrenberg	+	+	–	–
<i>Cocconeis</i> sp.	+	–	–	–
<i>Corethron pennatum</i> (Grunow) Ostefeld	+	+	–	–
<i>Corethron</i> sp.	+	–	–	–
<i>Coscinodiscus oculoides</i> Karsten	+	+	+	–
<i>Diatama</i> sp.	+	–	–	–
<i>Entomoneis</i> sp.	–	–	–	+
<i>Eucampia antarctica</i> (Castracane) Mangin	–	+	–	–
<i>Fragilariopsis curta</i> (van Heurck) Hustedt	+	+	+	+
<i>Fragilariopsis cylindrus</i> (Grunow) Krieger	+	+	–	+
<i>Fragilariopsis nana</i> (Stemann Nielsen) Paasche	+	+	+	–
<i>Fragilariopsis kerguelensis</i> (O'Meara) Hustedt	+	+	–	–
<i>Fragilariopsis obliquecostata</i> (van Heurck) Heiden	+	+	–	+
<i>Fragilariopsis pseudonana</i> (Hasle) Hasle	+	+	–	–
<i>Fragilariopsis rhombica</i> (O'Meara) Hustedt	+	+	+	–
<i>Fragilariopsis separanda</i> Hustedt	–	+	–	–
<i>Fragilariopsis ritscheri</i> Hustedt	+	+	+	–
<i>Haslea</i> sp.	–	+	–	–
<i>Lioloma pacificum</i> (Cupp) Hasle	+	–	–	–
<i>Navicula</i> sp.	+	+	–	–
<i>Nitzschia</i> sp.	+	+	+	–
<i>Odontella</i> sp.	+	–	–	–
<i>Porosira</i> sp.	–	+	–	–
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) H.Peragallo	+	+	+	–
<i>Pseudo-nitzschia subcurvata</i> (G.R.Hasle) G.A.Fryxell Hasle	+	+	–	–
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	–	–	+	+
<i>Rhizosolenia</i> sp.	–	–	–	+
<i>Skeketonema</i>	+	+	–	–
<i>Thalassionema synedriforme</i> (Greville) Hasle	+	+	–	–
<i>Thalassiosira lentiginosa</i> (Janisch) Fryxell	+	+	+	+
<i>Thalassiosira antarctica</i> Comber	+	+	+	+
<i>Thalassiosira</i> sp.	+	–	–	–
Не идентифицированные центрические	+	+	+	+

Водоросли	P1	P2	P3	Станция 3
<b>Cryptophyta</b>				
<i>Cryptomonas</i> spp.	–	+	–	–
<b>Dinophyta</b>				
<i>Gymnodinium</i> spp.	+	+	+	–
<i>Preperidinium</i>	+	–	–	–
<i>Prorocentrum</i> sp.	–	–	+	–
<b>Chrysophyta /Silicoflagellates</b>				
<i>Dictyocha speculum</i> Ehrenberg	+	+	–	–
<b>Cyanoprokaryota</b>				
cf. <i>Anabaena</i> sp.	+	–	+	–
<i>Lyngbya</i> sp.	+	–	–	+
<b>Нартrophyta</b>				
<i>Phaeocystis</i> sp.	+	+	+	–
<b>Rhodophyta</b>				
<i>Helminthora</i> sp.	–	–	+	–
Не идентифицированные кокки	+	+	+	+
<b>Всего</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>12</b>

Пространственное распределение фитопланктона неоднородно, численность фитопланктона исследованных нами акваторий ЮО изменялась от 3.9 до 264 тыс. кл./л и в целом соответствует результатам, полученным другими авторами [Andreoli, Tolomio, Moro et al., 1990; Kang, Fryxell, 1993; Riaux-Gobin et al., 2000, 2003; Fonda, Monti, Bergamasco et al., 2005; Cefarelli, Vernet, Ferrario, 2011].

В планктоне разреза 1 выявлено 35 таксонов водорослей с преобладанием Bacillariophyta (29 представителей). Присутствуют водоросли отделов Cyanoprokaryota и Dinophyta – по 2 вида, Нартrophyta представлены видом *Phaeocystis antarctica* и силикофлагеллаты (Chrysophyta) – космополитом *Dictyocha speculum*. По профилю разреза разнообразие планктона уменьшалось от шельфа (ст. 4) к глубоководному району (ст. 9) более чем в 3 раза. На ст. 4 (21 таксон) многочисленны виды рода *Fragilariopsis* (53% общей численности фитопланктона), *Corethron* (13%) и *Chaetoceros* (10%), типичного для прибрежных вод (рис. 3). На ст. 7 основу численности фитопланктона формировали также представители родов *Fragilariopsis* (50%) и *Actinocyclus* (20%). Помимо Bacillariophyta, здесь отмечено значительное увеличение численности *Phaeocystis antarctica* (15%) и динофитовых водорослей (5%). В северной части разреза на ст. 9 выявлено всего 9 таксонов водорослей. Вклад диатомовых водорослей в общую численность составил 47%, при доминировании видов *Corethron* (30%) и *Fragilariopsis* (15%). Также на этой станции присутствовали мелкие неидентифицированные кокки (20% численности фитопланктона). Распределение фитопланктона неравномерно по разрезу, на ст. 7 в середине разреза происходит двукратное падение общей численности водорослей (рис. 4).

На разрезе 2 выявлены представители 5 отделов водорослей: Bacillariophyta – 30 таксонов, Dinophyta, Cryptophyta, Нартrophyta и Chrysophyta (силикофлагеллаты) – по 1 представителю. Разнообразие флоры увеличивалось от южной ст. 10 (16 таксонов, представлены диатомовыми водорослями), расположенной в 35 км от фронта шельфового ледника Корделла-Халла, к ст. 21 (22 таксона), расположенной в глубоководной части разреза. Для станций разреза выявлен доста-

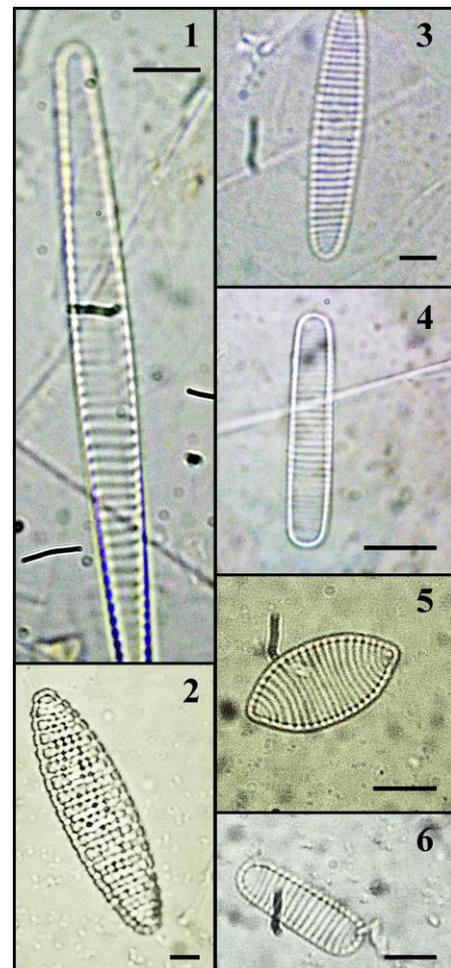


Рис. 2. Представители рода *Fragilariopsis*. Линейка 10 мкм:

[Representatives of the genus *Fragilariopsis*. Scale bar 10 μm:]

1 – *F. obliquecostata*, 2 – *F. kerguelensis*,  
3 – *F. ritscheri*, 4 – *F. cylindrus*, 5 – *F. rhombica*, 6 – *F. curta*

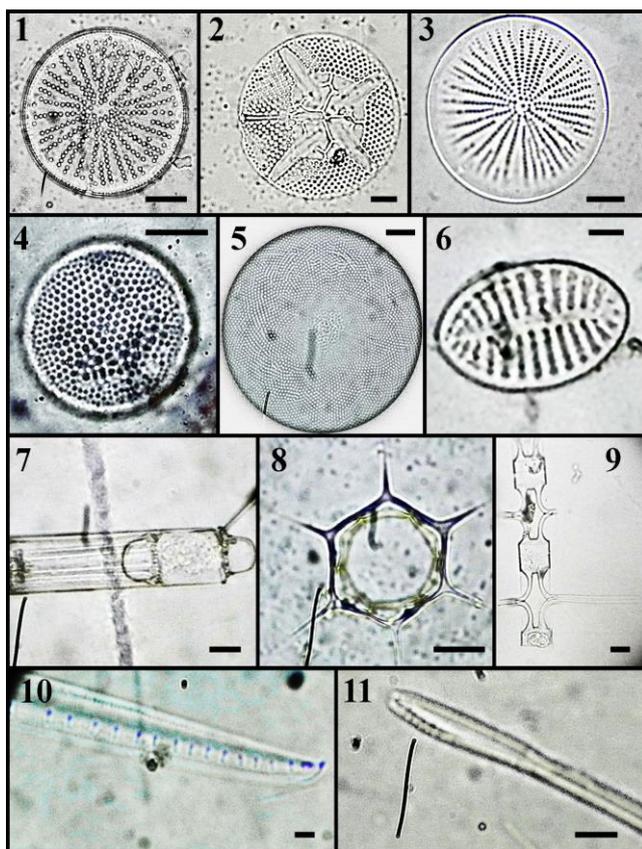


Рис. 3. Типичные представители фитопланктона ЮО. Линейка 10 мкм:  
[Typical phytoplankton representatives of SO. Scale bar 10  $\mu\text{m}$ :]

1 – *Actinocyclus actinochilus*, 2 – *Asteromphalus* sp., 3 – *Actinocyclus* sp., 4 – *Azpeitia* sp., 5 – *Thalassiosira* sp., 6 – *Cocconeis* sp., 7 – *Corethron pennatum*, 8 – *Dictyocha speculum*, 9 – *Chaetoceros dichæta*, 10 – *Nitzschia* sp., 11 – *Thalassionema synedriforme*

точно однородный состав фитопланктона с индексом сходства 58%. Для всего разреза характерно массовое развитие диатомовых водорослей. Основу альгоценозов формируют виды рода *Fragilariopsis* (*F. curta* (Van Heurck) Hustedt, *F. cylindrus* (Grun. ex Cleve) Helmcke et Krieger, *F. ritscheri* Hust.), создающие от 60 до 90% суммарной численности фитопланктона. На всех станциях присутствовали представители родов *Pseudonitzschia*, *Azpeitia*, *Actinocyclus*, *Talassiosira*. Лишь на отдельных станциях выявлены виды родов *Achnanthes*, *Chetoceros*, *Corethron*, *Porosira*, *Eucampia*. На ст. 22 доля диатомовых водорослей, в частности рода *Fragilariopsis*, резко снижалась, но развитие получал гаптофит – *Phaeocystis antarctica* (25%). Как правило, он массово развивается в более перемешанных [Orsi, Wiederwohl, 2009] открытых водах ЮО с низким содержанием железа [Tomas, Hasle, 1997; Mattson et al., 2012] с высокой освещённостью и низкой минерализацией [Garibotti, Vernet, Ferrario, 2003], что согласуется с данными по станциям разрезов 1 и 2. Численность фитопланктона на разрезе 2 изменялась от 100 до 250 тыс. кл./л с максимальными значениями на склоне шельфа (ст. 21) (рис. 4).

Фитопланктон разреза 3 представлен 17 таксонами водорослей: Bacillariophyta – 12, Dinophyta – 2, Цианопроккариота – 1, *Phaeocystis antarctica* из Haptophyta и, предположительно, вид рода *Helminthosira* из Rhodophyta, представленный обломками талломов. Минимальное число видов (5 таксонов) выявлено на ст. 27, разнообразнее планктон на ст. 33 – 10 представителей. Для станций разреза выявлено минимальное сходство видового состава фитопланктона 17% (индекс Сёренсена-Чекановского). Про-

странственное распределение неоднородно. Численность фитопланктона уменьшилась по разрезу более, чем в 2 раза. Наиболее высокие показатели количественного развития фитопланктона (113 тыс. кл./л) получены

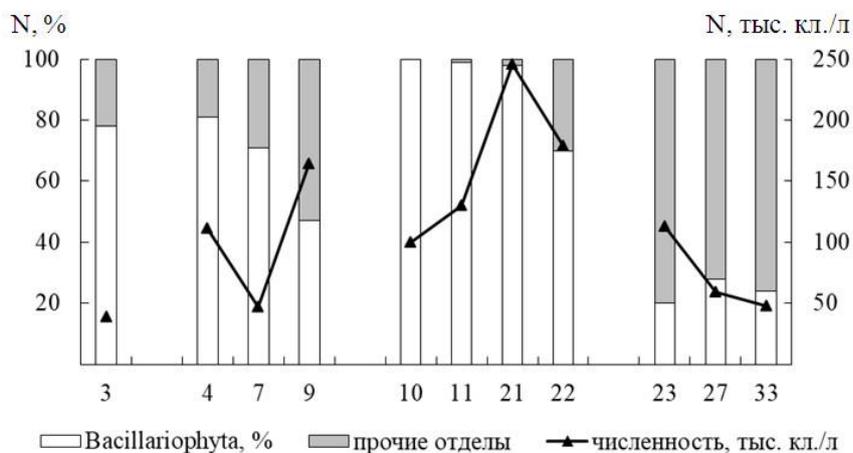


Рис. 4. Общая численность водорослей и вклад диатомовых в структуру фитопланктона ЮО в районе исследований

[General algae abundance and diatoms contribution into the phytoplankton structure of SO in the study area]

для северной части разреза (ст. 23). Доминантные виды отличались на разных станциях разреза: ст. 23 – *Phaeocystis antarctica* (до 70% численности фитопланктона), на ст. 27 – *Fragilariopsis ritscheri* (25%) и *P. antarctica* (30%), на ст. 33 – представитель, предположительно отнесенный к отделу Rhodophyta (38%) и *F. rhombica* (20%). Развитие *P. antarctica* для створа разреза 3 (станция 23), в отличие от его наличия на станциях разрезов 1 и 2, может быть связано с сезонным замещением диатомей при истощении питательных веществ после их цветения, либо расположением разреза в зоне влияния различных водных масс морей Уэдделла и Беллингаузена.

В планктоне станции 3 было идентифицировано 12 таксонов водорослей: Bacillariophyta (11 представителей) и один таксон Суаноргокагуота. Численность фитопланктона составляла в среднем 39 тыс. кл./л, ее основу формировали представители рода *Fragilariopsis* (*F. cylindrus*, *F. curta*, *F. obliquicostata*) – 78% от общей.

При рассмотрении видовой структуры фитопланктона изученной акватории отмечено его незначительное сходство, на уровне 30%. Максимальное сходство водорослей выявлено для шельфовых станций разных районов –  $43\pm 7\%$  (4, 10, 23, 33), на глубоководных станциях вдвое меньше  $20\pm 1\%$  (9, 21, 22, 27).

### Заключение

Наше исследование представляет собой только разовый сбор планктона в малоисследованном районе ЮО и является важным для уточнения состава видов и количественного развития планктона. В фитопланктоне изученной акватории ЮО выявлено невысокое видовое разнообразие: 49 таксонов, из которых 39 – диатомовые водоросли. Они в поверхностном слое воды изученной акватории Западной Антарктики имеют разнородный состав (индекс сходства 30%), отличаются численным соотношением видов, что, очевидно, определяется разными глубинами, удалённостью от берега, солёностью и гидродинамикой. Однако для изучения связи планктона с параметрами среды и вертикального распределения водорослей необходимо проведение дальнейших исследований. Нами отмечено широкое распространение (на всех станциях) и разнообразие рода *Fragilariopsis* (9 видов), типичного для вод Антарктики, и его значительная роль в формировании фитопланктона (около 80% общей численности на ст. 3 10 и 11). В целом, для изученной акватории диатомовые водоросли формировали основу фитопланктона, составляя 50–90% общей численности. Наиболее значимыми родами из диатомей являлись *Fragilariopsis*, *Corethron*, *Chaetoceros* и *Actinocyclus*. На станциях 7, 22, 23 и 27 развитие получил также *Phaeocystis antarctica*, создающий 15–25% общей численности фитопланктона. Для станции 33 отмечен нехарактерный для этого района представитель рода *Helminthora*, достигающий значительной численности. Полученные значения общей численности фитопланктона исследованной акватории (ст. 3, P1–3) колебались в пределах  $4\text{--}25\times 10^4$  кл./л, не выходя за пределы приводимых в литературе данных.

### Список источников

1. Антипов Н.Н., Кашин С.В., Молчанов М.С. Океанографические исследования Южного океана в 14-м рейсе НЭС «Академик Трёшников» // Российские полярные исследования. 2020. № 2. С. 32–35.
2. Герасимюк В.П. Водоросли прибрежных вод и внутренних водоемов острова Галиндез (архипелаг Аргентинские острова, Антарктика) // Альгология. 2008. Т. 18, № 1. С. 58–71.
3. Гогорев Р.М. Таксономический состав планктонных и ледовых водорослей в водах Антарктики (2006–2007 гг.) // Новости систематики низших растений. 2009. Т. 43. С. 36–49.
4. Гогорев Р.М. Новые данные о морфологии и таксономии видов *Fragilariopsis* (Bacillariophyta) из Южного океана // Новости систематики низших растений. 2010. Т. 44. С. 39–55.
5. Гогорев Р.М. Центрические диатомовые (Bacillariophyta) из Южного океана // Новости систематики низших растений. 2013. Т. 47. С. 37–53.
6. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 239 с.
7. Мэгаррн Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.
8. Сёмина Г.И., Голикова Г.С., Нагаева Г.А. Фитопланктон южной части Атлантического океана в ноябре-декабре 1971 г. // Океанический фитопланктон и первичная продукция: сб. статей. М.: Наука, 1982. С. 5–19.
9. Almandoz G.O., Fabro E., Ferrario M. et al. Species occurrence of the potentially toxigenic diatom genus *Pseudonitzschia* and the associated neurotoxin domoic acid in the Argentine Sea // Harmful Algae. 2017. Vol. 63. P. 45–55.
10. Andreoli C., Tolomio C., Moro I. et al. Diatoms and dinoflagellates in Terra Nova Bay (Ross Sea-Antarctica) during austral summer 1990 // Polar Biol. 1995. Vol. 15. P. 465–475.
11. Cefarelli A.O., Ferrario M.E., Almandoz G.O. et al. Diversity of the diatom genus *Fragilariopsis* in the Argentine Sea and Antarctic waters: morphology, distribution and abundance // Polar. Biol. 2010. Vol. 33. P. 1463–1484.
12. Cefarelli A.O., Vernet M., Ferrario M.E. Phytoplankton composition and abundance in relation to free-floating Antarctic icebergs // Deep-Sea Research II. 2011. Vol. 58. P. 1436–1450.

13. Dotto T.S. et al. A novel hydrographic gridded data set for the northern Antarctic Peninsula // *Earth Syst. Sci. Data*. 2021. Vol. 13. P. 671–696.
14. Fonda U.S., Monti M., Bergamasco A. et al. Plankton community structure and dynamics versus physical structure from Terra Nova Bay to Ross Ice Shelf (Antarctica) // *J. Mar. Syst.* 2005. Vol. 55. P. 31–46.
15. Garibotti I.A., Vernet M., Ferrario M.E. Phytoplankton spatial distribution patterns along the western Antarctic Peninsula (Southern Ocean) // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2003. Vol. 261. P. 21–39.
16. Gogorev R.M., Samsonov N.I. The genus *Chaetoceros* (Bacillariophyta) in Arctic and Antarctic // *Новости систематики низших растений*. 2016. Т. 50. С. 56–111.
17. Hoppenrath M., Elbrächter M., Drebes G. *Marine Phytoplankton – selected microplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt*. Stuttgart: Schweizerbart, 2009. 264 p.
18. Kang S.-H., Fryxell G.A. Phytoplankton in the Weddell Sea, Antarctica: composition, abundance and distribution in water-column assemblages of the marginal ice-edge zone during austral autumn // *Marine Biology*. 1993. Vol. 116. P. 335–348.
19. Kopczyńska E.E., Weber L.H., El-Sayed S.Z. Phytoplankton species composition and abundance in the Indian sector of the Antarctic ocean // *Polar. Biol.* 1986. Vol. 6. P. 161–169.
20. Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F. et al. Phytoplankton blooms during austral summer in the Ross Sea, Antarctica: Driving factors and trophic implications // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12, № 4. e0176033. doi: 10.1371/journal.pone.0176033.
21. Mattson E. et al. The relationship between biophysical variables and halocarbon distributions in the waters of the Amundsen and Ross Seas, Antarctica // *Marine Chemistry*. 2012. doi: 10.1016/j.marchem.2012.07.002.
22. Mendes C.R.B., Souza M.S., Garcia V.M.T. et al. Dynamics of phytoplankton communities during late summer around the tip of the Antarctic Peninsula // *Deep-Sea Research I*. 2012. Vol. 65. P. 1–14.
23. Orsi A.H., Wiederwohl C.L. A recount of Ross Sea waters // *Deep-Sea Research II*. 2009. Vol. 56. P. 778–795.
24. Riaux-Gobin C. et al. Land-fast ice microalgal and phytoplanktonic communities (Ade'lie Land, Antarctica) in relation to environmental factors during ice breakup // *Antarctic Sci.* 2003. Vol. 15. P. 353–364.
25. Riaux-Gobin C. et al. Nutrients, algal biomass and communities in land-fast ice and seawater off Ade'lie Land (Antarctica) // *Antarctic Sci.* 2000. Vol. 12. P. 160–171.
26. Rozema P.D., Venables H.J., Poll W.H. et al. Interannual variability in phytoplankton biomass and species composition in northern Marguerite Bay (West Antarctic Peninsula) is governed by both winter sea ice cover and summer stratification // *Limnology and Oceanography*. 2017. Vol. 62, № 1. P. 235–252.
27. Saggiomo M., Poulin M., Mangoni O. et al. Spring-time dynamics of diatom communities in landfast and underlying platelet ice in Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica // *J. Mar. Syst.* 2017. Vol. 166. P. 26–36.
28. Smetacek V., Nicol S. Polar ocean ecosystems in a changing world // *Nature*. 2005. Vol. 437. P. 362–368.
29. Thomas D.N., Dieckmann G.S. Antarctic sea ice – a habitat for extremophiles // *Science*. 2002. Vol. 295. P. 641–644.
30. Tomas C.R., Hasle G.R. *Identifying marine phytoplankton*. San Diego: Academic Press, 1997. 858 p.

## References

1. Antipov N.N., Kashin S.B., Molchanov M.S. [Oceanographic studies of the Southern Ocean during the 14 cruise of IBRV Akademik Tryoshnikov]. *Rossijskie poljarnye issledovanija*. No 2 (2020): pp. 32-35. (In Russ.).
2. Gerasimiuk V.P. [Algae of marine littoral and inland water bodies of Galindez Island (Argentine Islands, Antarctic)]. *Algologija*. V. 18, No 1 (2008): pp. 58-71. (In Russ.).
3. Gogorev R.M. [Taxonomic composition of planktonic and ice algae in Antarctic waters (2006-2007 studies)]. *Novosti sistematiki nizšich rastenij*. V. 43 (2009): pp. 36-49. (In Russ.).
4. Gogorev R.M. [New data on morphology and taxonomy of the *Fragilariopsis* species (Bacillariophyta) from the Antarctic Ocean]. *Novosti sistematiki nizšich rastenij*. V. 44 (2010): pp. 39–55. (In Russ.).
5. Gogorev R.M. [Centric diatoms (Bacillariophyta) from the Antarctic ocean]. *Novosti sistematiki nizšich rastenij*. V. 47 (2013): pp. 37-53. (In Russ.).
6. *Metodika izučenija biogeocenoza vnutrennich vodoëmov* [Methods of studying of inland reservoirs biogeocenoses]. Moscow, 1975, 239 p. (In Russ.).
7. Megarn E. *Èkologičeskoe raznoobrazie i ego izmerenie* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow, Mir Publ., 1992. 184 p. (In Russ.).
8. Sëmina G.I., Golikova G.S., Nagaeva G.A. [Phytoplankton of the south part of Atlantic Ocean in November-December 1971]. *Okeaničeskij fitoplankton i pervičnaja produkcija* [Ocean phytoplankton and primary production: collection of articles]. Moscow, Nauka Publ., 1982,; pp. 5-19. (In Russ.).
9. Almandoz G.O., Fabro E., Ferrario M. et al. Species occurrence of the potentially toxigenic diatom genus *Pseudonitzschia* and the associated neurotoxin domoic acid in the Argentine Sea. *Harmful Algae*. V. 63 (2017): pp. 45-55.
10. Andreoli C., Tolomio C., Moro I. et al. Diatoms and dinoflagellates in Terra Nova Bay (Ross Sea-

Antarctica) during austral summer 1990. *Polar Biol.* V. 15 (1995): pp. 465-475.

11. Cefarelli A.O., Ferrario M.E., Almandoz G.O. et al. Diversity of the diatom genus *Fragilariopsis* in the Argentine Sea and Antarctic waters: morphology, distribution and abundance. *Polar. Biol.* V. 33 (2010): pp. 1463-1484.

12. Cefarelli A.O., Vernet M., Ferrario M.E. Phytoplankton composition and abundance in relation to free-floating Antarctic icebergs. *Deep-Sea Research II.* V. 58 (2011): pp. 1436-1450.

13. Dotto T.S., Mata M.M., Kerr R., Garcia C.A.E. A novel hydrographic gridded data set for the northern Antarctic Peninsula. *Earth Syst. Sci. Data.* V. 13 (2021): pp. 671-696.

14. Fonda U.S., Monti M., Bergamasco A. et al. Plankton community structure and dynamics versus physical structure from Terra Nova Bay to Ross Ice Shelf (Antarctica). *J. Mar. Syst.* V. 55 (2005): pp. 31-46.

15. Garibotti I.A., Vernet M., Ferrario M.E. Phytoplankton spatial distribution patterns along the western Antarctic Peninsula (Southern Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 261 (2003): pp. 21-39.

16. Gogorev R.M., Samsonov N.I. The genus *Chaetoceros* (Bacillariophyta) in Arctic and Antarctic // *Novosti Sist. Nizšich Rast.* V. 50 (2016): pp. 56-111.

17. Hoppenrath M., Elbrächter M., Drebes G. Marine Phytoplankton – selected microplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt. Stuttgart, Schweizerbart, 2009. 264 p.

18. Kang S.-H., Fryxell G.A. Phytoplankton in the Weddell Sea, Antarctica: composition, abundance and distribution in water-column assemblages of the marginal ice-edge zone during austral autumn. *Marine Biology.* V. 116 (1993): pp. 335-348.

19. Koczyńska E.E., Weber L.H., El-Sayed S.Z. Phytoplankton species composition and abundance in the Indian sector of the Antarctic ocean. *Polar. Biol.* V. 6 (1986): pp. 161-169.

20. Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F. et al. Phytoplankton blooms during austral summer in the Ross Sea, Antarctica: Driving factors and trophic implications. *PLoS ONE.* V. 12, No 4 (2017): e0176033. doi: 10.1371/journal.pone.0176033.

21. Mattson E., Karlsson A., Smith W.O.J., Abrahamsson K. The relationship between biophysical variables and halocarbon distributions in the waters of the Amundsen and Ross Seas, Antarctica. *Marine Chemistry.* 2012. doi: 10.1016/j.marchem.2012.07.002.

22. Mendes C.R.B., Souza M.S., Garcia V.M.T. et al. Dynamics of phytoplankton communities during late summer around the tip of the Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Research I.* V. 65 (2012): pp. 1-14.

23. Orsi A.H., Wiederwohl C.L. A recount of Ross Sea waters. *Deep-Sea Research II.* V. 56 (2009): pp. 778-795.

24. Riaux-Gobin C., Poulin M., Prodon R., Tre'guer P. Land-fast ice microalgal and phytoplanktonic communities (Ade'lie Land, Antarctica) in relation to environmental factors during ice breakup. *Antarctic Sci.* V. 15 (2003): pp. 353-364.

25. Riaux-Gobin C., Tre'guer P., Poulin M., Ve'tion G. Nutrients, algal biomass and communities in land-fast ice and seawater off Ade'lie Land (Antarctica). *Antarctic Sci.* V. 12 (2000): pp. 160-171.

26. Rozema P.D., Venables H.J., Poll W.H. et al. Interannual variability in phytoplankton biomass and species composition in northern Marguerite Bay (West Antarctic Peninsula) is governed by both winter sea ice cover and summer stratification. *Limnology and Oceanography.* V. 62, No 1 (2017): pp. 235-252.

27. Saggiomo M., Poulin M., Mangoni O. et al. Spring-time dynamics of diatom communities in landfast and underlying platelet ice in Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica. *J. Mar. Syst.* V. 166 (2017): pp. 26-36.

28. Smetacek V., Nicol S. Polar ocean ecosystems in a changing world. *Nature.* V. 437 (2005): pp. 362-368.

29. Thomas D.N., Dieckmann G.S. Antarctic sea ice – a habitat for extremophiles. *Science.* V. 295 (2002): pp. 641-644.

30. Tomas C.R. Identifying marine phytoplankton. San Diego, Academic Press, 1997. 858 p.

Статья поступила в редакцию 31.05.2022; одобрена после рецензирования 06.07.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 31.05.2022; approved after reviewing 06.07.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### Информация об авторах

П. Г. Беляева – канд. биол. наук, ст. науч. сотр.;

Д. Ю. Шаравин – канд. биол. наук, мл. науч. сотр.

#### Information about the authors

P. G. Belyaeva – candidate of biology, senior researcher;

D. Yu. Sharavin – candidate of biology, junior research assistant.

#### Вклад авторов:

Беляева П. Г. – научное руководство; концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

Шаравин Д. Ю. – сбор материала; пробоподготовка; подготовка графического материала; доработка текста; итоговые выводы.

#### Contribution of the authors:

Belyaeva P. G. – scientific management; research concept; writing the draft; final conclusions.

Sharavin D. Y. – sample collection and preparation; follow on revision of the text; final conclusions.

## БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.9(571.1+985)(045)

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-184-188

### Флора сосудистых растений порта Ямбург

Николай Геннадьевич Ильминских<sup>1✉</sup>, Светлана Анатольевна Красноперова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

<sup>1✉</sup> ClanDevil@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5503-0619>

<sup>2</sup> krasnoperova\_sve@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4818-6302>

**Аннотация.** Приводятся данные о флоре порта г. Ямбурга (67° 54' с. ш., 74° 48' в. д.), расположенного на Тазовском п-ове в 148.5 км к северу от Полярного круга, в Ямало-Ненецком авт. округе Тюменской обл. Площадь порта около 4 га. Вся территория засыпана песком. Сплошного растительного покрова нет, он очень изреженный. Найдено 42 вида сосудистых растений (28.07.2013 г.). За 3 года экспедиционных работ в Арктике (2012–2014 гг.) только в порту г. Ямбурга были собраны *Poa lanata* Scribn. et Merrt, *Lathyrus quinquerivis* (Miq.) Litv. ex Kom. и *Lathyrus pilosus* Cham. × *L. quinquerivis* (Miq.) Litv. ex Kom. Установлено, что данные виды являются результатом рецентных миграций. Они редкие, поэтому в других местах не были отмечены. Выявлено, что все остальные виды заносятся с прилегающих природных территорий и находятся на разных стадиях апофитизационного процесса. В ходе проведенных исследований отмечено, что преобладают представители семейства Poaceae (17 видов), на втором месте – Fabaceae (5 видов), далее – Asteraceae и Polygonaceae (по 4 вида). Самыми массовыми видами оказались *Artemisia tilesii*, *Crepis multicaulis*, *Tripleurospermum hookeri*. Заносных видов всего 3: *Poa angustifolia*, *Puccinellia distans*, *Puccinellia hauptiana*. Малое число видов объясняется северным местоположением, толстым слоем песка и слабой ролью речного транспорта как источника заноса.

**Ключевые слова:** флора, адвентивные виды, источники заноса, Арктика, речной порт, Ямбург

**Для цитирования:** Ильминских Н. Г., Красноперова С. А. Флора сосудистых растений порта Ямбург // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 184–188. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-184-188>.

**Благодарности:** экспедиция была совершена на средства конкурсного проекта фундаментальных исследований «Арктика», финансируемых Президиумом Уральского отделения РАН, № 12-4-7-009-АРКТИКА.

## BOTANY

Original article

### Flora of vascular plants of the port of Yamburg

Nikolai G. Ilminkikh<sup>1✉</sup>, Svetlana A. Krasnoperova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Udmurt State University, Izhevsk, Russia

<sup>1✉</sup> ClanDevil@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5503-0619>

<sup>2</sup> krasnoperova\_sve@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4818-6302>

**Abstract.** The data on the flora of the port of Yamburg (67° 54' s. w., 74° 48' v. d.) on the Taz Peninsula, 148.5 km north of the Arctic Circle, in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug of the Tyumen Region are presented. The port area is about 4 hectares. The whole area is covered with sand. There is no continuous vegetation cover, it is very sparse. 42 species of vascular plants were found (28.07.2013). During 3 years of forwarding work in the Arctic (2012-2014), *Poa lanata* Scribn. et Merrt, *Lathyrus quinquerivis* (Miq.) Litv. ex Kom. and *Lathyrus pilosus* Cham. × *L. quinquerivis* (Miq.) Litv. ex Kom. were collected only in the port of Yamburg. It is established that these species are the result of repeated migrations. They are rare, so they have not been noted elsewhere. It is revealed that all other species are introduced from adjacent natural territories and are at different stages of the apophitization process. In the course of the conducted studies, it was noted that representatives of the Poaceae family (17 species) predominate, Fabaceae (5 species) are in second place, followed by Asteraceae and Polygonaceae (4 species each). The most widespread species were *Artemisia tilesii*, *Crepis multicaulis*, *Tripleurospermum hookeri*. There are only 3 drift species: *Poa angustifolia*, *Puccinellia distans*, *Puccinellia*

*hauptiana*. The small number of species is explained by the northern location, a thick layer of sand and the weak role of river transport as a source of drift.

**Keywords:** flora, adventitious species, sources of drift, Arctic, river port, Yamburg

**For citation:** Ilminskikh N. G., Krasnoperova S. A. [Flora of vascular plants of the port of Yamburg]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 184-188. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-184-188>.

**Acknowledgments:** the expedition was carried out at the expense of the competition project of fundamental research "Arctic", funded by the Presidium of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, No. 12-4-7-009-ARCTIC.

## Введение

Поселок (хотя его обычно называют городом) Ямбург (67° 54' с. ш., 74° 48' в. д.) располагается в Надымском р-не Ямало-Ненецкого авт. округа Тюменской обл., в 148.5 км к северу от Полярного круга, на Тазовском п-ове, в районе впадения р. Нюдымонтолоелоко-Яха в Обскую губу. Строительство поселка началось в 1984–1985 гг. Раньше на этом месте была малоизвестная фактория "Ямбург". Железной дорогой Ямбург связан с Новым Уренгоем, но с 1985 г. железнодорожная линия фактически не действует. Флору указанного района практически никто не изучал. Е.В. Дорогостайская, занимаясь специально синантропной флорой Крайнего Севера, здесь тоже не была, в силу его малодоступности и незаселенности в те годы [Дорогостайская, 1972]. Нужно отметить, что в последние десятилетия территория района испытывает значительную антропогенную нагрузку, что приводит к трансформации растительного покрова и обогащению флоры чуждыми элементами, поэтому обследование данной территории является актуальной проблемой в плане представления об источниках заноса различных видов растений.

## Материалы и методы исследований

Ямбург – это современный поселок, построенный по северным финским технологиям. Здесь есть все для комфортного проживания. Поселок вахтовый, одновременно проживают до 5–6 тыс. человек, но это вахтовики, приезжающие сюда на 2 месяца. Постоянных жителей менее 100 человек. Попасть в Ямбург сложно, необходимы специальные документы. Администрации в нормальном понимании этого слова нет, всем жизнеобеспечением занимается компания ООО «ЯмбургГазДобыча». Питьевая вода привозная, поскольку



Район исследования

грунтовые воды содержат запредельное количество железа. Количество осадков значительное: в среднем за год выпадает 393 мм. Самый сухой месяц – март, 20 мм осадков, большая часть выпадает в октябре – 59 мм. Порт Ямбура принимает грузовые суда, которые обеспечивают месторождение всеми необходимыми конструкциями и товарами. Однако навигация имеет короткие сроки: снег выпадает в середине октября, а сходит только в конце мая.

Изучение флоры порта проводилось 28.07.2013 г. во время экспедиции в г. Ямбурге (рисунок). Порт, площадью приблизительно 4 га, весь засыпан толстым слоем песка и завален различными конструкциями.

Исследование проведено по общепринятым флористическим и геоботаническим методам изучения [Ипатов, Мирин, 2008]. Сплошного растительного покрова нет, он очень изреженный. Обилие растений по этой причине приводим по общеизвестной шкале Drude (см. ниже расположенный список видов). Гербарий собранных растений хранится в Научном гербарии Тобольской комплексной научной станции (ТКНС) УрО РАН (г. Тобольск).

## Результаты и их обсуждение

Семейство **Poaceae**: *Agrostis clavata* Trin. – г., *Calamagrostis canescens* (Weber.) Roth – sp., *C. lapponica* Wahlenb. – sp., *C. × ponojensis* Montell – un., *Deschampsia borealis* (Trautv.) Roshev. – г., *D. glauca* C. Hartm. – sol., *D. sukatschewii* (Popl.) Roshev. – un., *D. obensis* Roshev. – sp., *Festuca rubra* L. subsp. *rubra* – sol., *F. richardsonii* Hook. – sp., *Poa angustifolia* L. – г., *P. arctica* R. Br. – г., *P. lanata* Scribn. et Merr. – sp., *P. vivipara* (L.) Willd. – sp., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl. – г., *P. hauptiana* V. Krecz. – г.

Семейство **Fabaceae**: *Astragalus subpolaris* Boriss. – r., *Lathyrus pilosus* Cham. – r., *L. pilosus* Cham. × *L. quinquenervis* (Miq.) Litv. ex Kom. – r., *L. quinquenervis* (Miq.) Litv. ex Kom. – r., *Oxytropis glabra* (Lam.) DC. – r.

Семейство **Polygonaceae**: *Bistorta vivipara* (L.) S.F. Gray – un., *Polygonum aviculare* aggr. (veg.) – sp., *P. humifusum* C. Merck ex K. Koch – sol., *Rumex graminifolius* Lamb. – un.

Семейство **Asteraceae**: *Artemisia tilesii* Ledeb. – sp.gr., *Crepis multicaulis* Ledeb. – sp.gr., *Tanacetum bipinnatum* (L.) Sch. Bip. – sp., *Tripleurospermum hookeri* Sch. Bip. – sp.gr.

Семейство **Salicaceae**: *Salix glauca* L. – r., *S. nummularia* Anderss. – r., *S. phyllicifolia* L. – r.

Семейство **Brassicaceae**: *Cardaminopsis petraea* (L.) Hitt. – r., *Descurainia sophioides* (Fisch. ex Hook) O.E. Schulz – r.

Семейство **Caryophyllaceae**: *Cerastium arvense* L. – sp., *C. regelii* Ostenf. – r.

Семейство **Equisetaceae**: *Equisetum boreale* Bong. – r., *Equisetum palustre* L. – r.

Прочие семейства: *Campanula rotundifolia* (L.) s. str. – sol., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. – r., *Phlojodicarpus* sp. (veg.) – sol., *Potentilla humifusa* Willd. ex Schlecht. – r.

Самым массовым видом является *Artemisia tilesii* Ledeb. Ямбург не обязан порту ни одним специфическим заносным видом, которых вообще немного: *Poa angustifolia* L., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *P. Hauptiana* V. Krecz. За 3 года экспедиционных работ в Арктике (2012–2014 гг.) только в порту Ямбурга были собраны *Poa lanata* Scribn. et Merrt, *Lathyrus quinquenervis* (Miq.) Litv. ex Kom. и *Lathyrus pilosus* Cham. × *L. quinquenervis*. Эти виды, очевидно, являются результатом рецентных миграций. Они редкие, поэтому в других местах не были отмечены. Все остальные виды заходят с прилегающих природных территорий и находятся на разных стадиях апофитизационного процесса. В структуре парциальной флоры порта абсолютно господствуют виды сем. Poaceae (17), что подтверждает заключение Л.И. Малышева [1972] об усилении доли злаков при движении к северу. Кстати, все семейства, в которых больше одного вида: Fabaceae (5 видов), Asteraceae (4 вида), Salicaceae (3 вида), Brassicaceae, Caryophyllaceae и Equisetaceae (по 2 вида) в своем распространении тяготеют к северу, будучи термофобными [Малышев, 1972]. Исключение составляет лишь термоксерофильное семейство Polygonaceae с 4 видами.

Столь незначительное число видов (42) сосудистых растений является следствием, кроме северного местоположения, прежде всего, господствующего субстрата – толстого слоя песка. Почти на той же широте, в пос. Тазовский, на полигоне твердых бытовых отходов (ТБО), обнаружено 53 вида сосудистых растений. Впрочем, объяснение может быть и иным.

Так, еще с работы Д.И. Литвинова [1926] началось изучение роли различных источников заноса в обогащении флоры адвентивными видами. Д.И. Литвинов на первое место ставил железнодорожную насыпь как «торную дорогу» для продвижения южных видов на север. А.В. Кожевников обратил внимание на ботанические сады, в которых происходит массовое дичание интродуцентов [Кожевников, 1935]. Однако он правильно заметил, что роль ботанических садов в обогащении флоры крайне незначительна, поскольку одичавшие здесь растения за пределы ограды сада обычно не выходят. Затем А.А. Шульц на первое место выдвинул роль крупных городских свалок, или полигонов ТБО, а также больших товарных железнодорожных станций [Шульц, 1976]. Одновременно Ю.Д. Гусев продолжал настаивать на ведущей роли железных дорог [Гусев, 1977]. Позднее А.Н. Пузырев придал выдающееся значение элеваторам, хлебоприемным предприятиям и мелькомбинатам, если они работают с импортным зерном [Пузырев, 2006]. Он же обратил внимание на большую роль плодовоовощных баз и куч ракушечника на птицефабриках. Что касается шоссежных и грунтовых дорог, то они «сколько-нибудь значительной роли в отношении распространения адвентивных растений не играют» [Снарский, 1962], хотя раньше, до вытеснения гужевого транспорта, грунтовые дороги, по-видимому, играли заметную роль в заносе новых видов [Талиев, 1894].

Нам тоже удалось найти два источника – это канализационные очистные сооружения (КОСы), где не только ботаника, но и рядового горожанина бывает крайне редко в силу режимного характера этих территорий [Ильминских, 2014а], а также опытных полей как концентраторов эргазиофитов [Ильминских, Кузьмин, 2013].

С.В. Голицын показал, что «в обогащении флоры чуждыми элементами наибольшее значение имеет океанский и морской транспорт, гораздо меньшее – железнодорожные сообщения, и ничтожно малое – речной транспорт» [Голицын, 1945].

## Заключение

Суммируя все названные представления об источниках заноса, с учетом наших данных (Ильминских, 2014б), можно построить примерную шкалу источников заноса по их роли (в убывающем порядке): океанические и морские порты – крупные товарные железнодорожные станции – элеваторы – крупные полигоны ТБО – плодовоовощные базы и ракушечник – КОСы – шоссежные дороги – речные порты –

опытные поля – ботанические сады и питомники – садово-дачные кооперативы – кладбища. Речной порт г. Ямбурга в этом ряду занимает низкое место среди источников заноса.

### Список источников

1. Голицын С.В. К вопросу об антропохорных миграциях растений // Советская ботаника. 1945. № 6. С. 19–29.
2. Гусев Ю.Д. Проникновение новых адвентивных видов растений в Марийскую АССР // Ботанический журнал. 1977. Т. 62, № 3. С. 429–431.
3. Дорогостайская Е.В. Сорные растения Крайнего Севера СССР. Л.: Наука, 1972. 172 с.
4. Ильминских Н.Г. Парциальные флоры канализационных очистных сооружений (КОС) городов ХМАО // XII Зырянские чтения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Курган, 2014а. С. 236–237.
5. Ильминских Н.Г. Флорогенез в условиях урбанизированной среды. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2014б. 470 с.
6. Ильминских Н.Г., Кузьмин И.В. Опытные поля как источник обогащения синантропной флоры на примере г. Тюмень // Агропродовольственная политика России. 2013. № 3 (39). С. 17–22.
7. Ипатов В.С., Мирин Д.М. Описание фитоценоза: метод. рекомендации. СПб., 2008. 71 с.
8. Кожевников А.В. Сорная и адвентивная флора Московского ботанического сада // Бюллетень МОИП. Отд. биол., нов. сер. 1935. Т. 44, вып. 4. С. 193–204.
9. Литвинов Д.И. О южных заносных растениях на северных станциях Мурманской железной дороги // Известия АН СССР. Сер. 6. 1926. Т. 20, № 1–2. С. 59–66.
10. Малышев Л.И. Флористические спектры Советского Союза // История флоры и растительности Евразии. Л.: Наука, 1972. С. 17–40.
11. Пузырев А.Н. Изучение адвентивной флоры Удмуртской Республики // Адвентивная и синантропная флора России и стран ближнего зарубежья. Состояние и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. Ижевск, 2006. С. 83–84.
12. Снарскис П. Некоторые адвентивные растения Литовской ССР и способы и пути их распространения // Научные труды высш. учеб. заведений Лит. ССР. Сер. Биология. 1962. Т. 2. С. 107–131.
13. Талиев В. Растительность окрестностей гор. Сергача Нижегородской губ. Казань: Типолитограф. Императ. ун-та, 1894. 45 с.
14. Шульц А.А. Адвентивная флора на территории железнодорожных узлов г. Риги // Ботанический журнал. 1976. Т. 61, № 10. С. 1445–1454.
15. Ямало-Ненецкий автономный округ. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ямбург> (дата обращения: 08.05.2022).

### References

1. Golitsyn S.V. [On the question of anthropochoric migrations of plants]. *Sovetskaja botanika*. No 6 (1945): pp. 19-29. (In Russ.).
2. Gusev Yu.D. [Penetration of new adventitious plant species in the Mari ASSR]. *Botaničeskij žurnal*. V. 62, No 3 (1977): pp. 429-431. (In Russ.).
3. Dorogostajskaya E.V. *Sornye rastenija Krajnego Severa SSSR*. [Weeds of the Far North of the USSR]. Leningrad, Nauka Publ., 1972. 176 p. (In Russ.).
4. Il'minskikh N. G. [Partial flora of sewage treatment plants (CBS) of the cities of KhMAO], *XII Zyrjanovskie čtenija. Materialy Vseros. naučn.-prakt. konf.* Kurgan, 2014a, pp. 236-237. (In Russ.).
5. Il'minskikh N.G. *Florogenez v uslovijach urbanizirovannoi sredy* [Florogenesis in an urbanized environment. Yekaterinburg]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2014b. 470 p. (In Russ.).
6. Il'minskikh N.G., Kuz'min I.V. [Experimental fields as a source of enrichment of synanthropic flora on the example of the city of Tyumen], *Agropridovol'stvennaja politika Rossii*. No 3(39) (2013): pp. 17-22. (In Russ.).
7. Ipatov V.S., Mirin D.M. *Opisanie fitocenoza* [Description of phytocenosis: methodological recommendations]. St-Peterburg, 2008. 71 p. (In Russ.).
8. Kozhevnikov A.V. [Weed and adventitious flora of the Moscow Botanical Garden]. *Bjulleten' MOIP. Otd. biol., nov. ser.* V. 44, Iss. 4 (1935): pp. 193-204. (In Russ.).
9. Litvinov D.I. [On southern drift plants at the northern stations of the Murmansk Railway]. *Izvestija AN SSSR. Ser. 6.* V. 20, No 1-2 (1926): pp. 59-66. (In Russ.).
10. Malyshev L.I. [Floral spectra of the Soviet Union]. *Istorija flory i rastitel'nosti Evrazii* [History of flora and vegetation of Eurasia]. Leningrad, Nauka Publ., 1972, pp. 17-40. (In Russ.).
11. Puzyrev A. N. [The study of the adventitious flora of the Udmurt Republic]. *Adventivnaja i sinantropnaja flora Rossii i stran bližnego zarubež'ja. Sostojanie i perspektivy* [Adventitive and synanthropic flora of Russia and neighboring countries: materials of the III International Scientific Conference]. Izhevsk, 2006, pp. 83-84. (In Russ.).

12. Snarskis P. [Some adventitious plants of the Lithuanian SSR and methods and ways of their distribution]. *Naučnye trudy vysšich učebn. zavedenij Lit. SSR. Biologiya*. V. 2 (1962): pp. 107-131. (In Russ.).
13. Taliev V. *Rastitel'nost' okrestnostei gor. Sergača Nižegorodskoj gub.* [Vegetation of the surrounding mountains. Sergacha of Nizhny Novgorod province]. Kazan: Tipolitogr. Imperat. un-ta. 45 p. (In Russ.).
14. Shults A.A. [Adventive flora on the territory of railway junctions of Riga]. *Botaničeskij žurnal*. V. 61, No 10 (1976): pp. 1445-1454. (In Russ.).
15. Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. [Electronic resource]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Yamburg> (accessed 08.05.2022). (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 06.05.2022; одобрена после рецензирования 24.06.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 06.05.2022; approved after reviewing 24.06.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### **Информация об авторах**

Н. Г. Ильминских – доктор биологических наук;  
С. А. Красноперова – кандидат биологических наук.

#### **Information about the authors**

N. G. Ilminskikh – doctor of biology;  
S. A. Krasnoperova – candidate of biology.

#### **Вклад авторов:**

Ильминских Н. Г. – анализ литературы; выполнение исследования; обработка результатов; написание исходного текста.

Красноперова С. А. – анализ литературы; доработка текста.

#### **Contribution of the authors:**

Ilminskikh N. G. – literature analysis; research execution; processing of results; writing the text of the article.

Krasnoperova S. A. – literature analysis; revision of the text.

## БОТАНИКА

Научная статья

УДК 582.394(470.1/.6)

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-189-200

### Род *Dryopteris* Adans. в Европейской части России

Сергей Юрьевич Малых<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Гимназия № 31, Пермь, Россия, MSU101@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1478-2344>

<sup>2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** По результатам проведения полевых наблюдений (2015–2022 гг.), изучения гербарных коллекций заповедника «Басеги», Пермского государственного национального исследовательского университета (PERM), Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE), Южно-Сибирского ботанического сада (ALTB) и анализа литературных данных, составлены: краткая характеристика рода *Dryopteris* Adans. в Европейской части России, ключ для определения видов рода на рассматриваемой территории и их краткий обзор с необходимыми комментариями. Полевыми исследованиями охвачены Московская, Ленинградская и Мурманская области, Карачаево-Черкесская и Кабардино-Балкарская республики, Пермский и Ставропольский края, а также республика Карелия. Всего за время исследования собрано более 500 гербарных образцов, которые хранятся в коллекциях Пермского университета (PERM) и Южно-Сибирского ботанического сада (ALTB).

**Ключевые слова:** папоротники; *Dryopteris*; *Dryopteris dilatata* комплекс; группа *Dryopteris filix-mas*, филогения; морфология

**Для цитирования:** Малых С. Ю. Род *Dryopteris* Adans. в Европейской части России // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 189–200. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-189-200>.

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90102.

## BOTANY

Original article

### The genus *Dryopteris* Adans. in the European Russia

Sergey Yu. Malyh<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Gymnasium № 31, Perm, Russia, MSU101@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1478-2344>

<sup>2</sup> Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** According to the results of field studies (2015–2022), the work of herbarium collections of the Basegi Nature Reserve, Perm State University (PERM), Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (LE), South-Siberian Botanical Garden (ALTB) and the analysis of literary data compiled: a brief description of the genus *Dryopteris* Adans. in the European Russia, the key to determining the species in the territory under consideration and their brief overview with the necessary comments. The field research was conducted the Moscow, Leningrad and Murmansk Oblasts, the Karachay-Cherkess and Kabardino-Balkarian Republics, Perm and Stavropol Krajs, as well as the Karelia. In total, more than 500 herbarium specimens were collected, which are stored in the collections of Perm State University (PERM) and the South-Siberian Botanical Garden (ALTB).

**Keywords:** ferns; *Dryopteris*; *Dryopteris dilatata* complex; *Dryopteris filix-mas* group; phylogeny; morphology

**For citation:** Malyh S. Yu. [The genus *Dryopteris* Adans. in the European Russia]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 189–200. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-189-200>.

**Acknowledgments:** the reported study was funded by RFBR, project number 20-34-90102.

## Введение

Род *Dryopteris* Adans. в Европейской части России представлен как минимум 10 природными образо-

ваниями [Шмаков, 2009], которые в настоящее время рассматриваются в ранге вида<sup>1</sup>. Некоторые из этих видов тесно связаны друг с другом и потому ряд исследователей [Widén, Sarvela, Ahti, 1967; Crabbe, Jermy, Walker, 1970; Fraser-Jenkins, Corley, 1972; Rünk, Zobel, Zobel, 2012] объединяют их во внетаксономические видовые совокупности – группы, группировки, комплексы, подчёркивая *особую связь*, в содержание которой, помимо очевидного внешнего сходства, включена и общая эволюционная судьба. В Европейской части России присутствуют две крупные видовые группировки, относящиеся к роду *Dryopteris*: *D. dilatata* комплекс<sup>2</sup>, образованный *D. dilatata* (Hoffm.) A. Gray, *D. expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy, а также *D. carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs и группа *Dryopteris filix-mas*, состоящая из *D. filix-mas* (L.) Schott, *D. affinis* (Löwe) Fraser-Jenk., *D. caucasica* (A. Braun) Fraser-Jenk. & Corley и *D. oreades* Fomin. *Dryopteris dilatata* комплекс представлен в России не полностью. По всей видимости [Малых, 2017, 2022], к нам на территорию не проникает *D. dilatata*. Группа *filix-mas* отмечена в полном объёме.

Эволюционные взаимоотношения внутри обозначенных комплексов складываются следующим образом [Fraser-Jenkins, 1976; Sessa, Zimmer & Givnish, 2012; Bujnoch, 2015; Hornych, 2020]. Кавказские диплоиды *D. caucasica* и *D. oreades* являются родителями тетраплоидного *D. filix-mas*. *D. oreades* и неизвестный предковый диплоид, обозначаемый в настоящее время как *D. «semiaffinis»*, дали начало гетеродиплоиду – *D. affinis*. Аллотетраплоид *D. carthusiana* образовался в результате естественного скрещивания *D. intermedia* с неизвестным предковым видом. *D. dilatata* – гибридогенный тетраплоидный вид, родителями которого являются диплоиды *D. intermedia* и *D. expansa*. Наконец, облигатный апомиктический триплоид *D. remota* имеет одного установленного родителя – *D. carthusiana*. Второй родитель в настоящее время не найден, однако предполагается, что им может быть гипотетический *D. «semiaffinis»*, являющийся, помимо этого, одним из родителей *D. affinis*.

По причине того, что многие виды рода являются результатом естественной гибридизации между предковыми формами, состоящими в далёком родстве [Sessa, Zimmer & Givnish, 2012; Bujnoch, 2015], построение системы рода, а именно – выделение секций, вызывает определённые трудности. Согласно правилам Международного кодекса номенклатуры водорослей, грибов и растений, каждый вид (вне зависимости от способа его происхождения) должен быть помещен в какую-то единственную секцию, что, при работе с гибридогенными видами, приводит к формированию категорий, содержащих больше *субъективную*, нежели *объективную* составляющую. Для решения или, вернее, маскировки данной проблемы<sup>3</sup> Фрейзер-Дженкинс [Fraser-Jenkins, 1986], предложивший систему рода *Dryopteris*, которая используется и по сей день, выделил гибридогенную секцию *Remotae* и поместил туда все аллополиплоиды, родительские диплоиды которых принадлежат к секциям, значительно отдаленным друг от друга.

В настоящей работе было принято решение отказаться от указания секций, однако классический объём рода, изложенный в публикации «A classification of the genus *Dryopteris* (Pteridophyta: *Dryopteridaceae*)» [Fraser-Jenkins, 1986], сохранён с теми изменениями, которые вносил сам автор [Fraser-Jenkins, 2007].

## Материал и методика

Как было замечено ранее [Малых, 2017], при работе с гербарием, где представлена одна вайя с растения (при сборе папоротников, как правило, гербаризируется одна вайя), довольно часто получается так, что образец обнаруживает признаки сразу двух сходных видов и определяется с трудом, либо не определяется вообще. В связи с этим в рамках данной работы был выбран метод сбора, который предполагал гербаризацию трех вай с одного растения, что позволило оценить диапазон изменчивости ряда спорных признаков, используемых в ключах для определения. Среди них: цвет, оттенок и характер поверхности пластинки вайи, отношение длины наибольших базальных сегментов 2-го порядка к длине базальных

---

<sup>1</sup> Для многих исследователей, которые сколько-нибудь серьёзно работали с родом *Dryopteris*, ранг вида и внутривидовое деление носят условный характер. Фрейзер-Дженкинс [2007], посвятивший несколько десятилетий работе с родом, писал, что помещает то или иное природное образование (морфотип, цитотип и т.д.) в ранг вида или подвида, руководствуясь не теорией, а практикой: если большое количество исследователей могут отличить один морфотип от другого, значит это вид, если же морфотип узнаётся с трудом – мы можем говорить о подвиде, разновидностях и т.д.

<sup>2</sup> Последние результаты [Bujnoch, 2015], полученные с применением методов молекулярно-генетического анализа, говорят о том, что классический объём *Dryopteris dilatata* комплекса требует пересмотра. Помимо трёх известных видов, комплекс должен включать *D. remota* и *D. intermedia*. Близость *D. remota* и *D. intermedia* к *Dryopteris dilatata* комплексу подтверждается как морфологическими данными, так и анализом ядерного гена *PgiC*.

<sup>3</sup> Правила, содержащиеся в Международном кодексе номенклатуры водорослей, грибов и растений, которые являются причиной описанной проблемы, дошли до нас в практически неизменном виде с того времени, когда представления о сетчатом характере эволюции растений ещё не были сформированы. По этой причине удовлетворительное решение проблемы размещения гибридогенных видов в системе последует только после корректировки фундаментальных представлений о биоразнообразии и принципов его структурирования.

сегментов 1-го порядка, цвет и оттенок чешуек на черешке, наличие или отсутствие железистых волосков, длительность жизни вай и их способность к перезимовке.

В период с 2015 по 2022 гг. автором статьи были предприняты экспедиции с целью сбора гербарного материала и оценки способности вай к перезимовке (последнее стало возможно благодаря повторному возвращению в места экспедиций в разное время года). Полевыми исследованиями охвачены Московская, Ленинградская и Мурманская области, Карачаево-Черкесская и Кабардино-Балкарская республики, Пермский и Ставропольский края, а также республика Карелия. Во всех перечисленных субъектах Российской Федерации осуществлялась оценка способности вай к перезимовке. Сбор гербарного материала проходил везде, кроме республики Карелия. Всего за время исследования было собрано более 500 гербарных образцов, которые хранятся в коллекциях Пермского университета (PERM) и Южно-Сибирского ботанического сада (ALTB).

Ниже приводятся краткая характеристика рассматриваемого рода, ключ для определения видов, отмеченных на территории Европейской части России, и их краткий обзор. Распространение цитируется по «Определителю папоротников России» [Шмаков, 2009], экологические и морфологические описания, а также фитоценологические характеристики составлены на основании собственных полевых наблюдений, изучения гербарных коллекций заповедника Басеги, Пермского государственного национально-исследовательского университета (PERM), Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE), Южно-Сибирского ботанического сада (ALTB), а также цифрового гербария МГУ и Kew Gardens.

Для составления ряда морфологических описаний были использованы данные из некоторых крупных публикаций: «Флора СССР» [Фомин, 1934], «*Dryopteris caucasica* – an ancestral diploid in the male aggregate» [Fraser-Jenkins, Corley, 1972], «*Dryopteris caucasica*, and the cytology of its hybrids» [Fraser-Jenkins, 1976], «Биологическая флора Московской области» [Науялис, Филин, 1983], «Флора Сибири» [Данилов, 1988], «Flora Europaea» [Fraser-Jenkins, 1993], «The Species and subspecies in the *Dryopteris affinis* group» [Fraser-Jenkins, 2007], «New flora of the British Isles» [Stace, 2010], «Biological Flora of the British Isles: *Dryopteris carthusiana*, *D. dilatata* and *D. expansa*» [Rünk, Zobel, Zobel, 2012], «Some taxa within the ‘*Dryopteris affinis*’ complex» [Trewman, Pigott, 2014]. Плоидность и способ размножения взяты из: «Unraveling reticulate evolution in North American *Dryopteris* (*Dryopteridaceae*)» [Sessa, Zimmer & Givnish, 2012], «A contribution to the phylogeny of *Dryopteris remota* by genotyping of a fragment of the nuclear *PgiC* gene» [Bujnoch, 2015], «Reproduction and hybridization in ferns» [Hornych, 2020]. Эволюционные взаимоотношения, описываемые во введении, являются обобщением данных из следующих источников: «*Dryopteris caucasica*, and the cytology of its hybrids» [Fraser-Jenkins, 1976], «Unraveling reticulate evolution in North American *Dryopteris* (*Dryopteridaceae*)» [Sessa, Zimmer & Givnish, 2012], «A contribution to the phylogeny of *Dryopteris remota* by genotyping of a fragment of the nuclear *PgiC* gene» [Bujnoch, 2015], «Reproduction and hybridization in ferns» [Hornych, 2020].

Данные, полученные в ходе исследования, сравнивались с наиболее поздними обработками рода *Dryopteris*, составленными по материалам с территории России. Крупнейшие из них: система рода, впервые представленная Н.Н. Цвелёвым в 2003 г. и изложенная в практически неизменном виде в Конспекте флоры Восточной Европы [Конспект флоры ..., 2012] и система А.И. Шмакова [2009], которая дана во втором издании «Определителя папоротников России».

## Результаты и их обсуждение

Род *Dryopteris* Adans., 1763, Fam. Pl. 2: 20, 551, nom. cons. Typus: *D. filix-mas* (L.) Schott.

Корневище короткое, более-менее толстое, горизонтальное, обычно с вертикальной или восходящей верхушкой, окружено спирально расположенными основаниями отмерших вай. Вайи обычно довольно крупные (в среднем до 100 см выс.), дважды- или триждыперистые (иногда почти четырёхждыперистые), часто имеют желёзки и/или волосковидные чешуйки. Чешуйки плёнчатые, покрывают черешок, рахис (хотя бы в небольшом количестве) и корневище. Черешок без сочленения. Пластинка вайи травянистая или кожистая. Сегменты 1-го порядка (перья) симметричные в верхней части пластинки вайи, симметричные или асимметричные – в нижней. Конечные сегменты (пёрышки), особенно в своей верхней части, имеют зубцы: от едва различимых и тупых до явных и заостренных. Вершины зубцов никогда не заканчиваются единственным длинным и твёрдым острием (как это бывает у видов рода *Polystichum* Roth). Сорусы округлые, расположены двумя рядами на конечных сегментах вайи. Индузии более-менее крупные, покрывают сорусы целиком, гладкие или слегка сморщенные, почковидные (с одной из сторон всегда имеется глубокий узкий надрез, который доходит до центральной части – места прикрепления к сорусу), с цельным (в молодом состоянии) краем, не плоские (край слегка загибается книзу, как бы обхватывая сорус), белые (без хлоропластов). Споры билатеральные.

Для рода характерны полиплоидизация и межвидовая гибридизация, которая приводит к образованию циторас и гибридогенных видов.

### Ключ для определения видов

Некоторые эйдологические единицы, обозначенные здесь традиционными видовыми биноминалами, являются гетеродиплоидными или аллотетраплоидными природными образованиями (см. таблицу). Данное обстоятельство определяет то, что их морфологические отличия имеют скорее *количественный*, нежели *качественный* характер, а потому при определении конкретного растения следует обращать внимание на ряд *неморфологических* признаков, предлагаемых в данном ключе.

1. Вайи в нижней части пластинки трижды-четыреждыперистые. Конечные сегменты вай несут крупные зубцы, переходящие в заметное острие на верхушке ..... 2
- + Вайи в нижней части пластинки дваждыперистые. Конечные сегменты вай несут мелкие зубцы, иногда переходящие в небольшое острие на верхушке ..... 4
2. Чешуйки на черешке редкие, на всём протяжении только одноцветные, светло-бурые .... *D. carthusiana*
- + Черешок густо покрыт двуцветными чешуйками: с тёмно-бурой продольной полосой посередине, либо с тёмно-бурой точкой в основании ..... 3
3. Пластинки вай дельтовидные, дельтовидно-овальные. Распространён по всей России ..... *D. expansa*
- + Пластинки вай продолговато-овальные. Распространён на Кавказе ..... *D. remota*
4. У взрослых хорошо развитых особей вайи до 40–50 см дл., густо покрыты короткими железистыми волосками, которые источают сильный аромат. На скалах, каменистых склонах, осыпях ..... 5
- + У взрослых хорошо развитых особей вайи от 80 см дл., (иногда) покрыты короткими железистыми волосками, которые не имеют запаха. В хвойных, лиственных и смешанных лесах, зарослях кустарников, на сырых каменистых осыпях (редко), сограх и лесных болотах ..... 6
5. Пластинки вай от ланцетных до узкоэллиптических, почти всегда с усечённым основанием. Самая широкая часть располагается в основании пластинки или очень близко к нему. Сегменты 1-го порядка (перья) в основном продолговатые, с острой верхушкой. Черешок примерно 1/3, реже 1/2 длины пластинки вайи ..... *D. villarii*
- + Пластинки вай от ланцетных до линейно-ланцетных, к основанию постепенно и сильно суженные. Самая широкая часть располагается в середине пластинки. Сегменты 1-го порядка (перья) от ланцетных до треугольных, с притупленной верхушкой. Черешок короткий, примерно 1/4 или 1/8 длины пластинки вайи ..... *D. fragrans*
6. Конечные сегменты вай острозубчатые. Зубцы переходят в небольшое мягкое острие. Спороносные вайи значительно длиннее вегетативных, их рахис в верхней половине без или почти без чешуй и волосков. Произрастает в сырых и заболоченных лесах, на лесных болотах ..... *D. cristata*
- + Конечные сегменты вай острозубчатые. Зубцы никогда не заканчиваются острием. Спороносные вайи не отличаются от вегетативных, их рахис в верхней половине несёт чешуи и/или волоски. В хвойных, широколиственных, лиственных и смешанных лесах, у подножья и в трещинах скал ..... 7
7. Базальные сегменты 1-го порядка асимметричные: базископические сегменты 2-го порядка длиннее акроскопических. У основания и в нижней части черешок покрыт редкими буроватыми чешуями и волосками. Распространён на Кавказе ..... *D. caucasica*
- + Базальные сегменты 1-го порядка симметричные: базископические сегменты 2-го порядка примерно равны акроскопическим. У основания и в нижней части черешок покрыт множеством чешуй и волосков ..... 8
8. Пластинки вай глянцевые, от узкоэллиптических до продолговато-ланцетных, с заострённой верхушкой и клиновидным основанием. Чешуйки и волоски отходят почти под прямым углом от черешка и рахиса (оттопырены) ..... *D. affinis*
- + Пластинки вай матовые или едва глянцевые, с заострённой верхушкой и усечённым основанием. Чешуйки и волоски обычно плотно прилегают к черешку и рахису ..... 9
9. Сегменты 1-го порядка плоские. Сегменты 2-го порядка (перышки) с усечённым основанием и закруглённой или слегка заострённой верхушкой, цельные с городчато-зубчатыми краями или с несколькими лопастями (реже – долями), которые несут короткие острые зубцы. Распространён по всей России ..... *D. filix-mas*
- + Сегменты 1-го порядка часто слегка подогнуты вовнутрь. Сегменты 2-го порядка (перышки) с усечённым основанием и тупой верхушкой, цельные с городчато-зубчатыми краями или с едва выраженными лопастями, которые несут короткие тупые зубцы. Распространён на Кавказе ..... *D. oreades*

### Морфологические описания

*D. carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, 1958, Bull. Soc. Bot. Fr. 105: 339. – **Щ. картузи́анский**, или **Карту́зуса**, или **игольчатый**, или **ланцетногребенчатый**, или **шартрёзский**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В хвойных, лиственных и смешанных лесах, зарослях кустарников, на сырых камени-

стых осыпях (редко), сограх и лесных болотах. – **Евр. ч.** (Аркт., Сев., Зап., Вост., Кавк.), **Урал** (Сев., Средн., Южн.), **Зап. Сиб.** (Обск., Тобол., Иртыш., Алт.), **Вост. Сиб.** (Анг.-Саян., Вит.-Алд., Даур.).

Корневище толстое, короткое, косое или (реже) удлинённое и более тонкое, стелющееся. Вайи при близком произрастании особи с другими растениями резко вверх направленные, при одиночном произрастании – более-менее раскидистые, обычно до 70, реже до 100 (150) см дл. и 25 см шир. Черешок обычно короче (примерно 1/4) длины пластинки вайи, покрыт редкими одноцветными светло-бурыми чешуйками без тёмной центральной полосы. Пластинки вай от продолговато-овальных до яйцевидных, с различной степенью рассеченности: на большей протяжённости они дважды-, в основании – триждыперистые. Нижние сегменты 1-го порядка (базальные перья) треугольно-ланцетные, почти супротивные, значительно отставлены от остальных, несимметричные. Остальные перья (обычно до 25 пар) ланцетные, при близком произрастании особи с другими растениями ориентированы практически горизонтально относительно поверхности земли. Сегменты 2-го порядка (пёрышки) плоские, продолговатые, перисторассечённые, самые нижние – на черешочках, верхние – сидячие (часто сливаются между собой), все с зубчиками, переходящими в мягкое острие. Сорусы сгруппированы в основании пластинки вайи, по одному или в двух рядах на каждом пёрышке, почковидные, 0,5–1 мм в диаметре.

**D. expansa** (C. Presl) Fras.-Jenk. et Jermy, 1977, Fern Gaz. 11: 338. – **Щ. захватывающий**, или **распростёртый**, или **широкий**, или **расширенный**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В хвойных, лиственных и смешанных лесах, на лесных болотах (редко). – **Евр. ч.** (Аркт., Сев., Зап., Вост., Кавк.), **Урал** (Сев., Средн., Южн.), **Зап. Сиб.** (Обск., Алт.), **Вост. Сиб.** (Путор., Тунг., Анг.-Саян., Вит.-Алд., Даур.), **Дальн. Вост.** (Анад., Камч., Охот., Амг., Зее-Бур., Сах., Кур., Усс.).

Корневище толстое, короткое. Вайи при близком произрастании особи с другими растениями образуют плотную розетку, при одиночном произрастании – широко раскидистые, обычно до 80, реже до 100 см дл. и 30 см шир. Черешок обычно короче (примерно 1/2) длины пластинки вайи, покрыт большим количеством (особенно в нижней трети) крупных бурых чешуек с тёмной центральной полосой или точкой в основании. Пластинки вай дельтовидные, дельтовидно-овальные, с различной степенью рассеченности: в верхней части они дважды-, в основании – трижды-четыреждыперистые. Нижние сегменты 1-го порядка (базальные перья) наиболее длинные, либо (крайне редко) немного уступают следующей паре перьев (отчего пластинка вайи в общем очертании напоминает широкий треугольник), несимметричные. Остальные перья от треугольно-овальных до ланцетных, на коротких черешочках, равноудалены друг от друга, при близком произрастании особи с другими растениями ориентированы практически горизонтально относительно поверхности земли. Сегменты 2-го порядка обычно в числе 9–17, продолговатые, большей частью перисторассечённые, часто с выпуклыми лопастями и с многочисленными узкими чешуйками по осям, самые нижние на черешочках. Сегменты 3-го порядка часто удлинённые и тупые, на верхушке растопыренно-зубчатые. Зубцы длинные, переходят в мягкое острие. Сорусы сгруппированы в основании пластинки вайи, почковидные, 0,5–1 мм в диаметре, обычно в двух рядах на каждом пёрышке.

**D. remota** (A. Br. ex Döll.) Druce, 1908, List Brit. Pl.: 87. – **Щ. отдалённый**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В хвойных, хвойно-широколиственных и смешанных лесах, зарослях кустарников. – **Евр. ч.** (Кавк.).

Корневище толстое, короткое, косое или (реже) удлинённое и более тонкое, стелющееся. Вайи обычно до 70, реже до 100 см дл. и 25 см шир. Черешок обычно короче (примерно 1/4) длины пластинки вайи, густо покрыт бурыми чешуйками с тёмной центральной полосой или точкой в основании. Пластинки вай от продолговато-овальных до яйцевидных, с различной степенью рассеченности: на большей протяжённости они дважды-, в основании – триждыперистые. Нижние сегменты 1-го порядка (базальные перья) треугольно-ланцетные, почти супротивные, несимметричные. Остальные перья ланцетные, при близком произрастании особи с другими растениями ориентированы практически горизонтально относительно поверхности земли. Сегменты 2-го порядка (пёрышки) плоские, продолговатые, перисторассечённые, самые нижние – на черешочках, верхние – сидячие (часто сливаются между собой), все с зубчиками, переходящими в мягкое острие. Сорусы сгруппированы в основании пластинки вайи в одном или двух рядах на каждом пёрышке, почковидные, 0,5–1 мм в диаметре.

ПРИМЕЧАНИЕ. В 1834 г. Александр Браун обнаружил странное растение недалеко от Баден-Бадена (Баден-Вюртемберг/Германия). Он подумал, что обнаруженный экземпляр является разновидностью *D. villarii* (согласно номенклатуре того времени – *Aspidium rigidum*). В 1843 г. Иоганн Кристоф Дёлль в “Rheinische Flora” [Döll, 1843] указал наличие этой разновидности для *D. villarii*, ссылаясь на находку Брауна. Позже, в 1851 г. Браун изменил свою точку зрения и в книге “Bächtungen über die Vereichtung der Reichung in der Natur” [Braun, 1851] отметил, что найденный им в 1834 г. экземпляр является гибридом *D. filix-mas* и *D. carthusiana* или *D. dilatata*. Он поместил данный гибрид в ранг вида и дал ему название – *Aspidium remotum*.

В 1859 г. А. Браун обнаружил единственное растение *D. remota* среди большой популяции *D. filix-mas* вблизи Ахена (Северный Рейн-Вестфалия/Германия). Это привело его к выводу, что *D. remota* должен быть разновидностью *D. filix-mas*. Он не понял, что найденное им растение не *D. remota*, а какой-то дру-

гой морфологически схожий гибрид. В том же году он пересадил это растение в Ботанический сад Берлина в течение последующих 15 лет отправлял неправильно подписанные *exsiccata* в другие гербарии [Benl & Eschelmüller, 1973]. Детальное изучение образца вай в одном из гербариев показало, что находка Брауна была вторым экземпляром тетраплоидного гибрида<sup>4</sup> *D. carthusiana* × *D. filix-mas*, обнаруженного ранее на оз. Уиндермир (северо-запад Англии) [Krause, Nachtel, Bennert, 2001].

На протяжении всего XX в. разными исследователями предлагались возможные родители *D. remota*. Среди них *D. dilatata* и *D. affinis* [Добр, 1932, 1933, 1935, 1939, 1955], *D. affinis* и *D. expansa* [Widén et al., 1971] и т.д., однако ни одна из этих точек зрения не находила серьёзного подтверждения<sup>5</sup>. Чтобы пролить свет на продолжающиеся дискуссии, в 2015 г. группой авторов [Vujnoch, 2015] был изучен ядерный *PgiC*-маркер нескольких видов рода *Dryopteris*. Результаты данного исследования позволяют сделать вывод, что одним из родителей *D. remota* является *D. carthusiana*, а вторым – гипотетический диплоидный таксон *D. "semiaffinis"*.

***D. villarii*** (Bellardi) Woyn. ex Schinz & Thell., 1915, Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 60: 339. – **Щ. Виллара**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – На известняковых скалах, каменистых склонах в альпийском и субальпийском поясах. – **Евр. ч.** (Кавк.).

Корневище небольшое, обычно до 10–15 см дл., от горизонтального до восходящего, старые участки густо покрыты черновато-коричневыми отмершими основаниями вай, молодые участки с многочисленными светло-бурыми ланцетными чешуйками. Вайи собраны в компактную розетку, по 4–5 шт., обычно 25–50 см дл. и до 5–13 см шир. Черешок примерно 1/3, реже 1/2 длины пластинки вайи, утолщенный, темно-коричневый у основания и соломенно-желто-зеленоватый в верхней своей части. У основания густо покрыт яйцевидно-ланцетными или ланцетовидными тёмно-бурыми или (реже) тёмно-красными одноцветными чешуями и волосками, которые становятся более редкими в верхней части. Пластинки вай жёсткие, кожистые, от ланцетных до узкоэллиптических, почти всегда с усечённым основанием, дваждыперистые. Самая широкая часть располагается в нижней части пластинки или очень близко к ней, верхушка довольно острая. Сегменты 1-го порядка (перья) в основном продолговатые, с острой верхушкой, самые нижние короткочерешковые с клиновидными основаниями, остальные – сидячие. Нижние сегменты отходят от рахиса под углом около 60°, верхние – почти под прямым. Сегменты 2-го порядка имеют округлые доли с (1–) 2–4 (–6) острыми зубцами на верхушке. Все надземные части растения густо покрыты короткими желтоватыми железистыми волосками, которые источают бальзамический аромат. Сорусы 0.7–1 мм, плотные, расположены в два ряда (от четырех до шести в ряду) на каждом пёрышке, при созревании почти полностью закрывают нижнюю поверхность сегментов. Индузии почковидные, покрыты желёзками.

***D. fragrans*** (L.) Schott, 1834, Gen. Fil.: tab. 9. – **Щ. пахучий**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – На скалах, каменистых склонах, осыпях. – **Евр. ч.** (Аркт., Сев.), **Урал** (Сев.), **Зап. Сиб.** (Алт.), **Вост. Сиб.** (Аркт., Путор., Тунг., Лен.-Вил., Анг.-Саян., Вит.-Алд., Даур., Ян.-Кол.), **Дальн. Вост.** (Чук., Анад., Камч., Охот., Амг., Зее-Бур., Сах., Усс.).

Корневище короткое, толстое, обычно до 10 см дл., от горизонтального до восходящего, старые участки несут отмершие части вай (либо погибшие после зимовки вайи целиком), молодые участки с многочисленными светло-бурыми чешуйками. Вайи собраны в компактную розетку по 4–5 шт., обычно до 40 см дл. и до 8 см шир. Черешок короткий, примерно 1/4 или 1/8 длины пластинки вайи, светло-коричневый по всей длине. Густо покрыт яйцевидно-ланцетными или ланцетовидными светло-бурыми одноцветными чешуями, а также почти сидячими золотистыми желёзками. Пластинки вай жёсткие, кожистые, от ланцетных до линейно-ланцетных, к основанию постепенно и сильно суженные, дваждыперистые. Самая широкая часть располагается в середине пластинки, верхушка довольно острая. Сегменты 1-го порядка (перья) от ланцетных до треугольных, с притупленной верхушкой, сидячие. Все сегменты 1-го порядка отходят от рахиса под углом около 90°. Сегменты 2-го порядка (пёрышки) от яйцевидных до продолговатых, к основанию не суженные, по краям туповато-зубчатые или мелколопастные. Все надземные части растения густо покрыты короткими желтовато-оранжевыми железистыми волосками, которые источают сильный аромат. Сорусы 0.7–0.9 мм, плотные, расположены в два ряда (обычно по

<sup>4</sup> В настоящее время данные цитологии [Manton, 1950], морфологии [Krause, Nachtel, Bennert, 2001; Freigang, Vujnoch, Zenner, 2013], хемотаксономии [Widén et al., 1976] и молекулярной генетики [Freigang, Vujnoch, Zenner, 2013] позволяют безошибочно различать *D. remota* и гибрид с оз. Уиндермир.

<sup>5</sup> *D. remota* является гетеротриплоидом [Manton, 1950]. Его геном содержит два набора хромосом аллотетраплоидного *D. carthusiana* [Vujnoch, 2015] и один набор хромосом второго родителя. Это исключает *D. affinis*, *D. filix-mas* и *D. dilatata* из претендентов на роль возможного предка *D. remota*. Будучи апомиктическим таксоном, *D. affinis* передал бы оба набора хромосом *D. remota*, в результате чего получился бы тетраплоид. *D. filix-mas* и *D. dilatata*, в свою очередь, тоже передали бы ровно два набора, поскольку являются тетраплоидами.

два-три) на каждом пёрышке, при созревании не закрывают нижнюю поверхность сегментов. Индузии почковидные, покрыты железками.

*D. cristata* (L.) A. Gray, 1848, Man. Bot.: 631. – **Щ. гребёнчатый**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В сырых и заболоченных лесах, на лесных болотах. – **Евр. ч.** (Сев., Зап., Вост.), **Урал** (Сев., Средн., Южн.), **Зап. Сиб.** (Обск., Tobol., Ирт., Алт.).

Корневище укороченное, толстое, косое. Вайи двух видов: спороносные и стерильные. Спороносные вайи длиннее стерильных, направлены резко вверх, обычно 30–50, реже до 70 см дл. и 6–15 см шир. Стерильные вайи более-менее раскидистые, обычно 3/4 от дл. спороносных вай и до 15 см шир. Черешок короче (примерно 1/3–1/2) длины пластинки вайи, покрыт редкими одноцветными бурыми чешуйками. Пластинки спороносных вай удлинённо-ланцетные, у стерильных – продолговатые, на большом своём протяжении дважды-перистые. Сегменты 1-го порядка (перья) на вегетативных вайях сближенные, на спороносных – несколько расставленные, очередные, зачастую (особенно в нижней части вайи) направлены вверх, плоские. Базальные перья на черешочках, треугольно-ланцетные или коротко-дельтовидные с сердцевидным основанием, короче и шире остальных перьев. Сегменты 2-го порядка (пёрышки) продолговатые, тупые, по краю зубчатые. Зубцы острые, оттянуты в небольшое острие. Сорусы крупные, почковидные, немногочисленные, расположены в два ряда.

*D. caucasica* (A. Br.) Fraser-Jenkins et Corley, 1972, Brit. Fern Gaz. 10(5): 221–231. – **Щ. кавказский**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В хвойных, хвойно-широколиственных и широколиственных лесах. – **Евр. ч.** (Кавк.).

Корневище мощное, обычно около 35 см длиной и 10 см в диаметре, у молодых растений вертикальное, позже лежащее, неразветвлённое, густо покрыто ланцетными, одноцветными, тёмно-бурими чешуйками. Вайи обычно в плотной розетке, до 100 см дл. и до 35 см шир. Черешок короче (примерно 1/4–1/2, реже 1/6) длины пластинки вайи, бледно-желтовато-зеленый или почти белый в зрелом состоянии, покрыт редкими одноцветными, ланцетными или линейно-ланцетными чешуями и волосками длиной до 2 см. Молодые чешуи светло-бурые, с возрастом они темнеют. Рахис, как и черешок, имеет чешуи, которые становятся бледными и очень узкими ближе к вершине. Пластинки вай плоские, травянистые, от яйцевидно-ланцетных до эллиптических, с (иногда) усечённым основанием и заострённой верхушкой, почти на всём своём протяжении дваждыперистые. Верхняя поверхность вайи обычно бледно-зеленая. Сегменты 1-го порядка (перья) отходят почти под прямым углом от рахиса, плоские, до 20 см дл, до 5 см шириной, сидячие или на очень коротких черешочках, в очертании от ланцетных до эллиптических, часто асимметричные: базископические сегменты 2-го порядка длиннее акроскопических, вершина вытянута. Сегменты 2-го порядка (пёрышки) узколанцетные, у основания усеченные, верхушка острая. Базальная пара имеет короткие черешочки с крылом. Средние сегменты 2-го порядка сидячие, обычно намного длиннее первой (базальной) пары. Края пёрышек глубоко разделены, почти рассечены, с 2–5 острыми зубцами. Первая пара долей первого базископического сегмента 2-го порядка несколько больше остальных и обычно несёт по 8–10 зубчиков. Зубцы острые и отчетливо видны, без острия на верхушке. Сорусы располагаются парами на каждом конечном сегменте. Индузии диаметром 1–2 мм, плоские, почковидные, очень тонкие, иногда имеют рваный край.

*D. affinis* (Löwe) Fraser-Jenkins, 1979, Brit. Fern Gaz. 12(1): 56. – **Щ. родственный**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В хвойных, хвойно-широколиственных и смешанных лесах, на каменистых осыпях. – **Евр. ч.** (Зап., Кавк.).

Корневище мощное, обычно до 30–35 см длиной и до 10 см диаметром, у молодых растений вертикальное, позже лежащее. Вайи при произрастании особи на каменистых осыпях образуют плотную розетку, при произрастании в лесных фитоценозах – более-менее раскидистые, обычно 50–90, реже до 100 см дл. и до 30 см шир. Черешок короче (примерно 1/6–1/8) длины пластинки вайи, покрыт большим количеством (особенно в нижней трети) коротких чешуек и волосков (на живых растениях хорошо заметно, что чешуи и волоски сильно оттопырены). Чешуи разнообразного цвета, чаще всего от светло- до темно-золотисто-бурого, с более темными центральными частями и основаниями, но не двуцветные. Пластинки вай плоские, глянцевые, кожистые, от узкоэллиптических до продолговато-ланцетных, с заострённой верхушкой и клиновидным основанием, с наибольшей шириной в своей средней части, почти на всём своём протяжении дваждыперистые. Сегменты 1-го порядка (перья) симметричные, плоские, очередные, по 22–42 с каждой стороны, сидячие или короткочерешковые, 1.5–3 см шириной, не сужаются или почти не сужаются на большом протяжении своей длины, в очертании от линейно-ланцетных до треугольных (базальная пара перьев), с усечённым основанием. Сегменты 2-го порядка (перышки) продолговатые, с усечённым основанием и тупой верхушкой, цельные, с городчато-зубчатыми краями. Зубцы короткие, всегда притуплены, без острия на верхушке. Сорусы располагаются парами на каждом конечном сегменте. Индузии диаметром 1–2 мм, сильно выпуклые, почковидные, цельнокрайние.

*D. filix-mas* (L.) Schott, 1834, Gen. Fil.: tab. 9. – **Щ. мужской**, или **аптёчный**, или **Папоротник мужской**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В хвойных, широколиственных, лиственных и смешанных лесах, зарослях кустарников, у подножья гранитных скал, в трещинах скал (редко), по окраинам

верховых болот и берегам лесных ручьев. – **Евр. ч.** (Сев., Зап., Вост., Кавк.), **Урал** (Сев., Средн., Южн.), **Зап. Сиб.** (Тобол., Алт.), **Вост. Сиб.** (Тунг., Анг.-Саян., Вит.-Алд., Даур.).

Корневище мощное, обычно 20–35 см длиной и до 5–10 см диаметром, у молодых растений вертикальное, позже полегающее, от косоугольного до дуговидного, редко почти горизонтальное. Вайи при близком произрастании особи с другими растениями образуют плотную розетку, при одиночном произрастании – широко раскидистые, обычно 40–80, реже до 140 см дл. и до 40 см шир. Черешок короче (примерно 1/3–1/4) длины пластинки вайи, покрыт большим количеством (особенно в нижней трети) коротких (до 3.5 мм дл.) чешуек и волосков. Молодые чешуи соломенно-жёлтые, с возрастом они буреют. Пластинки вай плоские, едва кожистые, от овально-ланцетных до продолговато-ланцетных, с усечённым основанием и заострённой верхушкой, с наибольшей шириной в своей средней части или чуть выше середины (самые длинные перья 4–14 снизу), почти на всём своём протяжении дваждыперистые. Сегменты 1-го порядка (перья) очередные, отходят почти под прямым углом от рахиса по 15–35 с каждой стороны, плоские, 1.5–3 см шир., сидячие или на очень коротких черешочках, в очертании от продолговато-ланцетных до линейных, усечённые в основании и постепенно заострённые к верхушке. Сегменты 2-го порядка (перышки) от округлых до продолговато-ланцетных, с усечённым основанием и закруглённой, реже слегка заострённой верхушкой, цельные с городчато-зубчатыми краями или с несколькими лопастями (реже – долями), которые несут зубцы. Зубцы короткие, острые, направлены вверх, без острия на верхушке. Сорусы располагаются парами на каждом конечном сегменте. Индузии диаметром 1–2 мм, почковидные, очень тонкие, цельнокрайние.

**D. oreades** Fomin, 1911, Věstn. Tiflissk. Bot. Sada 18: 20. – **Щ. подальпийский**, или **высокогорный**. – Многолетний поликарпик, гемикриптофит. – В хвойных и смешанных лесах, в зарослях кустарников субальпийского пояса, на осыпях, среди гранитных скал. – **Евр. ч.** (Кавк.).

Корневище мощное, обычно 20–30 см длиной и до 5–8 см диаметром, у молодых растений вертикальное, позже полегающее. Вайи при близком произрастании особи с другими растениями образуют плотную розетку, при одиночном произрастании – более-менее раскидистые, обычно 50–90, реже до 120 см дл. и до 30 см шир. Черешок короче (примерно 1/6–1/8) длины пластинки вайи, покрыт большим количеством (особенно в нижней трети) коротких чешуек и волосков. Молодые чешуи соломенно-жёлтые, с возрастом они буреют. Пластинки вай плоские, кожистые, от продолговато-ланцетных до узколанцетных, с усечённым основанием и заострённой верхушкой, с наибольшей шириной в своей средней части, почти на всём своём протяжении дваждыперистые. Сегменты 1-го порядка (перья) симметричные, очередные, отходят от рахиса под углом около 60° (что связано с особенностями произрастания) по 16–40 с каждой стороны, часто слегка подогнуты вовнутрь, 1.5–3 см шир., сидячие, в очертании от линейно-ланцетных до продолговатых, усечённые в основании и постепенно заострённые к верхушке. Сегменты 2-го порядка (перышки) от округлых до продолговатых, с усечённым основанием и тупой верхушкой, цельные с городчато-зубчатыми краями или с едва выраженными лопастями, которые несут зубцы. Зубцы короткие, всегда притуплены, без острия на верхушке. Сорусы располагаются парами на каждом конечном сегменте. Индузии диаметром 1–2 мм, кожистые, выпуклые, почковидные, цельнокрайние.

#### Уровни плоидности и способы размножения

Список обсуждаемых таксонов с избранными характеристиками: плоидность и способ размножения  
[A list of taxa under study with selected characteristics: ploidy level, mode of reproduction]

Вид	Плоидность	Способ размножения
<i>Dryopteris affinis</i>	2x (гетеродиплоид)	Апомиксис
<i>Dryopteris carthusiana</i>	4x (аллотетраплоид)	Половой
<i>Dryopteris caucasica</i>	2x	Половой
<i>Dryopteris cristata</i>	4x (аллотетраплоид)	Половой
<i>Dryopteris expansa</i>	2x	Половой
<i>Dryopteris filix-mas</i>	4x (аллотетраплоид)	Половой
<i>Dryopteris fragrans</i>	2x	Половой
<i>Dryopteris oreades</i>	2x (гомодиплоид)	Половой
<i>Dryopteris remota</i>	3x (гетеротриплоид)	Апомиксис
<i>Dryopteris villarii</i>	2x	Половой

## Заключение

1. Некоторые из проанализированных морфологических признаков, используемых при работе с родом *Dryopteris*, имеют низкую таксономическую значимость, а потому не могут быть использованы в качестве диагностических. К таким признакам можно отнести: цвет и оттенок вайи, отношение длины наибольших базальных сегментов 2-го порядка к длине базальных сегментов 1-го порядка, цвет и оттенок чешуек на черешке и рахисе, наличие или отсутствие железистых волосков. Все эти признаки непостоянны, а их использование, пусть даже в совокупности, приводит к выделению крайне субъективных эйдологических единиц, определение которых – при работе с большим количеством гербарного или свежего растительного материала – становится невозможным.

2. Примером эйдологической единицы, которая не имеет чёткого морфологического облика или каких-то иных признаков, которые позволили бы строить с ней работу объективно – это *Dryopteris assimilis* S. Walker в том объёме, в котором его понимал Н.Н. Цвелёв [2003]. В конспекте флоры Восточной Европы для *D. assimilis* он указывает: «От предыдущего вида [*Dryopteris dilatata*] отличается зелёными (а не тёмно-зелёными) вайями с менее многочисленными железистыми волосками и более длинным нижним базальным пёрышком самых нижних перьев, а от следующего вида [*Dryopteris expansa*] – более широкими вайями с обычным присутствием железистых волосков на осях и почти всеми (а не только базальными) чешуями черешков явно двуцветными.» [Конспект флоры ..., 2012, с. 35].

Исследования, проведённые в рамках данной работы, позволяют заключить, что цвет и оттенок вай нельзя считать диагностическим признаком даже при работе в полевых условиях, т.к. данный признак сильно варьирует в зависимости от условий произрастания конкретного растения. Это хорошо заметно при сборе растений одного и того же вида в лесу и на лесных луговинах: в первом случае особи будут относительно тёмными, во втором – относительно светлыми, или даже совсем бледными из-за попадания на них прямых солнечных лучей. В гербарии этот же признак вызывает ещё больше вопросов, т.к. цвет растительного материала сильно зависит от условий его сушки и длительности хранения.

Наличие или отсутствие железистых волосков ещё один признак, который нельзя считать диагностическим по ряду причин: Во-первых, опыт работы с несколькими микропопуляциями, располагавшимися на территории 100 на 100 м<sup>2</sup>, где особи определяются как *D. expansa* или *D. assimilis*, показал [Малых, 2017], что часть из этих растений имеет железистые волоски, а другая их лишена. Внешне эта популяция однородна, и не может быть сомнений, что все особи в ней принадлежат к какому-то одному виду. Во-вторых, при осуществлении сбора трёх вай с одного растения попадают особи, которые определяются как *D. expansa* или *D. assimilis* одновременно, поскольку часть их вай имеет железистые волоски, а другая – нет. И наконец, при обращении к *D. carthusiana* – виду, состоящему в близком родстве с *D. expansa*, *D. assimilis* и *D. dilatata*, обнаружится, что часть особей *D. carthusiana* имеют железистые волоски, а другая их лишена.

Длина ближайших к рахису базипетальных пёрышек (сегментов 2-го порядка) самых нижних перьев (сегментов 1-го порядка) – ещё один признак, обладающий низкой таксономической значимостью. При осуществлении сборов, когда не выбираются наиболее типичные особи, можно встретить растения, у которых одна половина будет определяться как *D. expansa*, а другая – как *D. assimilis*. Вайи таких растений не имеют никаких повреждений, а потому можно исключить этот фактор из причин, влияющих на формирование сильно асимметричных пластинок вай.

Последний из признаков, которые предлагаются в качестве диагностического при работе с *D. expansa*, *D. assimilis* и *D. dilatata* – это цвет чешуек на черешке. Наблюдения показали<sup>6</sup>, что характер пигментации чешуйки зависит от возраста конкретного растения. Например, молодые особи *D. expansa* в нижней части черешка имеют относительно мелкие светло-бурые чешуйки с чёрной точкой в основании. Остальные чешуйки, которые располагаются выше, являются одноцветными. С возрастом точка сменяется тёмной полосой, а двуцветных чешуек становится больше. У взрослых растений все чешуйки на черешке крупные, с ярко выраженной тёмной полосой. Если проследить изменение формы чешуек в пределах одного взрослого растения, будет заметно следующее: в нижней части чешуйки широкояйцевидные, в верхней – от продолговатых до ланцетных.

3. Отдельно стоит отметить, что длительность жизни вай и их способность к перезимовке не следует использовать в качестве диагностического признака, поскольку даже в пределах относительно небольшой территории – Пермского края – все виды рода *Dryopteris* имеют как зимнезелёные вайи (например,

---

<sup>6</sup> Данная закономерность была замечена при наблюдении за группой особей *D. expansa* на ООПТ «Черняевский лес». Изначально автор статьи планировал отслеживать продолжительность жизни вай и их сохранность в зимний период, однако позже обратил внимание на изменения интенсивности пигментации чешуек: в начале наблюдения (2016 г.) молодые особи имели тёмные точки в основании чешуек, а к лету 2022 г. эти же особи демонстрировали небольшую тёмную полосу, которая немного не доходила до верхушки чешуйки. При этом размеры самих растений из года в год практически никак не менялись.

на территории ООПТ «Черняевский лес», ООПТ «Липовая гора»), так и вайи, увядающие на зиму (например, на территории заповедника Басеги). Это справедливо для всех регионов, где проходило данное исследование. Общая закономерность следующая: чем севернее или выше в горах произрастает конкретная особь, тем вероятнее её вайи будут отмирать на зиму.

4. При составлении ключа для определения видов были исключены все вышеперечисленные и ряд других спорных признаков, которые осложняют объективную работу с представителями рода. Морфологические описания, наоборот, составлены таким образом, чтобы продемонстрировать – многие из видов, традиционно указываемые во всех крупных сводках [Fraser-Jenkins, 1993; Шмаков, 2009; Конспект флоры ..., 2012], имеют не *качественные*, а *количественные* различия, зачастую не позволяющие осуществлять безошибочное определение без учёта места сбора конкретного образца, указания условий его произрастания и определения уровня плоидности.

5. В связи с тем, что многие виды рода *Dryopteris*, встречающиеся на территории Европейской части России, – это гибридогенные образования, обсуждение в статье ведётся с позиций анализа комплексов видов и их эволюционных взаимоотношений, без указания классических секций, предложенных монографом рода Фрейзер-Дженкинсом [1986] и многократно модифицированных и уточнённых рядом авторов [Цвелев, 2003; Sessa, Zimmer & Givnish, 2012].

6. Обработка рода *Dryopteris* для территории Европейской части России, предлагаемая в настоящей статье, включает 10 эйдологических единиц, имеющих разную степень самостоятельности, но обладающих хотя бы одним признаком (пусть и неморфологического характера), который позволяет работать с этой единицей объективно. Из списка видов, приводимого для обсуждаемой территории [Конспект флоры ..., 2012; Шмаков, 2009], был исключён *D. assimilis*, представляющий из себя неясную морфологическую систему, а также *D. dilatata* – европейский тетраплоид, присутствие которого на территории России обнаружить не удалось.

### Список источников

1. Данилов М.П. *Dryopteris* Adans. – Щитовник // Флора Сибири. *Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae*. Новосибирск: Наука, 1988. С. 60–62.
2. Конспект флоры Восточной Европы. / под ред. Н.Н. Цвелева. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2012. Т. 1. 630 с.
3. Малых С.Ю. Виды, слагающие *Dryopteris dilatata* комплекс, в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2017. Вып. 4. С. 380–389.
4. Малых С.Ю. О возможности и целесообразности создания системы отдельного рода с привлечением большого числа таксономических признаков // Исследования в области ботаники, генетики и микологии: материалы Всерос. науч. конф., посвященной 105-летию кафедры ботаники и генетики растений ПГНИУ и памяти заслуженных профессоров ПГНИУ В. А. Верещагиной и Е. И. Демьяновой. Пермь, 2022. С. 24–29.
5. Науялис И.И., Филин В.Р. Щитовник мужской // Биологическая флора Московской области. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. Вып. 7. С. 3–25.
6. Фомин А.В. Род Щитовник – *Dryopteris* Adans. // Флора СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. Т. 1. С. 30–44.
7. Цвелев Н.Н. О роде *Dryopteris* Adans. (*Dryopteridaceae*) в Восточной Европе // Новости систематики высших растений. 2003. Т. 35. С. 7–20.
8. Шмаков А.И. Определитель папоротников России. 2-е изд., перераб. и допол. Барнаул: АРТИКА, 2009. 126 с.
9. Benl G. & Eschelmüller A. Über „*Dryopteris remota*“ und ihre Vorkommen in Bayern // Ber. Bayer. Bot. Ges. 1973. Vol. 44. P. 101–141.
10. Braun A. Betrachtungen über die Erscheinung der Verjüngung in der Natur, ins- besondere in der Lebens- und Bildungsgeschichte der Pflanzen. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann, 1851. 363 p.
11. Bujnoch W. A contribution to the phylogeny of *Dryopteris remota* by genotyping of a fragment of the nuclear *PgiC* gene // Fern. Gaz. 2015. Vol. 20(2). P. 79–89.
12. Crabbe J.A., Jermy A.C., Walker S. Distribution of *Dryopteris assimilis* S. Walker in Britain // Watsonia. 1970. Vol. 8. P. 3–15.
13. Döll J.Ch. Rheinische Flora. Brönnner, Frankfurt a. M., 1843. 832 p.
14. Döpp W. Die Apogamie bei *Aspidium remotum* Al. Br. // Planta. 1932. Vol. 17. P. 86–152.
15. Döpp W. Weitere Untersuchungen an apogamen Farnen // Ber. Dtsch. Bot. Ges. 1933. Vol. 51. P. 341–347.
16. Döpp W. Versuche zur Herstellung von Artbastarden bei Farnen, I // Ber. Dtsch. Bot. Ges. 1935. Vol. 53. P. 630–636.
17. Döpp W. Cytologische und genetische Untersuchungen innerhalb der Gattung *Dryopteris* // Planta. 1939. Vol. 29. P. 481–533.
18. Döpp W. Experimentell erzeugte Bastarde zwischen *Dryopteris filix-mas* (L.) und *D. paleacea* (Sw.) C.

Chr. // *Planta*. 1955. Vol. 46. P. 70–91.

19. Fraser-Jenkins C.R. *Dryopteris caucasica*, and the cytology of its hybrids // *Fern. Gaz.* 1976. Vol. 11(4). P. 263–267.

20. Fraser-Jenkins C.R. A classification of the genus *Dryopteris* (Pteridophyta: *Dryopteridaceae*) // *Bull. Br. Mus. nat. Hist. (Bot)*. 1986. Vol. 14, № 3. P. 183–218.

21. Fraser-Jenkins C.R. *Dryopteris* Adans. // *Flora Europaea*, 2nd ed. Gateshead: Cambridge University Press, 1993. Vol. 1. P. 27–30.

22. Fraser-Jenkins C.R. The species and subspecies in the *Dryopteris affinis* group // *Fern Gaz.* 2007. Vol. 18(1). P. 1–26.

23. Freigang J., Bujnoch W., Zenner G. Erstfunde von *Dryopteris × brathaica* Fraser-Jenk. & Reichst. (*Dryopteridaceae*, Pteridophyta) in Süd-Deutschland – morphologische und molekulargenetische Untersuchungen // *Kochia*. 2013. Vol. 7. P. 67–86.

24. Hornych O. Reproduction and hybridization in ferns. Ph.D. Thesis Series 2020, No. 22. University of South Bohemia, Faculty of Science, School of Doctoral Studies in Biological Sciences, České Budějovice, Czech Republic, 2020. 162 p.

25. Krause S., Hachtel M., Bennert H.W. *Dryopteris × brathaica* Fraser-Jenk. & Reichst. (Englischer Wurmfarn; *Dryopteridaceae*, Pteridophyta) in Deutschland // *Feddes Repert.* 2001. Vol. 112. P. 247–260.

26. Manton I. Problems of Cytology and Evolution in the Pteridophyta. Cambridge: Cambridge University Press, 1950. 316 p.

27. Rünk K., Zobel M., Zobel K. Biological Flora of the British Isles: *Dryopteris carthusiana*, *D. dilatata* and *D. expansa* // *Journ. of ecology*. 2012. Vol. 100. P. 1039–1063.

28. Stace C.A. *Dryopteris* Adans. – Buckler-ferns // *New flora of the British Isles*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. P. 33–38.

29. Sessa E.B., Zimmer E.A. & Givnish T.J. Unraveling reticulate evolution in North American *Dryopteris* (*Dryopteridaceae*) // *BMC Evol. Biol.* 2012. Vol. 12. P. 104–127.

30. Trewman K., Pigott A. Some taxa within the '*Dryopteris affinis*' complex: a field guide. London: British Pteridological Society, 2014. 48 p.

31. Widén C.J., Sarvela J., Ahti T. The *Dryopteris spinulosa* complex in Finland // *Act. Bot. Fenn.* 1967. Vol. 77. P. 1–24.

32. Widén C.J. et al. Die Phloroglucide von *Dryopteris villarii* (Bell.) Woyнар und anderer Farne der Gattung *Dryopteris* sowie die mögliche Abstammung von *D. filix-mas* (L.) Schott. *Helvetica Chimica Acta*. 1971. Vol. 54. P. 2824–2850.

33. Widén C.J. et al. Die Phloroglucide von zwei Farnhybriden aus England und Schottland, von authentischem "*Aspidium remotum*" A. Braun und von *Dryopteris aemula* (Aiton) O. Kuntze aus Irland // *Helv. Chim. Acta*. 1976. Vol. 59. P. 1725–1744.

## References

1. Danilov M.P. [*Dryopteris* Adans.]. *Flora Sibiri. Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae* [Flora Siberia. Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1988, pp. 60-62. (In Russ.).

2. Tsvelev N.N. (ed.) *Konspekt flory Vostočnoj Evropy, T. 1* [Synopsis of the Eastern European flora. V. 1]. / St-Peterburg, T-vo nauch. izd. KMK Publ., 2012. 630 p. (In Russ.).

3. Malyh S.Yu. [Species of *Dryopteris dilatata* complex in Perm region]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 4 (2017): pp. 380-389. (In Russ.).

4. Malykh S.Yu. [On the possibility and expediency of creating a taxonomic system of a separate genus involving a lot of taxonomic features]. *Issledovaniya v oblasti botaniki, genetiki i mikologii* [Research in the field of botany, genetics and ecology. Materials of the All-Russian scientific conference dedicated to the 105th anniversary of the Department of Botany and Plant Genetics of PSNIU]. Perm, 2022, pp. 24-29. (In Russ.).

5. Nauyalis I.I., Filin V.R. [*Dryopteris filix-mas*]. *Biologičeskaja flora Moskovskoj oblasti*. [Biological flora of Moscow Oblast]. Moscow, Moscow University Press, 1983, V. 7, pp. 3-25. (In Russ.).

6. Fomin A.V. [Familia Polypodiaceae]. *Flora SSSR* [Flora USSR]. Leningrad, AN SSSR Publ., 1934, V. 1, pp. 45-49. (In Russ.).

7. Tsvelev N.N. [About *Dryopteris* Adans. (*Dryopteridaceae*) in East Europe]. *Novosti sistematiki vysšich rastenij*. V. 35 (2003): pp. 7-20. (In Russ.).

8. Shmakov A.I. *Opredelitel' paprotnikov Rossii* [Key for The Ferns of Russia]. Barnaul, ARTIKA Publ., 2009. 126 p. (In Russ.).

9. Benl G., Eschelmüller A. Über „*Dryopteris remota*“ und ihre Vorkommen in Bayern. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* V. 44 (1973): pp. 101-141.

10. Braun A. Betrachtungen über die Erscheinung der Verjüngung in der Natur, ins- besondere in der Lebens- und Bildungsgeschichte der Pflanzen. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1851. 363 p.

11. Bujnoch W. A contribution to the phylogeny of *Dryopteris remota* by genotyping of a fragment of the nuclear PgiC gene. *Fern. Gaz.* V. 20 (2015): pp. 79-89.
12. Crabbe J.A., Jermy A.C., Walker S. Distribution of *Dryopteris assimilis* S. Walker in Britain. *Watsonia*. V. 8 (1970): pp. 3-15.
13. Döll J.Ch. Rheinische Flora. Brönnner, Frankfurt a. M., 1843, 832 p.
14. Döpp W. Die Apogamie bei *Aspidium remotum* Al. Br. *Planta*. V. 17 (1932): pp. 86-152.
15. Döpp W. Weitere Untersuchungen an apogamen Farnen *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* V. 51 (1933): pp. 341-347.
16. Döpp W. Versuche zur Herstellung von Artbastarden bei Farnen, I. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* V. 53 (1935): pp. 630-636.
17. Döpp W. Cytologische und genetische Untersuchungen innerhalb der Gattung *Dryopteris*. *Planta*. V. 29 (1939): pp. 481-533.
18. Döpp W. Experimentell erzeugte Bastarde zwischen *Dryopteris filix-mas* (L.) und *D. paleacea* (Sw.) C. Chr. *Planta*. V. 46 (1955): pp. 70-91.
19. Fraser-Jenkins C.R. *Dryopteris caucasica*, and the cytology of its hybrids. *Fern. Gaz.* V. 11 (1976): pp. 263-267.
20. Fraser-Jenkins C.R. A classification of the genus *Dryopteris* (Pteridophyta: Dryopteridaceae). *Bull. Br. Mus. nat. Hist. (Bot)*. V. 14 (1986): pp. 183-218.
21. Fraser-Jenkins C.R. [Dryopteris genera]. *Flora Europea*. Great Britain, Cambridge University Press Publ., 1993, V. 1, 2 edn., pp. 27-30.
22. Fraser-Jenkins C.R. The species and subspecies in the *Dryopteris affinis* group. *Fern. Gaz.* V. 18 (2007): pp. 1-26.
23. Freigang J., Bujnoch W., Zenner G. Erstfunde von *Dryopteris* × *brathaica* Fraser-Jenk. & Reichst. (Dryopteridaceae, Pteridophyta) in Süd-Deutschland – morphologische und molekulargenetische Untersuchungen. *Kochia*. V. 7 (2013): pp. 67-86.
24. Hornych O. Reproduction and hybridization in ferns. Ph.D. Thesis Series 2020, No. 22. University of South Bohemia, Faculty of Science, School of Doctoral Studies in Biological Sciences, České Budějovice, Czech Republic. 2020. 162 pp.
25. Krause S., Hachtel M., Bennert H.W. *Dryopteris* × *brathaica* Fraser-Jenk. & Reichst. (Englischer Wurmfarn; Dryopteridaceae, Pteridophyta) in Deutschland. *Feddes Repert.* V. 112 (2001): pp. 247-260.
26. Manton I. Problems of Cytology and Evolution in the Pteridophyta. Cambridge, Cambridge University Press Publ., 1950. 316 p.
27. Rünk K., Zobel M., Zobel K. Biological Flora of the British Isles: *Dryopteris carthusiana*, *D. dilatata* and *D. expansa*. *Journ. of ecology*. V. 100 (2012): pp. 1039-1063.
28. Stace C.A. *Dryopteris* Adans. – Buckler-ferns. New flora of the British Isles. Cambridge, Cambridge University Press, 2010, 3 edn., pp. 33-38.
29. Sessa E.B., Zimmer E.A., Givnish T.J. Unraveling reticulate evolution in North American *Dryopteris* (Dryopteridaceae). *BMC Evol. Biol.* V. 12 (2012): pp. 104-127.
30. Trewman K., Pigott A. Some taxa within the '*Dryopteris affinis*' complex: a field guide. London, British Pteridological Society, 2014. 48 p.
31. Widén C.J., Sarvela J., Ahti T. The *Dryopteris spinulosa* complex in Finland. *Act. Bot. Fenn.* V. 77 (1967): pp. 1-24.
32. Widén C.J., Vida G., Euw J. Von, Reichstein T. Die Phloroglucide von *Dryopteris villarii* (Bell.) Woynar und anderer Farne der Gattung *Dryopteris* sowie die mögliche Abstammung von *D. filix-mas* (L.) Schott. *Helvetica Chimica Acta*. V. 54 (1971): pp. 2824-2850.
33. Widén C.J., Lounasmaa M., Jermy A.C., Euw V.J., Reichstein T. Die Phloroglucide von zwei Farnhybriden aus England und Schottland, von authentischem "*Aspidium remotum*" A. Braun und von *Dryopteris aemula* (Aiton) O. Kuntze aus Irland. *Helv. Chim. Acta*. V. 59 (1976): pp. 1725-1744.

Статья поступила в редакцию 10.08.2022; одобрена после рецензирования 29.08.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 10.08.2022; approved after reviewing 29.08.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### Информация об авторе

С. Ю. Малых – учитель, аспирант кафедры ботаники и генетики растений ПГНИУ.

#### Information about the author

S. Yu. Malyh – teacher, post-graduate student of the Department of Botany and Plant Genetics of PSU.

## БОТАНИКА

Краткое сообщение

УДК 582.394

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-201-203.

### Диагностические признаки видов рода *Dryopteris* Adans.

Сергей Юрьевич Малых<sup>1✉, 3</sup>, Сергей Александрович Овеснов<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>1✉</sup> MSU101@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1478-2344>

<sup>2</sup> OvesnovSA@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2230-4457>

<sup>3</sup> Гимназия № 31, Пермь, Россия

**Аннотация.** Обсуждаются ключевые признаки, используемые при определении видов рода *Dryopteris*, целесообразность их использования при работе с гербарием и в полевых условиях. Также даны некоторые рекомендации по методике сбора и хранения растительного материала.

**Ключевые слова:** папоротники, *Dryopteris*, морфология

**Для цитирования:** Малых С. Ю., Овеснов С. А. Диагностические признаки видов рода *Dryopteris* Adans. // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 201–203. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-201-203>.

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90102.

## BOTANY

Short message

### Diagnostic characters of the genus *Dryopteris* Adans.

Sergey Yu. Malyh<sup>1✉, 3</sup>, Sergey A. Ovesnov<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>1✉</sup> MSU101@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1478-2344>

<sup>2</sup> OvesnovSA@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2230-4457>

<sup>3</sup> Gymnasium № 31, Perm, Russia

**Abstract.** The article discusses the key characteristics used in determining the *Dryopteris* species, the purposefulness of their use when working with the herbarium and in the field. The paper also presents recommendations on the methods of collecting and storing plant material.

**Keywords:** ferns, *Dryopteris*, morphology

**For citation:** Malyh S. Yu., Ovesnov S. A. [Diagnostic characters of the genus *Dryopteris* Adans.]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 201-203. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-201-203>.

**Acknowledgments:** the reported study was funded by RFBR, project number 20-34-90102.

При диагностике видов рода *Dryopteris* Adans. принято использовать ряд морфологических признаков: *общее очертание, размеры, степень рассеченности, цвет, оттенок и характер поверхности пластинки вай* [Цвелев, 2003; Fraser-Jenkins, 2007; Шмаков, 2009], *отношение длины черешка к длине пластинке вайи* [Fraser-Jenkins, 1972], *форма, цвет и оттенок чешуй* [Цвелев, 2003; Fraser-Jenkins, 2007; Шмаков, 2009], *наличие или отсутствие железистых волосков* [Цвелев, 2003]. Все перечисленные признаки встречаются в различных ключах для определения видов рода, однако не все из них можно считать диагностическими. Рассмотрим каждый из этих признаков отдельно.

**1. Общее очертание и размеры вай** взрослого здорового растения, произрастающего в типичной для него обстановке, является первым признаком, на который исследователь обращает внимание при определении растения в полевых условиях. Данный признак обнаруживает относительное постоянство и может использоваться как диагностический в ключах, предназначенных для работы в поле. Однако при работе с гербарием ориентироваться на форму и размеры вай стоит не всегда. Коллекторы, как правило, собирают такие вайи, которые легче всего помещаются в гербарную папку, т.е. отдают предпочтение

небольшим экземплярам. Если производится сбор крупных вай, их дважды или трижды надламывают, чтобы уместить на лист, отчего впоследствии не всегда удаётся точно определить форму пластинки.

Последний вариант гербаризации вай вообще следует исключить из практики. Частые обращения к образцам, где вайя надломлена и уложена несколькими слоями, приводит к частичному разрушению материала из-за трения отдельных сегментов вайи друг о друга<sup>1</sup>. Если при этом отламываются и теряются нижние сегменты 1-го порядка, вайя становится усечённой, что при определении может привести к неверным выводам.

**2. Степень рассеченности пластинки вайи** того или иного вида – основной признак, используемый в ключах для определения. Известно, что пластинка вайи имеет различную степень рассеченности: наиболее рассечена её нижняя часть, наименее – верхняя. К этой закономерности стоит добавить ещё одну: при произрастании на богатых субстратах и в местах с нормальным увлажнением вайи всех видов рода становятся более крупными и, что самое главное, более рассечёнными.

Широко известный вид *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott при произрастании около рек и ручьёв имеет крупные, почти трижды рассечённые вайи в нижней части. И наоборот, в том случае, когда доступность воды для данного вида по тем или иным причинам ограничена, а также и при избыточном увлажнении, его вайи становятся мелкими, а сегменты второго порядка едва надрезанными, т.е. лопастными. Фрейзер-Дженкинс [Fraser-Jenkins, 1976] отмечал, что при пересадке растений *Dryopteris caucasica* (A. Braun) Fraser-Jenk. & Corley из естественных мест обитания (Турция) в ботанический сад (Британия), они теряли многие признаки, которые ранее использовались в качестве диагностических. В том числе изменялась и характерная для дикорастущих экземпляров рассеченность вай. Несмотря на указанные выше особенности (а это, в принципе, характерно для большинства растений), данный признак является одним из основных при практическом определении видов рода.

**3. Цвет, оттенок и характер поверхности пластинки вайи** – признаки, которые можно использовать при проведении полевых работ, но только в том случае, если исследователь хорошо знаком с видом, который предполагается определить, а также с видами, которые имеют сходный морфологический облик. Например, *Dryopteris affinis* (Löwe) Fraser-Jenk. subsp. *affinis* имеет кожистые вайи, которые, напоминают *глянцевые пластиковые пластины* [Fraser-Jenkins, 2007]. В полевых условиях данный признак поможет отличить *D. affinis* subsp. *affinis* от любого другого вида группы *filix-mas*<sup>2</sup>, поскольку ни один другой вид не имеет настолько выраженной *кожистости* пластинки вай.

При этом важно отметить, что во многих других случаях обсуждаемые признаки не годятся на роль диагностических. Цвет и оттенок вайи во многом зависит от условий произрастания конкретного растения: в первую очередь от его обеспеченности водой и количества прямого солнечного света, попадающего на него. При определении растений в гербарии данного признака следует избегать, поскольку цвет гербарных образцов сильно зависит от давности сбора растения, условий его сушки и хранения.

**4. Отношение длины черешка к длине пластинке вайи** – важный признак, используемый при определении многих видов рода. Данный признак никогда не используется как основной, но в совокупности с другими позволяет быстро сориентироваться и отличить, например, относительно длинночерешковый *Dryopteris villarii* (Bellardi) Woy. ex Schinz & Thell. от относительно короткочерешкового *Dryopteris fragrans* (L.) Schott.

Отдельно стоит отметить, что важным признаком, позволяющим различать похожие виды может стать и расположение сегментов 1-го порядка на рахисе. При переопределении спорных образцов *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs, которые имеют обломанные черешки или черешки с облетевшими чешуйками, следует обратить внимание на сегменты 1-го порядка: у *D. carthusiana* нижние сегменты сильно отставлены от остальных, а у *D. expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. et Jermy все они равноудалены.

**5. Форму, цвет и оттенок чешуй** на черешке, как диагностический признак, следует использовать только в том случае, если в описании вида имеется чёткое указание на наличие одного или двух цветов чешуек. К примеру, двуцветные чешуйки *D. expansa* позволяют безошибочно отличать его от *D. carthusiana*.

При этом форму и оттенок чешуек как признак для определения или разграничения видов использовать не следует, поскольку форма чешуек в пределах одной особи сильно меняется: как правило, от широко яйцевидных в основании до узкоэллиптических или ланцетных в верхней части черешка. При переходе с черешка на рахис чешуйки настолько истончаются, что внешне начинают напоминать волосы.

<sup>1</sup> Крупные вайи следует разделять на части и помещать эти части на отдельные листы.

<sup>2</sup> Группа *Dryopteris filix-mas* включает *D. filix-mas* (L.) Schott, *D. affinis* (Löwe) Fraser-Jenk., *D. caucasica* (A. Braun) Fraser-Jenk. & Corley и *D. oreades* Fomin.

**6. Наличие или отсутствие железистых волосков** – самый спорный признак из всех, которые используются в ключах для определения. Исходя из нашего опыта работы с представителями рода *Dryopteris*, этот признак можно использовать только при определении двух видов рода, встречающихся на территории России – *D. villarii* и *D. fragrans*. В остальных случаях его не следует применять ни при определении, ни тем более, при выделении подвидов или разновидностей внутри вида.

Несостоятельность данного признака становится очевидна в том случае, если осуществлять сбор (хотя бы) трёх вай с одного растения [Малых, 2017]: на некоторых ваях мы будем наблюдать железистые волоски, а на других заметим их отсутствие.

В заключение хотелось бы отметить, что у видов рода *Dryopteris* морфологические отличия имеют скорее количественный, нежели качественный характер, а потому при определении конкретного растения следует обращать внимание также и на ряд неморфологических признаков, таких как характер местообитаний и особенности распространения.

### Список источников

1. Малых С.Ю. Виды, слагающие *Dryopteris dilatata* комплекс, в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2017. Вып. 4. С. 380–389.
2. Цвелев Н.Н. О роде *Dryopteris* Adans. (*Dryopteridaceae*) в Восточной Европе // Новости систематики высших растений. 2003. Т. 35. С. 7–20.
3. Шмаков А.И. Определитель папоротников России. 2-е изд., перераб. и допол. Барнаул: АРТИКА, 2009. 126 с.
4. Fraser-Jenkins C.R. *Dryopteris caucasica*, and the cytology of its hybrids // Fern. Gaz. 1976. Vol. 11(4). P. 263–267.
5. Fraser-Jenkins C.R. The species and subspecies in the *Dryopteris affinis* group // Fern Gaz. 2007. Vol. 18(1). P. 1–26.
6. Fraser-Jenkins C.R., Corley H.V. *Dryopteris caucasica* – an ancestral diploid in the male fern aggregate // Brit. Fern. Gaz. 1972. Vol. 10(5). P. 221–232.

### References

1. Malyh S.Yu. [Species of *Dryopteris dilatata* complex in Perm region]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 4 (2017): pp. 380–389. (In Russ.).
2. Tsvelev N.N. [About *Dryopteris* Adans. (*Dryopteridaceae*) in East Europe]. *Novosti sistematiki vysšich rastenij*. V. 35 (2003): pp. 7–20. (In Russ.).
3. Shmakov A.I. *Opredelitel' paporotnikov Rossii* [Key for The Ferns of Russia]. Barnaul, ARTIKA Publ., 2009. 126 p. (In Russ.).
4. Fraser-Jenkins C.R. *Dryopteris caucasica*, and the cytology of its hybrids. *Fern. Gaz.* V. 11 (1976): pp. 263–267.
5. Fraser-Jenkins C.R. The species and subspecies in the *Dryopteris affinis* group. *Fern Gaz.* V. 18 (2007): pp. 1–26.
6. Fraser-Jenkins C.R., Corley H.V. *Dryopteris caucasica* – an ancestral diploid in the male fern aggregate. *Brit. Fern. Gaz.* V. 10(5) (1972): pp. 221–232.

Статья поступила в редакцию 16.06.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 16.06.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### Информация об авторах

С. Ю. Малых – аспирант кафедры ботаники и генетики растений, учитель;

С. А. Овеснов – д-р биол. наук, профессор.

#### Information about the authors

S. Yu. Malyh – post-graduate student of the Department of Botany and Plant Genetics, teacher;

S. A. Ovesnov – doctor of biology, professor.

#### Вклад авторов:

Малых С. Ю. – концепция исследования; полевые исследования, написание текста статьи.

Овеснов С. А. – научное руководство; редактирование текста статьи; итоговые выводы.

#### Contribution of the authors:

Malyh S. Yu. – research concept; field research; writing the source text of the article.

Ovesnov S. A. – scientific management; editing of the text of the article; final conclusions.

## ЗООЛОГИЯ

Научная статья

УДК 595.421

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-204-211

### Особенности экологии клещей *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 в Пермском крае

Виктор Владимирович Береснев<sup>1</sup>, Виктор Евгеньевич Ефимик<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> ООО «Дезинфекционный отдел», Пермь, Россия, Ver-t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9049-9260>

<sup>2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, efimik.viktor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9044-1074>

**Аннотация.** Приводятся результаты изучения численности, биотопической приуроченности и сезонной динамики лугового клеща *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 (= *D. pictus* Hermann, 1804) в Пермском крае. На территории Пермского края *D. reticulatus* предпочитает открытые биотопы, концентрируясь на влажных участках. Численность клещей колебалась весной от 1 до 11.5 экз. на флаго/км, а осенью от 0.5 до 23.5 экз. на флаго/км. Установлены два периода активности: весенний и осенний. Осенью численность клещей данного вида выше, чем весной.

**Ключевые слова:** иксодовые клещи, *Dermacentor reticulatus*, численность, биотопическая приуроченность, сезонная динамика, Пермский край

**Для цитирования:** Береснев В. В., Ефимик В. Е. Особенности экологии клещей *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 204–211. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-204-211>.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность сотрудникам ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» и особенно Славновой Елене Александровне за предоставление информации.

## ZOOLOGY

Original article

### Features of the ecology of ticks *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 in Perm Krai

Viktor V. Beresnev<sup>1</sup>, Viktor E. Efimik<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Dezinfeksionnyi otdel, Perm, Russia, Ber-t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9049-9260>

<sup>2</sup> Perm State University, Perm, Russia, efimik.viktor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9044-1074>

**Abstract.** This article presents the results of studying the abundance, biotopic preference and seasonal dynamics of the meadow tick *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 (= *D. pictus* Hermann, 1804) in the Perm Krai. *D. reticulatus* mites prefer open biotopes, concentrating in moist areas. The number of ticks ranged in spring from 1 to 11.5 specimens per flago/km, and in autumn from 0.5 to 23.5 specimens per flago/km. Two periods of activity have been established: spring and autumn. In autumn, the number of ticks of this species is higher than in spring.

**Keywords:** ixodid ticks, *Dermacentor reticulatus*, population size, biotopic preference, seasonal dynamics, Perm Krai

**For citation:** Beresnev V. V., Efimik V. E. [Features of the ecology of ticks *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 in Perm Krai]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 204-211. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-204-211>.

**Acknowledgments:** the authors express their gratitude to the staff of the Federal Medical Institution "Center of Hygiene and Epidemiology in the Perm Region" and especially to Elena Slavnova for providing information.

## Введение

Значение иксодовых клещей сложно переоценить. Являясь временными эктопаразитами, они питаются кровью различных позвоночных. При массовом нападении это само по себе причиняет значительный вред организму животного-хозяина, что имеет значение для сельскохозяйственной ветеринарии, поскольку влияет на продуктивность животных. Помимо этого, клещи являются переносчиками различных трансмиссивных инфекций [Рудакова, Матушенко, 1996; Alekseev, Semenov, Dubinina, 2003; Морозов и

др., 2007; Рудаков, 2009; Самойленко и др., 2013; Волков и др., 2016]. Они обеспечивают циркуляцию возбудителей различных зоонозов в природе и способны передавать эти болезни не только диким и домашним животным, но и человеку.

Играя исключительно важную роль в формировании природных очагов инфекций, иксодовые клещи достаточно давно являются объектом пристального внимания различных исследователей [Олсуфьев, 1953; Таежный клещ..., 1985; Рудакова, Матушенко, 1996; Рудакова, 2007; Балашов, 2008; Якименко, Малькова, Шпынов, 2009]. Биология и экология многих видов иксодид хорошо изучены. На территориях, где обитают клещи, надзорные органы ведут постоянный мониторинг их активности.

В Пермском крае к таким видам, за которыми ведется постоянное наблюдение, относится таежный клещ *Ixodes persulcatus* P. Sch., 1930, что нельзя утверждать о луговом клеще *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794, контроль численности которого, в связи с его редким обнаружением, до недавнего времени не проводился.

В последние годы из лабораторий ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», определяющих инфицированность клещей, присосавшихся к людям, стали поступать сообщения о регистрации клещей рода *Dermacentor*. При этом до сих пор их реальное распространение, активность и особенности сезонной динамики в Пермском крае оставались не изученными.

Как сообщалось в нашей предыдущей публикации [Береснев, Ефимик, 2021], в Пермском крае из числа иксодовых клещей рода *Dermacentor* встречается только *D. reticulatus* Fabricius, 1794 (= *D. pictus* Hermann, 1804). Там же нами было указано детальное распространение этого вида в данном регионе.

Настоящая публикация посвящена некоторым экологическим аспектам лугового клеща *D. reticulatus* – сведениям о численности, биотопической приуроченности и сезонной динамике.

Биология дермаценторов отличается от биологии клещей рода *Ixodes*. Для взрослых клещей рода *Dermacentor* характерно два периода активного нападения на животных. Сроки их начала, продолжительности и пики активности зависят от климатических условий и региона, в котором ведется наблюдение. Так, в Воронежской области клещи появляются во второй половине марта и достигают пика своей численности в апреле-мае [Гапонов, Федорук, Транквилевский, 2008; Гапонов, Солодовникова, Федорук, 2011]. Второй период начинается в сентябре и продолжается до устойчивых заморозков во второй половине октября — ноябре [Ромашова и др., 2017]. В Тюменской области клещи активизируются обычно в начале второй декады апреля, иногда в конце марта. Пик численности в среднем начинается с третьей декады апреля и длится по вторую декаду мая. Завершение первого периода активности в этом регионе наблюдается в первую декаду июня. Осенний период активности начинается с середины, конца августа. Численность клещей достигает пика с конца августа до середины сентября. Окончание периода активности обычно наступает ко второй декаде октября, но в зависимости от погодных условий может завершиться в сентябре или продлиться до конца октября [Глазунов, 2016]. В целом весенний пик активности характеризуется большей численностью активных имаго, чем осенний [Балашов, 2008; Гапонов, Солодовникова, Федорук, 2011; Глазунов, 2016].

Наши наблюдения и данные ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» частично подтвердили некоторые экологические особенности, а отчасти показали своеобразие сезонной активности *D. reticulatus* в нашем регионе.

## Материал и методы исследования

В качестве метода учета клещей использовался сбор на флаг. Этот метод хорошо описан в специализированной литературе [Сбор..., 2011; Беспятова, Бугмырин, 2012 и др.]. Для изготовления флага мы использовали вафельную ткань длиной 1 м и шириной 60 см. Главными критериями для выбора материи являются волокнистая структура и однотонная светлая окраска, что обеспечивает соответственно уверенное прикрепление клещей и легкое их обнаружение сборщиком. Кусок материи прикреплялся узкой стороной к древку.

На луговых участках и лесных участках с высокой травой и кустарниками развернутый флаг протаскивали сбоку, удерживая за древко и подсчитывая пары шагов (по левой или правой ноге). Подсчет шагов вели по 25-метровым отрезкам (обычно 16–18 пар шагов), в промежутках между которыми осматривали флаг и свою одежду.

Обычно на каждом маршруте при учетах было обследовано не менее 1000 м. Обилие клещей выражали числом особей, собранных с флага и одежды учетчика на 1 км маршрута (1 флагов/км).

Клещей с флага снимали пинцетом и помещали в пробирку с 70%-ным спиртом. При сборе клещей учитывались погодные условия. В солнечную погоду учеты проводились только утром до полудня и вечером, когда спадала жара. В пасмурные дни – весь световой день.

Учитывая наличие двух пиков в сезонной активности клещей рода *Dermacentor*, учеты проводились в два этапа, весной-летом и осенью. Определение собранных клещей проводилось по таблицам Г.В. Сер-

дюковой [1956] и Б.И. Померанцева [1950]. Статистические процедуры выполнялись в пакете Past [Hammer, Harper, Ryan, 2001].

Наши исследования проводились весной и осенью 2018 г. Всего было проложено двенадцать маршрутов в Пермском, Березовском, Суксунском, Чайковском, Очерском, Нытвенском, Осинском, Октябрьском, Карагайском р-нах Пермского края, а также в пригороде г. Перми. Длина маршрута составляла 1 или 2 км. В основном обследовались опушки смешанных лесов по обочинам проселочных или лесных дорог. Выбирались участки, проходящие в том числе вдоль вырубков, полей, зарастающих полей или лугов.

В период первого пика активности клещей учёты проводились в мае-июне 2018 г. Полученные данные приведены в табл. 1.

Сведения приводятся не только для *D. reticulatus*, но с целью сравнительного анализа и для массового вида – *I. persulcatus*.

Таблица 1

### Результаты учета клещей в мае–июне 2018 г.

#### [Results of tick accounting in May–June 2018]

Место сбора	Всего клещей	Фла-го/км	<i>I. persulcatus</i>			<i>D. reticulatus</i>		
			Всего	Самка	Самец	Всего	Самка	Самец
Пермский р-н, с. Троица	1	1	1	1	0	0	0	0
Карагайский р-н, граница с Кудымкарским р-ном, по трассе	21	21	21	11	10	0	0	0
Пермский р-н, д. Комарово	2	1	2	1	1	0	0	0
Пермский р-н, между д. Янычи и Кукуштан	30	30	30	15	15	0	0	0
Очерский р-н, д. Грязново	1	1	0	0	0	1	0	1
Суксунский р-н, пос. Суксун	1	0.5	1	1	0	0	0	0
Чайковский р-н, г. Чайковский, за забором биатлонного комплекса	22	11	10	6	4	12	12	0
Осинский р-н, д. Пьянково	5	2.5	3	1	2	2	1	1
Нытвенский р-н, левый берег устья р. Перемка	7	7	6	4	2	1	1	0
Октябрьский р-н, п. Октябрьский, ЛПУ «Алмазное»	1	1	1	1		0	0	0
г. Пермь левый берег р. Ласва, СНТ «Водники-2»	2	1	2	2		0	0	0

Осенние учеты были проведены в сентябре 2018 г. в двух районах: Очерском и Нытвенском (табл. 2).

Таблица 2

### Результаты учета клещей в сентябре 2018 г.

#### [Results of tick accounting in September 2018]

Место сбора	Всего клещей	Флаго/км	<i>I. persulcatus</i>			<i>D. reticulatus</i>		
			Всего	Самка	Самец	Всего	Самка	Самец
Нытвенский р-н, левый берег устья р. Перемка	10	5	0	0	0	10	5	5
Очерский р-н, д. Грязново	3	3	0	0	0	3	0	3

Кроме собственных материалов мы использовали данные мониторинга эпидемиологической ситуации по инфекциям, передающимся с укусами клещей, проводимого ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае».

## Результаты и их обсуждение

### Биотопическая приуроченность

В Пермском крае, как и в целом в пределах своего ареала, *D. reticulatus* предпочитает открытые биотопы: луга, опушки, просеки и обочины широких дорог. При проведении наших учётов он встречался как на достаточно невысокой траве сенокосного луга, так и на зарослях кустарника и в высокотравье. Стоит отметить, что на маршруте плотность лугового клеща выше возле влажных мест, таких как родники,

овражки, дорожные канавы.

Обращает на себя внимание тот факт, что в биотопах, пригодных для обитания *D. reticulatus*, но где он обнаружен не был, встречался таежный клещ *I. persulcatus*.

При проведении весенних учетов в Нытвенском и Осинском р-нах оба вида клеща попадались на одном отрезке маршрута. Сходная ситуация наблюдалась в Оханском и Чернушенском р-нах.

В Очёрском р-не был обнаружен только *D. reticulatus*. В Чайковском р-не проложенный нами маршрут проходил в двух четко различимых биотопах: по лесной тропе и на широкой просеке под высоковольтной линией электропередач. Здесь оба вида клеща встречались строго в разных биотопах: *I. persulcatus* попадался в лесу, а *D. reticulatus* – на просеке. Согласно учетам, проведенным в этом районе сотрудниками ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», складывается подобная картина.

Количественное соотношение клещей *D. reticulatus* и *I. persulcatus* в одном биотопе неодинаково в разных административных районах. Так, в Чайковском, Чернушенском и Оханском р-нах при совместном обитании в одном биотопе дермаценторы значительно преобладают. В то же время в Нытвенском и Осинском р-нах наблюдается обратная ситуация.

### Сезонная динамика

По данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» за 2012–2018 гг. сезонная активность иксодовых клещей в Пермском крае начинается с середины второй декады апреля. Возможные отклонения связаны с погодными условиями.

На основе собранного материала было подтверждено наличие двух пиков активности у *D. reticulatus* в Пермском крае. Однако в отличие от литературных данных, более высокая численность клещей по нашим данным наблюдается осенью.

На основании данных, полученных сотрудниками лаборатории южного филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», был построен график сезонной активности нападения клещей в разных районах Пермского края (рис. 1).

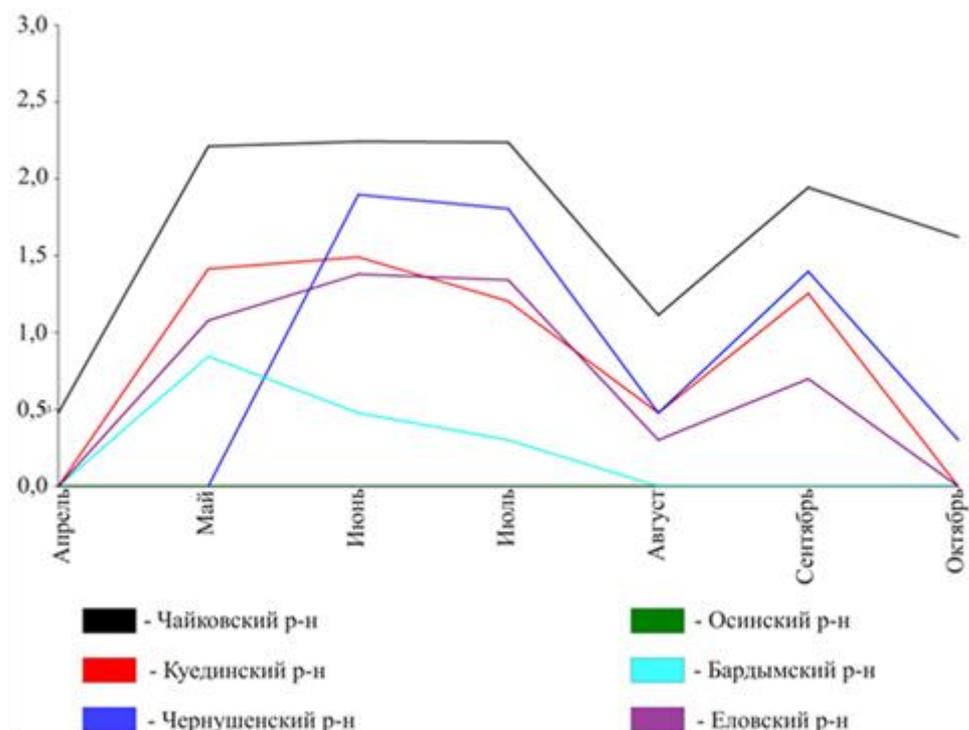


Рис. 1. График сезонной активности клещей в южных районах Пермского края  
[Chart of seasonal tick activity in the southern regions of Perm Krai]

Из графика видно, что наблюдается два пика сезонной активности: первый, приходящийся на весну и начало лета, и второй – в сентябре. Такой ход сезонной активности нападения не характерен для таежного клеща *I. persulcatus*, который имеет один весенне-летний пик активности. Напротив, для *D. reticulatus* такая кривая сезонной активности является типичной.

Проверка данных с учетом стандартной ошибки показывает, что среднегодовой осенний пик статистически достоверно выше среднегодового весеннего пика (рис. 2).

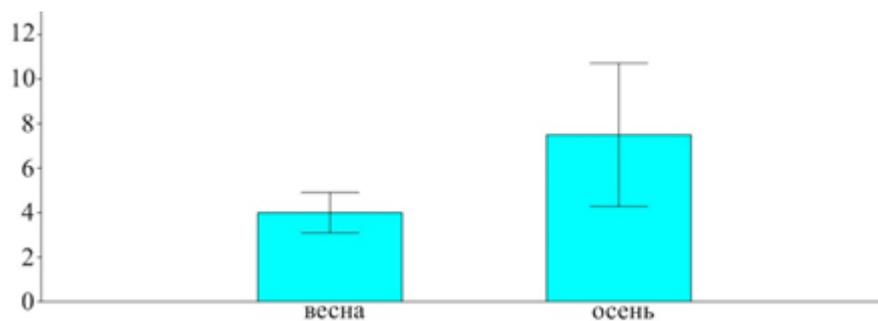


Рис. 2. Среднегодовые значения численности (экземпляра на флаго/километр) весеннего и осеннего пика активности *D. reticulatus* с учетом доверительного интервала на основе стандартной ошибки  
 [Average annual abundance values (specimens per flago/kilometer) of the spring and autumn peak of *D. reticulatus* activity, taking into account the confidence interval based on the standard error]

Как видно из графика (рис. 3), весной численность клещей *D. reticulatus* на протяжении всего периода наблюдений остается практически неизменной, и многолетняя динамика этого показателя не имеет тенденции к увеличению. В то же время показатели численности в осенний период растут и после 2013 г. превосходят весенние.

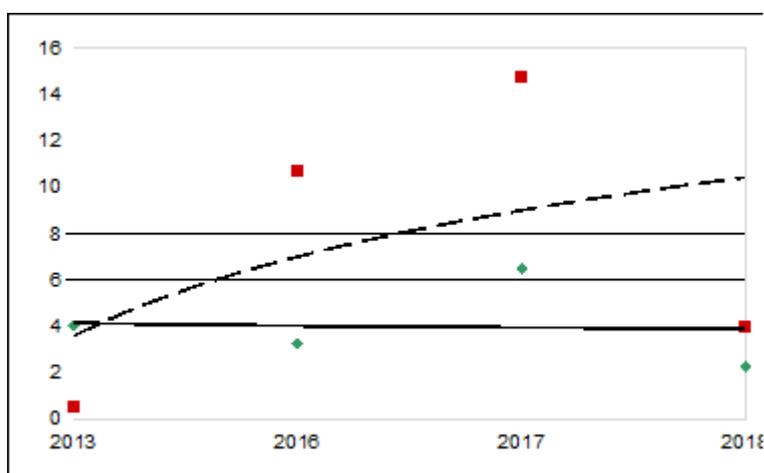


Рис. 3. Средняя численность (экземпляра на флаго/километр) *D. reticulatus* в Пермском крае по годам и сезонам.  
 Обозначения: весенний пик – зеленые ромбики, сплошная линия; осенний пик – красные квадраты, прерывистая линия

[The average number (of specimens per flago/kilometer) of *D. reticulatus* in the Perm Krai by year and season.  
 Designations: spring peak – green lozenges, solid line; autumn peak – red squares, broken line]

Следовательно, в Пермском крае зимующая популяция *D. reticulatus* состоит из двух неравных частей. Исходя из знаний о биологии этого вида, можно предположить, что меньшая часть особей остается зимовать в подстилке на стадии голодного имаго, именно она даёт весенний пик активности. Или в условиях Пермского края выживаемость особей, зимующих в подстилке, низкая. Что обуславливает низкую численность клещей, нападающих весной. Основная же масса клещей, потомки которых дают осенний пик активности, зимует либо прикрепившись к крупным животным, либо на стадии сытого имаго.

Вопрос о том, какой именно способ зимовки присущ основной массе клещей *D. reticulatus* в Пермском крае, требует дополнительного изучения. Для решения этой задачи необходимо провести сборы клещей с крупных животных в осенне-зимний период. Необходимо также проведение работ по определению сроков развития преимагинальных стадий этого вида и круга их прокормителей в пределах Пермского края.

## Выводы

1. В Пермском крае клещ *D. reticulatus* предпочитает открытые биотопы: луга, опушки, просеки и обочины широких дорог, концентрируясь здесь во влажных участках.

2. Численность клещей *D. reticulatus* в модельных (обследованных) биоценозах колебалась весной от 1 до 11.5 экземпляра на флаго/км, а осенью – от 0.5 до 23.5 экземпляра на флаго/км. Максимальная чис-

ленность весной отмечена в Чайковском р-не, осенью – в Чернушенском р-не. Как правило, при отсутствии *D. reticulatus* биотопы заселяет таежный клещ *I. persulcatus*. При совместном обитании первый вид преобладает над вторым в южных районах. В северных районах определенной закономерности в преобладании одного вида над другим установить не удалось.

3. На территории Пермского края для *D. reticulatus* установлены два периода активности: весенний и осенний. Осенью численность клещей данного вида выше, чем весной.

### Список источников

1. Береснев В.В., Ефимик В.Е. Новые данные о распространении *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 3. С. 185–190.
2. Балашов Ю.С. Иксодовые клещи – паразиты и переносчики инфекций. СПб.: Наука, 1998. 287 с.
3. Беспятова Л.А., Бугмырин С.В. Иксодовые клещи Карелии (распространение, экология, клещевые инфекции): учеб.-метод. пособие. Петрозаводск, 2012. 100 с.
4. Волков С.А. и др. Анализ инфицированности клещей видов *Ixodes persulcatus* и *Dermacentor reticulatus* возбудителями трансмиссивных заболеваний на территории Кировской области // Инфекция и иммунитет. 2016. Т. 6, № 2. С.173–178.
5. Гапонов С.П., Федорук С.А., Транквилевский Д.В. Биоэкология иксодовых клещей (Ixodidae) в г. Воронеже // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2008. № 2. С. 71–76.
6. Гапонов С.П., Солодовникова О.Г., Федорук С.А. Иксодовые клещи (Ixodidae) на урбанизированных территориях Воронежской области // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 2 (2). С. 45–51.
7. Глазунов Ю.В. Биологическое обоснование сроков проведения акарицидных мероприятий против иксодовых клещей рода *Dermacentor* в Северном Зауралье // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 3. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=24740>
8. Морозов А.В. и др. Предварительные результаты выявления ДНК babesia microti у мелких млекопитающих природного очага на Среднем Урале // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАН. 2007. № 3(55) Приложение. С. 136–138.
9. Олсуфьев Н.Г. К экологии лугового клеща *Dermacentor pictus* Herm., о происхождении его очагов и путях их ликвидации в средней полосе Европейской части РСФСР // Вопросы краевой, общей, экспериментальной паразитологии и медицинской зоологии. М., 1953. Т. 8. С. 49–98.
10. Померанцев Б. И. Иксодовые клещи (Ixodidae). Л., 1950. 224 с.
11. Ромашова Н.Б. и др. Сезонная активность иксодовых клещей в природных условиях Воронежской области // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями: материалы докл. междунар. науч. конф. М., 2017. Вып. 18. С. 391–393.
12. Рудаков Н.В. Современные представления о риккетсиях и риккетсиозах // Актуальные проблемы природной очаговости болезней: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Омск, 2009. С. 20–23.
13. Рудакова С.А. Иксодовые клещевые боррелиозы в сочетанных природных очагах Западной Сибири // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАН. 2007. № 3(55) Приложение. С. 151–155.
14. Рудакова С.А. Матущенко А.А. Результаты изучения природных очагов клещевого боррелиоза в районах юга Западной Сибири // Природноочаговые болезни человека. Омск, 1996. С. 169–173.
15. Самойленко И.Е. и др. Изучение адаптации *Rickettsia raoultii* к основным переносчикам — клещам рода *Dermacentor* с использованием экспериментальных методов // Сибирский медицинский журнал. 2013. Т. 120, № 5. С. 59–61.
16. Сбор, учет и подготовка к лабораторному исследованию кровососущих членистоногих в природных очагах опасных инфекционных болезней: метод. указания МУ 3.1.3012-12. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 55 с.
17. Сердюкова Г.В. Иксодовые клещи фауны СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 121 с.
18. Таежный клещ *Ixodes persulcatus* Schulze (Acarina, Ixodidae): Морфология, систематика, экология, медицинское значение. Л.: Наука, 1985. 416 с.
19. Якименко В.В., Малькова М.Г., Шпынов С.Н. Иксодовые клещи Западной Сибири: фауна, экология, основные методы исследования. Омск: Омский научный вестник, 2013. 240 с.
20. Alekseev A.N., Semenov A.V., Dubinina H.V. Evidence of Babesia microti infection in multiinfected *Ixodes persulcatus* ticks in Russia // Exp. Appl. Acarol. 2003. Vol. 29. P. 345–353.
21. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4, № 1. P. 1–9.

## References

1. Beresnev V.V., Efimik V.T. [New data on the distribution of *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 in the Perm region]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 3 (2021): pp. 185-190. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-3-185-190.
2. Balashov Yu.S. *Iksodovye klešči – parazity i perenoščiki infekcij* [Ixodid ticks – parasites and vectors of infections]. St-Peterburg: Nauka Publ., 1998, 287 p. (In Russ.).
3. Bespyatova L.A., Bugmyrin S.V. *Iksodovye klešči Karelii* [Ixodid ticks of Karelia (distribution, ecology, tick-borne infections)]. Petrozavodsk, Karelskij naučnyj centr RAN Publ., 2012. 100 p. (In Russ.).
4. Volkov S.A., Bezsolitsina E.A., Stolbova F.S. Dramov I.V. [Analysis of infection of *Ixodes persulcatus* and *Dermacentor reticulatus* ticks with pathogens of vector-borne diseases in the Kirov region]. *Infektsiya i immunitet*. V. 6, No 2 (2016): pp. 173-178. (In Russ.).
5. Gaponov S.P., Fedoruk S.A., Trankvilelevskiy D.V. [Bioecology of ixodid ticks (*Ixodidae*) in Voronezh]. *Vestnik Voronežskogo gosudarstvennogo universiteta. Chimija, Biologija, Farmacija*. No 2 (2008): pp. 71-76. (In Russ.).
6. Gaponov S.P., Salodovnikova O.G., Fedoruk S.A. [Bioecology of ixodid ticks (*Ixodidae*) in Voronezh]. *Vestnik Nižegorodskogo universiteta imeni N.I. Lobačevskogo*. No 2 (2) (2011): pp. 45-51. (In Russ.).
7. Glazunov Yu.V. [Biological justification of the timing of acaricidal measures against ixodic ticks of the genus *Dermacentor* in the Northern Trans-Urals]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. No 3 (2016): [sait]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=24740>. (In Russ.).
8. Morozov A.V., Kovalevskiy Yu.V., Gorelova N.B., Podlesnuy L.A. [Preliminary results of detection of *Babesia microti* DNA in small mammals of a natural focus in the Middle Urals]. *Bjulleten' Vostočno-Sibirskogo naučnogo centra SO RAMN*, No 3(55), Prilozhenie (2007): pp. 136-138. (In Russ.).
9. Olsufev N. G. [On the ecology of the meadow tick *Dermacentor pictus* Herm. on the origin of its foci and ways of their elimination in the middle zone of the European part of the RSFSR]. *Voprosy kraevoj, obščej, eksperimental'noj parazitologii i medicinskoj zoologii* [Questions of regional, general, experimental parasitology and medical zoology]. Moscow, 1953, V. 8, pp 49-98. (In Russ.).
10. Pomerantsev B.I. *Iksodovye klešči (Ixodidae)* [Ixodid ticks (*Ixodidae*)]. Leningrad, 1950. 224 p. (In Russ.).
11. Romasheva N.B., Kvasov D.A., Skogoreva A.M., Manzhurina O.A., Romashev B.V. [Seasonal activity of ixodic ticks in the natural conditions of the Voronezh region]. *Teorija i praktika borby s parazitarnymi boleznyami* [Theory and practice of combating parasitic diseases. Materials of reports of the international scientific conference]. Moscow, 2017, iss. 18, pp. 391-393. (In Russ.).
12. Rudakov N.V. [Modern ideas about rickettsias and rickettsioses]. *Aktual'nye problemy prirodnoj očagovosti boleznej*. [Actual problems of natural foci of diseases. Materials of the All-Russian Conference with international participation]. Omsk, 2009, pp. 20-23. (In Russ.).
13. Rudakova S.A. [Ixodic tick-borne borrelioses in combined natural foci of Western Siberia]. *Bjulleten' Vostočno-Sibirskogo naučnogo centra SO RAMN*. No 3(55), Prilozhenie (2007): pp. 151-155. (In Russ.).
14. Rudakova S.A., Matushenko A.A. [Results of the study of natural foci of tick-borne borreliosis in the regions of southern Western Siberia]. *Prirodnoočagovye bolezni čeloveka* [Natural focal human diseases]. Omsk, 1996, pp. 169-173. (In Russ.).
15. Samoylenko I.E. et al. [To study the adaptation of *Rickettsia raoultii* to the main vectors — ticks of the genus *Dermacentor* using experimental methods]. *Sibirskij medicinskij žurnal*. V. 120, No 5 (2013): pp. 59-61. (In Russ.).
16. *Sbor, učet i podgotovka k laboratornomu issledovaniju krovososuščich členistonogich v prirodnyh očagach opasnykh infekcionnykh boleznej. Metodičeskie ukazaniya 3.1.3012-12*. [Collection, accounting and preparation for laboratory examination of blood-sucking arthropods in natural foci of dangerous infectious diseases. Methodological guidelines of MU 3.1.3012-12]. Moscow, 2011. 55 p. (In Russ.).
17. Serdyukova G.V. *Iksodovye klešči fauny SSSR* [Ixodic ticks of the fauna of the USSR] Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1956. 121 p. (In Russ.).
18. *Taežnyj klešči Ixodes persulcatus Schulze (Acarina, Ixodidae)* [Taiga tick *Ixodes persulcatus* Schulze (Acarina, Ixodidae): Morphology, taxonomy, ecology, medical significance]. Leningrad, Nauka Publ., 1985. 416 p. (In Russ.).
19. Yakimenko V.V., Malkova M.G., Shpynov S.N. *Iksodovye klešči Zapadnoj Sibiri* [Ixodic ticks of Western Siberia: fauna, ecology, basic research methods]. Omsk, Omskij naučnyj vestnik, 2013. 240 p. (In Russ.).
20. Alekseev A.N., Semenov A.V., Dubinina H.V. Evidence of *Babesia microti* infection in multiinfected *Ixodes persulcatus* ticks in Russia. *Exp. Appl. Acarol*. V. 29 (2003): pp. 345-353.
21. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. V. 4, No 1 (2001): pp. 1-9.

Статья поступила в редакцию 18.05.2022; одобрена после рецензирования 21.06.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 18.05.2022; approved after reviewing 21.06.2022; accepted for publication 29.09.2022.

**Информация об авторах**

В. В. Береснев – медицинский энтомолог;

В. Е. Ефимик – канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой зоологии беспозвоночных и водной экологии.

**Information about the authors**

V. V. Beresnev – medical entomologist;

V. E. Efimik – candidate of biology, associate professor, head of the Department of invertebrates zoology and water ecology.

**Вклад авторов:**

Береснев В. В. – сбор материала; написание исходного текста; итоговые выводы.

Ефимик В. Е. – доработка текста; итоговые выводы.

**Contribution of the authors:**

Beresnev V. V. – collecting material; writing the draft; final conclusions.

Efimik V. E. – followon revision of the text; final conclusions.

## МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 616.9:579.864.1:577.112.3

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-212-217

### О влиянии путресцина и кадаверина на функциональную активность *Lactobacillus* spp., изолированных из генитального тракта

Елизавета Викторовна Афанасьевская<sup>1✉</sup>, Анатолий Петрович Годовалов<sup>2</sup>,  
Тамара Исаковна Карпунина<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия

<sup>1✉</sup> lizavika@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3498-6459>

<sup>2</sup> agodovalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5112-2003>

<sup>3</sup> karpuninapsma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2511-4656>

**Аннотация.** Исследовано влияние диаминов бактериального происхождения на функциональную активность клинических штаммов *Lactobacillus* spp. Установлено дозозависимое действие путресцина на их ростовые характеристики. Кадаверин в концентрации 1 ммоль/л в среде культивирования существенно увеличивал накопление биомассы исследованных культур лактобацилл. Получены экспериментальные данные, подтверждающие дестабилизирующее влияние бактериальных аминов на вагинальные *Lactobacillus* spp. и, следовательно, их важную непосредственную роль в ослаблении биологической защиты вагинальной микросреды.

**Ключевые слова:** лактобактерии, кадаверин, путресцин, параметры роста

**Для цитирования:** Афанасьевская Е. В., Годовалов А. П., Карпунина Т. И. О влиянии путресцина и кадаверина на функциональную активность *Lactobacillus* spp., изолированных из генитального тракта // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 212–217. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-212-217>.

## MICROBIOLOGY

Original article

### Functional activity of *Lactobacillus* spp. isolated from the genital tract under the unfluence of putrescine and cadaverine

Elizaveta V. Afanasievskaya<sup>1✉</sup>, Anatoliy P. Godovalov<sup>2</sup>, Tamara I. Karpunina<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> E.A. Vagner Perm State Medical University, Perm, Russia

<sup>1✉</sup> lizavika@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3498-6459>

<sup>2</sup> agodovalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5112-2003>

<sup>3</sup> karpuninapsma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2511-4656>

**Abstract.** Functional activity of *Lactobacillus* spp. was evaluated under the influence of bacterial diamines. The dose-dependent effect of putrescine on growth characteristics of clinical strains has been established. Cadaverine at a concentration of 1 mmol/l in the culture medium significantly stimulated the accumulation of biomass of the tested strains. The results obtained confirm the destabilizing effect of bacterial amines agents on vaginal *Lactobacillus* spp. and thus their important direct role in weakening the biological protection of the vaginal microenvironment.

**Keywords:** lactobacillii, cadaverine, putrescine, growth characteristics

**For citation:** Afanasievskaya E. V., Godovalov A. P., Karpunina T. I. [Functional activity of *Lactobacillus* spp. isolated from the genital tract under the unfluence of putrescine and cadaverine]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 212–217. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-212-217>.

## Введение

Многочисленные микробиологические исследования последних лет убедительно доказали, что в лю-бом биотопе организма человека существует разнообразная микрофлора, способная в значительной сте-

пени влиять на состояние здоровья. В свою очередь, состояние микробных сообществ определяется как микроокружением, так и взаимоотношениями их участников. Среди множества бактериальных метаболитов детектированы разнообразные соединения, «претендующие» на роль межмикробных коммуникаторов. В связи с этим биогенные полиамины (БП) и, прежде всего, кадаверин и путресцин, способные влиять на проявление практически всех функций прокариотических клеток [Нестерова, Цыганов, Ткаченко, 2020; Ткаченко и др., 2020], привлекают внимание исследователей микробиоценоза генитального тракта. Со времен Albert Döderlein (1892) в составе вагинально-цервикальной микробиоты в норме безоговорочно признается доминирующая роль молочнокислых бактерий. Согласно накопленной информации, в микробиоте влагалища может встречаться более десяти видов лактобактерий, состав, количество и функциональное состояние которых постоянно изменяются в зависимости от возраста, гормонального статуса, периода менструального цикла и других факторов. На основе молекулярно-генетических исследований установлено 6 типов вагинальной микробиоты, в 3–4-х из которых лактобактерии составляют более 90% микробного сообщества [Fudaba et al., 2021]. Вместе с тем публикации о влиянии БП микробного происхождения на представителей *Lactobacillus*, определяющих благополучие в биотопе, в доступной литературе немногочисленны, и преимущественно они посвящены изучению проблемы бактериального вагиноза [Sanderson, White, Balsdon, 1983; Nelson et al., 2015; Borgogna et al., 2021]. В работах J.C. Borgogna et al. показано, что минимальные ингибирующие концентрации путресцина и кадаверина, необходимые для подавления роста вагинальных штаммов *Lactobacillus* spp., превышают концентрации этих полиаминов, детектируемых при физиологических состояниях у женщин. Авторами установлено, что в максимальных концентрациях, которые были характерны для женщин с типом влагалищной микрофлоры CST IV, путресцин тормозит рост лактобацилл *L. crispatus*, *L. gasseri*, *L. iners*, увеличивая при этом время процесса деления их в среднем на 20–30%. Кадаверин в аналогичных концентрациях также увеличивает время деления и удлиняет лаг-фазу роста бактериальных популяций *L. crispatus*, *L. gasseri*, *L. jensenii*. Более того, даже в физиологических концентрациях кадаверин и путресцин снижают продукцию молочной кислоты штаммами *L. iners* (*L*-изоформа) и *L. gasseri* (*D*- и *L*-изоформы). Авторами исследования отмечена интересная особенность, которая заключается в том, что вагинальные штаммы *L. iners* среди представителей других видов лактобактерий оказались менее подвержены негативному влиянию этих диаминов. Установлено, что удлинение лаг-фазы роста вагинальных штаммов лактобактерий под влиянием БП обуславливает переход микробиоты типа CST II в CST IV [Borgogna et al., 2021]. В исследованиях S. Puebla-Barragan et al. [2021] показано, что лактобактерии, предварительно инкубированные в присутствии полиаминов, обладали более выраженной способностью деградировать эти полимеры, а также наибольшей устойчивостью к высоким значениям pH и способностью расти в присутствии полиаминов. Такая ситуация может быть связана с тем, что активность основного фермента метаболизма путресцина и кадаверина – аргининдезиминаза – у лактобактерий зависит от значения pH среды [Rimaux et al., 2011]. Вероятно, лактобактерии при низких значениях pH используют кадаверин и путресцин как источник нутриентов [Puebla-Barragan et al., 2021].

Цель исследования – оценить влияние биогенных полиаминов бактериального происхождения на функциональную активность клинических штаммов *Lactobacillus* spp.

## Материалы и методы исследований

Образцы (15) цервико-вагинального отделяемого женщин репродуктивного возраста были получены при помощи стандартизованных по объему (0.1 мл) ложек Фолькмана. Лактобактерии изолировали на полужидкой молочно-ростовой среде (МРС), в ряде исследований для культивирования использовали Лактобакагар (Оболенск, Россия). Бактерии культивировали при температуре 37°C в обычных и микроаэрофильных условиях при повышенной влажности. Полученные чистые культуры идентифицировали с учетом тинкториальных и культурально-биохимических свойств. Штаммами сравнения служили *L. crispatus* LMG 9479, *L. acidophilus* LMG 8151, *L. brevis* LMG 27275, *L. plantarum* 8P-A3. Для изучения кинетики роста бактериальных клеток в питательную среду МРС, разлитую в лунки плоскодонного полистиролового планшета, вносили тест-штаммы и штаммы сравнения. Культивирование осуществляли в течение 72 ч. при 37°C. Каждый час проводили измерение оптической плотности при длине волны 580 нм на планшетном спектрофотометре PowerWave X (Bio-Tek). Интенсивность накопления бактериальной биомассы оценивали, рассчитывая площадь под кривыми роста с помощью программы Microsoft® Excel® (Microsoft, 2019).

Концентрацию полиаминов определяли с использованием разработанных в лаборатории адаптации микроорганизмов ИЭГМ УрО РАН высокочувствительных флуоресцентных методов, основанных на тонкослойном разделении дансированных производных этих соединений [Лаврикова, Ахова, Ткаченко, 2020; Шегина, Ахова, Ткаченко, 2020] и методов высокоэффективной жидкостной хроматографии.

## Результаты и их обсуждение

При культивировании изолированных клинических штаммов *Lactobacillus* spp. в более чем в 90% случаев не установлено продукции ими путресцина и кадаверина, в остальных случаях продукцию этих полиаминов регистрировали лишь на следовом уровне.

При оценке влияния путресцина на кинетику роста штаммов *Lactobacillus* spp. установлено, что для клинических изолятов характерна короткая лаг-фаза, после которой бактериальные клетки переходили в фазу экспоненциального роста. Для штаммов сравнения зарегистрирована более длительная лаг-фаза (рис. 1). По завершении фазы экспоненциального роста уровень накопления биомассы различными штаммами существенно не различался.

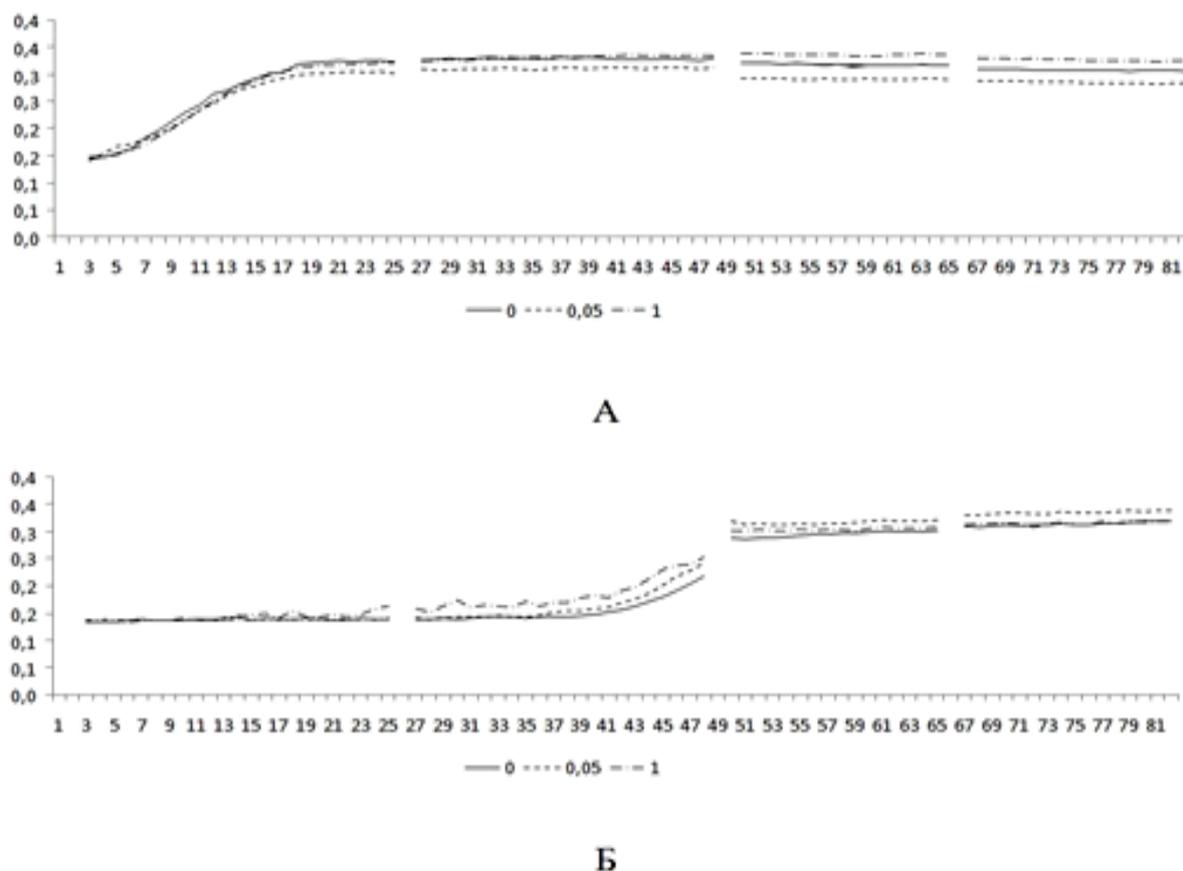


Рис. 1. Влияние путресцина на кинетику роста клинического штамма (А) и штамма сравнения (Б) *Lactobacillus* spp.

По оси абсцисс – длительность культивирования (час), по оси ординат – объем биомассы (усл. ед. оптической плотности). Линиями обозначены кривые роста при различных концентрациях путресцина (ммоль/л)

[The effect of putrescine on the growth kinetics of clinical strain (A) and comparison strain (Б) *Lactobacillus* spp. On the abscissa axis – the duration of cultivation (hour), on the ordinate axis – the volume of biomass (conl. units of optical density). The lines indicate the growth curves at different concentrations of putrescine (mmol/l)]

При концентрации путресцина 0.05 ммоль/л в среде культивирования клинических штаммов наблюдали относительно более низкий уровень накопления биомассы, чем у штаммов сравнения. Увеличение концентрации путресцина до 1 ммоль/л повышало биомассу клинических штаммов, а у штаммов сравнения лишь несколько ускоряло фазу экспоненциального роста, не влияя в дальнейшем на накопление биомассы.

Кадаверин в концентрации 1 ммоль/л в среде культивирования существенно увеличивал накопление биомассы как клинических штаммов, так и штаммов сравнения. Однако для штаммов сравнения после завершения фазы экспоненциального роста кривая совпадала с таковой для образцов, культивируемых без кадаверина (рис. 2).

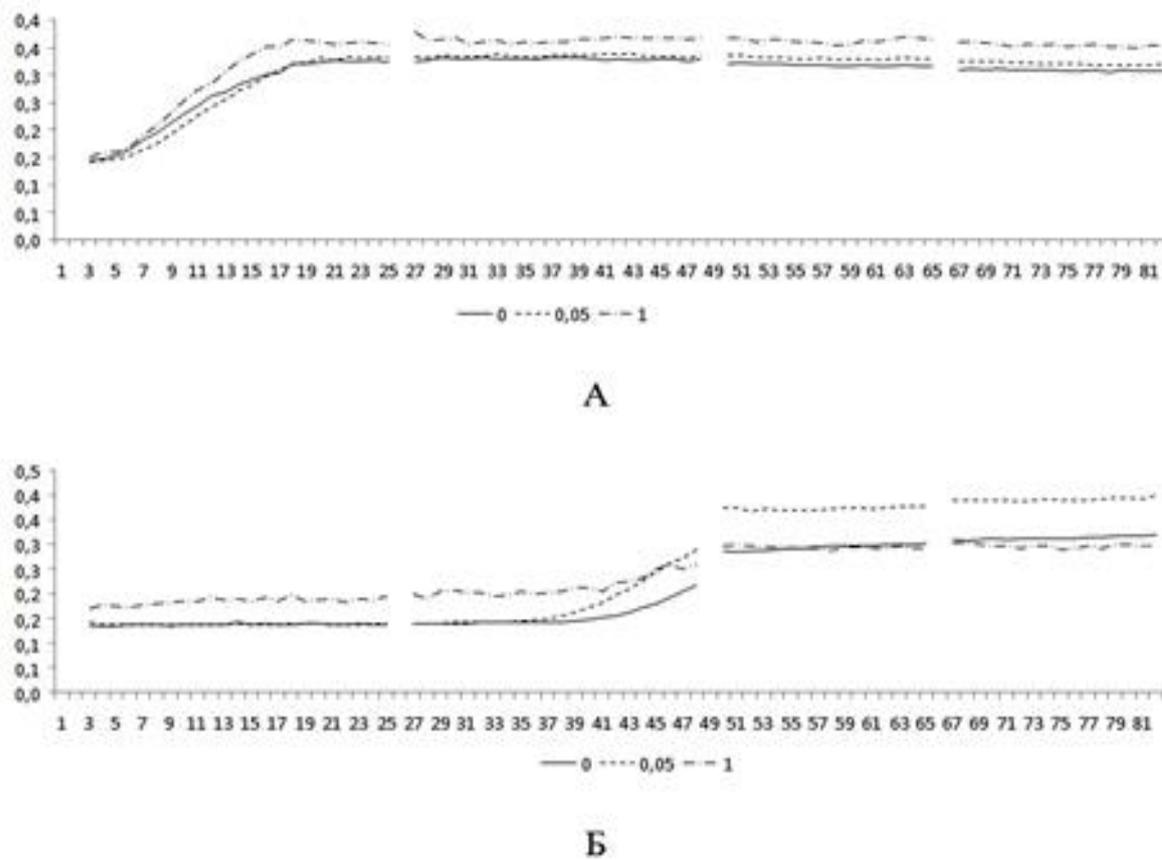


Рис. 1. Влияние кадаверина на кинетику роста клинического штамма (А) и штамма сравнения (Б) *Lactobacillus* spp.

По оси абсцисс – длительность культивирования (час), по оси ординат – объем биомассы (усл. ед. оптической плотности). Линиями обозначены кривые роста при различных концентрациях кадаверина (ммоль/л)

[The effect of cadaverine on the growth kinetics of clinical strain (A) and comparison strain (B) *Lactobacillus* spp.

On the abscissa axis – the duration of cultivation (hour), on the ordinate axis – the volume of biomass (concl. units of optical density). The lines indicate the growth curves at different concentrations of cadaverine (mmol/l)]

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено влияние бактериальных диаминов на ростовые характеристики клинических штаммов лактобактерий, изолированных из цервика-вагинального отделяемого женщин репродуктивного возраста. Ранее в работе [Borgogna et al., 2021] показано, что повышение содержания кадаверина, путресцина и тирамина в отделяемом влагалища было связано с большей вероятностью перехода женщин от вагинальной микробиоты с преобладанием *L. crispatus* к микробиоте с низким содержанием *Lactobacillus* spp. Авторы считают, что *in vivo* увеличение наиболее часто наблюдаемых бактериальных аминов связано с потерей *Lactobacillus* spp. Более того, БП бактериального происхождения негативно влияют на рост типовых штаммов наиболее распространенных вагинальных лактобацилл и изменяют их продукцию молочной кислоты. Полученные нами результаты подтверждают предположение о том, что бактериальные амины дестабилизируют вагинальные *Lactobacillus* spp., играя при этом важную и непосредственную роль в ослаблении их защиты вагинальной микросреды. В исследовании Е. Kulev с соавт. [2012] показано, что лактобактерии стимулируют продукцию кадаверина и других полиаминов энтеробактериями, которые наиболее часто изолируют из цервика-вагинального биотопа при дисбиотических и неспецифических воспалительных процессах в генитальном тракте. Можно полагать, что при этом формируется «порочный круг»: *Lactobacillus* spp. стимулируют продукцию полиаминов энтеробактериями, в свою очередь, полиамины укорачивают продолжительность лаг-фазы лактобактерий, сохраняя им жизнеспособность, и способны существенно изменять видовой состав лактобацилл. Такой «порочный круг» можно рассматривать как патогенетическое звено хронизации воспалительного процесса.

## Список источников

1. Лаврикова А.Л., Ахова А.В., Ткаченко А.Г. Продукция кадаверина бактериями в условиях микроаэрации // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 2020-2. С. 122–125.
2. Нестерова Л.Ю., Цыганов И.В., Ткаченко А.Г. Влияние биогенных полиаминов на антибиотикочувствительность и поверхностные свойства клеток *Mycobacterium smegmatis* // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56, № 4. С. 342–351.
3. Ткаченко А.Г. и др. Роль полиаминов в регуляции бактериальной персистенции // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2020. № 2. С. 36–47.
4. Шегина Е.С., Ахова А.В., Ткаченко А.Г. Продукция путресцина бактериями в условиях микроаэрации // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 2020-2. С. 216–220.
5. Borgogna J.C. et al. Biogenic amines increase the odds of bacterial vaginosis and affect the growth of and lactic acid production by vaginal *Lactobacillus* spp. // Appl. Environ. Microbiol. 2021. Vol. 87(10). Article e03068-20. DOI: 10.1128/AEM.03068-20.
6. Fudaba M. et al. Bioinformatics analysis of oral, vaginal, and rectal microbial profiles during pregnancy: A pilot study on the bacterial co-residence in pregnant women // Microorganisms. 2021. Vol. 9(5). Article 1027. DOI: 10.3390/microorganisms9051027.
7. Kuley E. et al. Stimulation of cadaverine production by foodborne pathogens in the presence of *Lactobacillus*, *Lactococcus*, and *Streptococcus* spp. // J. Food Sci. 2012. Vol. 77(12). Article M650-8. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02825.x.
8. Nelson T.M. et al. Vaginal biogenic amines: biomarkers of bacterial vaginosis or precursors to vaginal dysbiosis? // Front. Physiol. 2015. Vol. 6. Article 253. DOI: 10.3389/fphys.2015.00253.
9. Puebla-Barragan S. et al. Interstrain variability of human vaginal *Lactobacillus crispatus* for metabolism of biogenic amines and antimicrobial activity against urogenital pathogens // Molecules. 2021. Vol. 26(15). Article 4538. DOI: 10.3390/molecules26154538.
10. Puebla-Barragan S. et al. The two-way interaction between the molecules that cause vaginal malodour and lactobacilli: An opportunity for probiotics // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22(22). Article 12279. DOI: 10.3390/ijms222212279.
11. Rimaux T. et al. The kinetics of the arginine deiminase pathway in the meat starter culture *Lactobacillus sakei* CTC 494 are pH-dependent // Food Microbiol. 2011. Vol. 28(3). P. 597–604. DOI: 10.1016/j.fm.2010.11.016.
12. Sanderson B.E., White E., Balsdon M.J. Amine content of vaginal fluid from patients with trichomoniasis and gardnerella associated nonspecific vaginitis // Br. J. Vener Dis. 1983. Vol. 59. P. 302–305.

## References

1. Lavrikova A.L., Ahova A.V., Tkachenko A.G. [Production of cadaverine by bacteria under microaeration conditions]. *Chimija. Ėkologija. Urbanistika*. V. 2020-2 (2020): pp. 122-125.
2. Nesterova L.Ju., Cyganov I.V., Tkachenko A.G. [Effect of biogenic polyamines on antibiotic sensitivity and surface properties of *Mycobacterium smegmatis* cells]. *Prikladnaja biochimija i mikrobiologija*. V. 56, No 4 (2020): pp. 342-351. (In Russ.).
3. Tkachenko A.G., Haova E.A., Kashevarova N.M., Nesterova L.Ju., Ahova A.V., Sidorov R.Ju., Cyganov I.V. [The role of polyamines in the regulation of bacterial persistence]. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo centra*. No 2 (2020): pp. 36-47. (In Russ.).
4. Shegina E.S., Ahova A.V., Tkachenko A.G. [Putrescine production by bacteria under microaeration conditions]. *Chimija. Ėkologija. Urbanistika*. V. 2020-2 (2020): pp. 216-220. (In Russ.).
5. Borgogna J.C., Shardell M.D., Grace S.G., Santori E.K., Americus B., Li Z., Ulanov A., Forney L., Nelson T.M., Brotman R.M., Ravel J., Yeoman C.J. Biogenic amines increase the odds of bacterial vaginosis and affect the growth of and lactic acid production by vaginal *Lactobacillus* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* V. 87(10) (2021): Article e03068-20. DOI: 10.1128/AEM.03068-20.
6. Fudaba M., Kamiya T., Tachibana D., Koyama M., Ohtani N. Bioinformatics analysis of oral, vaginal, and rectal microbial profiles during pregnancy: A pilot study on the bacterial co-residence in pregnant women. *Microorganisms*. V. 9(5) (2021): Article 1027. DOI: 10.3390/microorganisms9051027.
7. Kuley E., Balıkcı E., Özoğul I., Gökdoğan S., Özoğul F. Stimulation of cadaverine production by foodborne pathogens in the presence of *Lactobacillus*, *Lactococcus*, and *Streptococcus* spp. *J. Food Sci.* V. 77(12) (2012): Article M650-8. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02825.x.
8. Nelson T.M., Borgogna J.-C., Brotman R.M., Ravel J., Walk S.T., Yeoman C.J. Vaginal biogenic amines: biomarkers of bacterial vaginosis or precursors to vaginal dysbiosis? *Front. Physiol.* V. 6 (2015): Article 253. DOI: 10.3389/fphys.2015.00253.
9. Puebla-Barragan S., Watson E., van der Veer C., Chmiel J.A., Carr C., Burton J.P., Sumarah M., Kort R., Reid G. Interstrain variability of human vaginal *Lactobacillus crispatus* for metabolism of biogenic amines and

antimicrobial activity against urogenital pathogens. *Molecules*. V. 26(15) (2021): Article 4538. DOI: 10.3390/molecules26154538.

10. Puebla-Barragan S., Akouris P.P., Al K.F., Carr C., Lamb B., Sumarah M., van der Veer C., Kort R., Burton J., Reid G. The two-way interaction between the molecules that cause vaginal malodour and lactobacilli: An opportunity for probiotics. *Int. J. Mol. Sci.* V. 22(22) (2021): Article 12279. DOI: 10.3390/ijms222212279.

11. Rimaux T., Vrancken G., Pothakos V., Maes D., De Vuyst L., Leroy F. The kinetics of the arginine deiminase pathway in the meat starter culture *Lactobacillus sakei* CTC 494 are pH-dependent. *Food Microbiol.* V. 28(3) (2011): pp. 597-604. DOI: 10.1016/j.fm.2010.11.016.

12. Sanderson B.E., White E., Balsdon M.J. Amine content of vaginal fluid from patients with trichomoniasis and gardnerella associated nonspecific vaginitis. *Br. J. Vener Dis.* V. 59 (1983): pp. 302-305.

Статья поступила в редакцию 22.08.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 22.08.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### **Информация об авторах**

Е. В. Афанасьевская – канд. мед. наук, доцент;

А. П. Годовалов – канд. мед. наук, доцент;

Т. И. Карпунина – д-р мед. наук, профессор.

#### **Information about the authors**

E. V. Afanasevskaia – candidate of medicine, associate professor;

A. P. Godovalov – candidate of medicine, associate professor;

T. I. Karpunina – doctor of medicine, professor, head of department.

#### **Вклад авторов:**

Афанасьевская Е. В. – сбор и лабораторный анализ материала.

Годовалов А. П. – статистическая обработка данных, написание исходного текста.

Карпунина Т. И. – научное руководство, концепция исследования, итоговые выводы.

#### **Contribution of the authors:**

Afanasevskaia E. V. – collection and laboratory analysis of the material.

Godovalov A. P. – writing the draft, statistical processing.

Karpunina T. I. – scientific management, research concept, conclusions.

## МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 579.222

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-218-225

### Разложение хлорбензойных кислот штаммами *Rhodococcus ruber* P25 и *Microbacterium oxydans* B51 в условиях кометаболизма

Дарья Олеговна Егорова<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия, daryao@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8018-4687>

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

**Аннотация.** Штаммы-деструкторы полихлорированных бифенилов (ПХБ) *Rhodococcus ruber* P25 и *Microbacterium oxydans* B51 осуществляют разложение основных интермедиатов аэробной бактериальной деструкции ПХБ – хлорбензойных кислот (ХБК). Установлено, что при культивировании штамма *M. oxydans* B51 на бифениле в качестве источника углерода происходит увеличение колониеобразующих единиц на четыре порядка за 4 сут., а при культивировании на 2ХБК – на три порядка за 3 сут. Уровень деструкции субстрата при этом составил 99.0–99.5%. При культивировании в условиях кометаболизма (в среде присутствуют ХБК и бифенил) удельная скорость роста штаммов *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25 увеличивалась в 1.53–1.58 раза, а эффективность деструкции 2ХБК и 4ХБК составляла 98.9–99.2%. Основные метаболиты бактериальной трансформации бифенила и ХБК в среде не зафиксированы, однако установлено накопление ионов хлора (через 5 сут. культивирования концентрация составляла 64.98–98.05% от максимально возможного). Полученные результаты свидетельствуют об эффективной деструкции ХБК штаммами *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25 в присутствии дополнительного источника углерода.

**Ключевые слова:** хлорбензойные кислоты, *Rhodococcus*, *Microbacterium*, бифенил, кометаболизм

**Для цитирования:** Егорова Д. О. Разложение хлорбензойных кислот штаммами *Rhodococcus ruber* P25 и *Microbacterium oxydans* B51 в условиях кометаболизма // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 218–225. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-218-225>.

**Благодарности:** исследование выполнено в рамках госзаданий № АААА-А19-119112290009-1 Молекулярные механизмы адаптации микроорганизмов к факторам среды и № FZWG-2020-0021 Адаптивные реакции микроорганизмов: теоретические аспекты.

## MICROBIOLOGY

Original article

### Degradation of chlorobenzoic acids by strains *Rhodococcus ruber* P25 and *Microbacterium oxydans* B51 under cometabolism

Darya O. Egorova<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch RAS, Perm, Russia, daryao@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8018-4687>

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Abstract.** The destructor strains of polychlorinated biphenyls (PCBs) *Rhodococcus ruber* P25 and *Microbacterium oxydans* B51 decompose the main intermediates of aerobic bacterial destruction of PCBs - chlorobenzoic acids (CBC). It was found that when cultivating the *M. oxydans* B51 strain on biphenyl as a carbon source, colony-forming units increase by four orders of magnitude in 4 days, and when cultured on 2XBC - by three orders of magnitude in three days. The level of destruction of the substrate was 99.0–99.5%. When cultured under cometabolism conditions (CBC and biphenyl are present in the medium), the specific growth rate of *M. oxydans* strains B51 and *R. ruber* P25 increased by 1.53–1.58 times, and the destruction efficiency of 2XBC and 4XBC was 98.9–99.2%. The main metabolites of bacterial transformation of biphenyl and CBC in the medium have not been recorded, but the accumulation of chlorine ions has been established (after 5 days. the cultivation concentration was 64.98–98.05% of the maximum possible). The results obtained indicate the effective destruction of CKD by *M. oxydans* strains B51 and *R. ruber* P25 in the presence of an additional carbon source.

**Keywords:** chlorobenzoic acids, *Rhodococcus*, *Microbacterium*, biphenyl, cometabolism

**For citation:** Egorova D. O. [Degradation of chlorobenzoic acids by strains *Rhodococcus ruber* P25 and *Microbacterium oxydans* B51 under cometabolism]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 218-225. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-218-225>.

**Acknowledgments:** the study was carried out within the framework of state assignment AAAA-A19-119112290009-1 Molecular mechanisms of adaptation of microorganisms to environmental factors and grant of the Ministry of Higher Education and Science FZWG-2020-0021 Adaptive reactions of microorganisms: theoretical aspects.

## Введение

Хлорбензойные кислоты (ХБК) являются химически стабильными соединениями и оказывают токсический, тератогенный, мутагенный и канцерогенный эффекты при проникновении в организм животных и человека [Федоров, 1993]. Данные свойства ХБК послужили основанием для их включения в перечень вредных и опасных соединений, утвержденный министерством здравоохранения и медицинской промышленности РФ<sup>1</sup>. Однако производство и применение ХБК не запрещены, в связи с чем хлорбензоаты продолжают использоваться при создании пластмасс, растворителей и некоторых гербицидов. Проникновение ХБК в окружающую среду происходит как с продукцией, так и с отходами производств. Следует отметить, что хлорбензойные кислоты являются основным интермедиатом аэробной бактериальной деструкции полихлорированных бифенилов (ПХБ), что приводит к их накоплению на территориях, загрязнённых ПХБ. Основой биохимической трансформации ПХБ является ферментативный комплекс аэробного окисления незамещенного бифенила. В результате поэтапного действия бифенил 2,3-диоксигеназы, дигидро-дигидрокси-бифенил дегидрогеназы, 2,3-дигидрокси 1,2-диоксигеназы и гидролазы происходит окисление молекулы бифенила/ПХБ до образования бензойной/ХБК кислот [Parales, Resnik, 2006; Kolar et al., 2007; Pori et al., 2008; Chang et al., 2013; Agulló, 2019; Jia et al., 2019]. Накопление ХБК в среде приводит к ингибированию процесса бактериальной утилизации полихлорированных бифенилов [Statford et al., 1996; Cho et al., 2002].

Бензойная и хлорбензойные кислоты подвержены аэробной бактериальной деструкции, однако их трансформация обусловлена действием специализированных ферментных систем. Начальное окисление бензойной кислоты осуществляет фермент бензоат 1,2-диоксигеназа, кодируемый геном *benA* [Parales, Resnik, 2006]. Анализ международной базы GenBank показал, что данный ген широко распространен у представителей родов *Acinetobacter*, *Burkholderia*, *Corynebacterium*, *Kokuria*, *Rhodococcus* и *Pseudomonas*, в том числе описан у штаммов-деструкторов ПХБ [Denef, 2006]. Разложение ХБК обусловлено действием различных групп ферментов, кодируемых специфическими генами: 4ХБК – разложение осуществляют ферменты, кодируемые *fcb*-генами; 3ХБК – генами *tfd*, *cba*, *cbn*, 2ХБК – генами *clc* и *ohb* [Tsoi et al., 1999; Hickey et al., 2001; Providenti, Wyndham, 2001; Radice et al., 2007; Xu et al., 2017]. Результаты проведенного анализа доступных баз данных и литературы свидетельствуют о том, что данные гены менее распространены, чем *benA*, а у штаммов-деструкторов ПХБ практически не встречаются.

В ранее проведенных исследованиях установлено, что штамм *Rhodococcus ruber* P25 осуществляет деструкцию ПХБ и 4ХБК, содержит гены деструкции бифенила, а также гены деструкции бензойной кислоты и 4ХБК [Плотникова и др., 2012; Shumkova et al., 2015]. Штамм *Microbacterium oxydans* B51 осуществляет разложение хлорированных бифенилов и обладает ферментативным комплексом, позволяющим утилизировать 2ХБК [Рыбкина и др., 2003; Solyanikova et al., 2015]. Известно, что в присутствии в среде нескольких источников углерода бактериальные штаммы разлагают наиболее доступный субстрат, а остальные соединения используются для метаболизма по остаточному принципу. В случае штаммов-деструкторов ПХБ, бифенил и образующаяся в результате его окисления бензойная кислота являются предпочтительным субстратом в сравнении с хлорбензойными кислотами. Однако, как было сказано выше, накопление ХБК может иметь негативные последствия для процесса аэробной бактериальной деструкции ПХБ. В связи с этим представляет научный и практический интерес изучение процессов разложения бифенила и ХБК при их одновременном присутствии в среде культивирования штаммов-деструкторов ПХБ.

Цель настоящего исследования – изучить возможность использования хлорбензойных кислот в качестве источника углерода штаммами *Rhodococcus ruber* P25 и *Microbacterium oxydans* B51 в присутствии бифенила.

---

<sup>1</sup> Об утверждении временных перечней вредных, опасных веществ и производственных факторов, а также работ, при выполнении которых производятся предварительные и периодические медицинские осмотры работников: приказ Минздравмедпрома Рос. Федерации № 280, Госкомсанэпиднадзора Рос. Федерации № 88 от 5 окт. 1995 г. // Российские вести. № 218. 16 нояб. 1995 г.

## Материалы и методы исследований

### Бактериальные штаммы

Штамм *Rhodococcus ruber* P25 (=ИЭГМ 896) выделен из загрязненной почвы химического производства (г. Пермь, Россия). Характеризуется способностью разлагать широкий спектр ароматических соединений, в том числе полихлорированных бифенилов [Плотникова и др., 2012]. Штамм *Microbacterium oxydans* B51 выделен из почвы, загрязненной отходами соледобывающего производства (г. Березники, Пермский край, Россия), и осуществляет разложение моно-, ди- и трихлорированных бифенилов, а также ряда хлорбензойных кислот [Рыбкина и др., 2003; Solyanikova et al., 2015].

### Среда культивирования, реактивы

Минеральная среда K1, состава (г/л):  $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$  – 3.2,  $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$  – 0.4,  $(NH_4)_2SO_4$  – 0.5,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0.15,  $Ca(NO_3)_2$  – 0.01. Для получения плотных питательных сред вносили агар-агар до конечной концентрации 1.5%.

В работе использовали аналитически чистые химические реактивы, бифенил (>98%), 4ХБК (>98%), 2ХБК (>98%) фирмы Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany).

### Периодическое культивирование, анализ ростовых параметров

Бактериальную культуру помещали в колбы Эрленмейера объемом 250 мл, содержащих 90 мл среды K1. В качестве источника углерода в колбы вносили: бифенил до конечной концентрации 0.5 г/л; 2ХБК – 0.5 г/л; бифенил и 2ХБК или 4ХБК – 0.5 г/л; бифенил и 2ХБК или 4ХБК – 0.75 г/л. Культивирование проводили на термостатируемой круговой качалке (Environmental Shaker-Incubator ES 20/60, “BioSan”, Латвия) при 120 об/мин и температуре 28°C в течение 5 сут. Каждые 24 ч. измеряли оптическую плотность культуры на спектрофотометре BioSpec-mini (Shimadzu, Япония) при длине волны 600 нм; высевали на агаризованную среду K1 с соответствующим субстратом для подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ/мл), а также отбирали образцы культуральной среды для анализа концентрации субстрата и возможных метаболитов. Удельную скорость роста рассчитывали по классической формуле

$$\mu = (\ln C_x - \ln C_0) / (t_x - t_0),$$

где  $C_x$  – концентрация культуры в высшей точке роста,  $C_0$  – концентрация культуры в начальный момент роста,  $t_0$  и  $t_x$  – время в начале и в конце логарифмической фазы роста культуры.

### Аналитические исследования

Количественный анализ бифенила выполняли с помощью газового хроматографа “Agilent 6890N” с масс-селективным детектором и кварцевой капиллярной колонкой HP-5MS (длина 30 м, диаметр 0.25 мм) (Agilent Technology, США) при программировании температуры согласно [Hernandez et al., 1997].

Расчет содержания бифенила в каждом исследуемом образце осуществляли методом внутренней нормализации. На основании полученных расчетных площадей пиков оценивали содержание бифенила после процесса биодеструкции.

Наличие ХБК, бензойной кислоты и ионов хлора определяли спектрофотометрически и методом ВЭЖХ. Культуральную жидкость очищали от бактериальных клеток центрифугированием (9660 г в течение 3 мин. на центрифуге miniSpin (Eppendorf, Германия). Наличие ионов хлора в супернатанте определяли на спектрофотометре UV-Visible BioSpec-mini (Shimadzu, Япония) при  $\lambda_{\text{макс}}$  от 460 до 540 нм через 5 мин. после внесения в супернатант 5%-ного азотнокислого серебра. Количественную оценку проводили согласно калибровочной кривой. Содержание в супернатанте бензойной и хлорбензойных кислот определяли с помощью хроматографа LC-20A (Shimadzu, Япония) с колонкой Discovery C18 (150 × 4.6 мм или 250 × 4.6 мм) (Supelco, Sigma-Aldrich, США) и УФ-детектором при 205 нм. Анализ проводили в системе ацетонитрил : 0.1%-ый  $H_3PO_4$  (70:30), идентификацию веществ осуществляли с помощью сравнения времени удержания на колонке исследуемых и стандартных соединений. Количество образовавшихся продуктов оценивали по величине площади и высоты пиков на хроматограмме относительно данных величин стандартных соединений.

### Скорость деструкции ХБК

Скорость деструкции субстрата рассчитывали по формуле

$$V = (C_0 - C_i) / (t_i - t_0),$$

где  $C_0$  – концентрация ХБК в начальный момент времени, мг/л,  $C_i$  – концентрация ХБК в конечный момент времени, мг/л,  $t_i$  – конечный момент времени, сут,  $t_0$  – начальный момент времени, сут.

## Статистический анализ

Все эксперименты проводили в трехкратной повторности. Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных пакетов компьютерных программ Microsoft Excel и Statistica 6.0.

## Результаты и их обсуждение

Установлено, что штамм *M. oxydans* B51, эффективно использует в качестве ростового субстрата бифенил и 2ХБК (рис. 1).

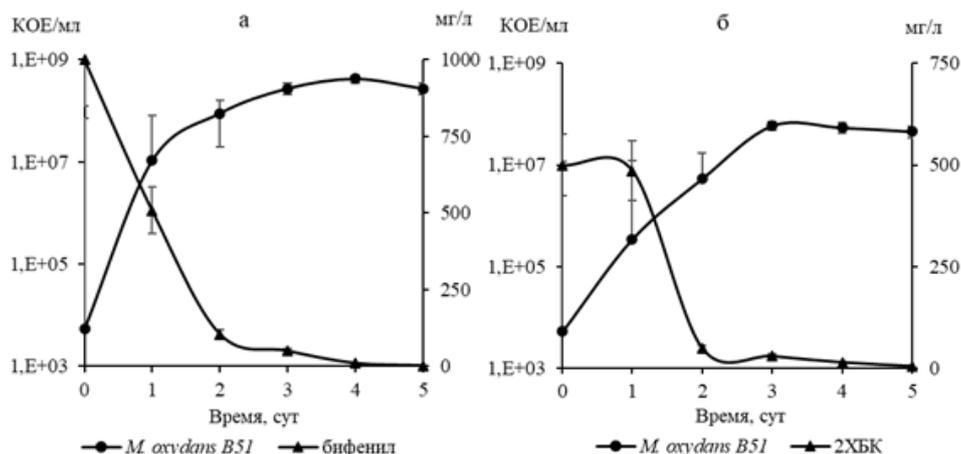


Рис. 1. Рост штамма *M. oxydans* B51 и изменение концентрации субстрата при культивировании на бифениле (а) и 2ХБК (б)

[Growth of *M. oxydans* B51 strain and change in substrate concentration during cultivation on biphenyl (a) and 2СВА (б)]

Рост бактериальной культуры коррелировал с убывью субстрата (коэффициент корреляции 0.967–0.981). Следует отметить, что в обоих случаях в среде не были зафиксированы аналитически значимые количества возможных интермедиатов. На основании полученных данных можно утверждать, что штамм *M. oxydans* B51 осуществляет полную утилизацию бифенила и 2ХБК без накопления промежуточных соединений в случае, если данные субстраты являются единственным источником углерода.

Ранее было показано, что штамм *R. ruber* P25 способен расти на бифениле или 4ХБК [Плотникова и др., 2012].

В результате проведенных экспериментов по периодическому культивированию установлено, что штаммы *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25 осуществляют разложение 2ХБК и 4ХБК в присутствии в среде бифенила (рис. 2, 3).

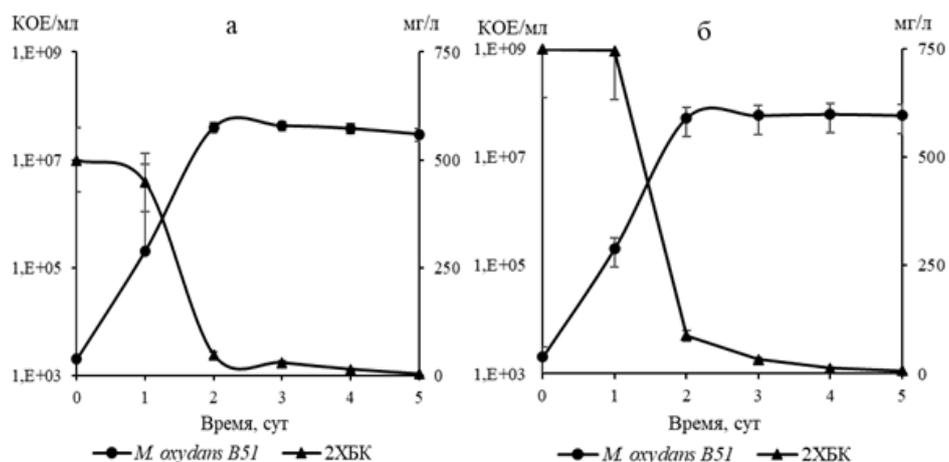


Рис. 2. Рост штамма *M. oxydans* B51 на бифениле и 2ХБК при начальной концентрации 500 мг/л (а) и 750 мг/л (б)

[Growth of the *M. oxydans* B51 strain on biphenyl and 2СВА at an initial concentration of 500 mg/L (a) and 750 mg/L (б)]

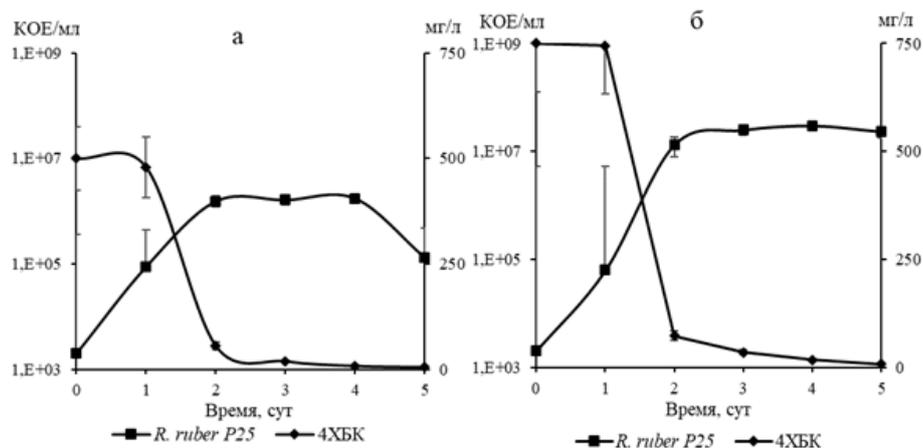


Рис. 3. Рост штамма *R. ruber* P25 на бифениле и 4ХБК при начальной концентрации 500 мг/л (а) и 750 мг/л (б)

[Growth of the strain *R. ruber* P25 on biphenyl and 4CBA at an initial concentration of 500 mg/l (a) and 750 mg/l (b)]

Наблюдалась обратная линейная корреляция между ростом бактериальных культур и изменением концентрации присутствовавших в среде хлорбензойных кислот (коэффициент корреляции составлял 0.989–0.992). Увеличение начальной концентрации 2ХБК в полтора раза не приводило к повышению максимальной плотности культуры штамма *M. oxydans* B51, тогда как в случае штамма *R. ruber* P25 аналогичное увеличение концентрации 4ХБК привело к разнице в максимальной концентрации колониеобразующих единиц на один порядок. Эффективность деструкции ХБК в присутствии бифенила составляла 98.9–99.2%. Достоверных различий по данному параметру в случае, когда ХБК являлись единственным источником углерода в ростовой среде, не выявлено. Следует отметить, что несмотря на присутствие в среде бифенила, накопление бензойной кислоты, как его метаболита, зафиксировано не было.

Анализ литературных данных показал, что штаммы *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25 осуществляют деструкцию 2ХБК и 4ХБК как в присутствии бифенила, так и без него, эффективнее, чем ранее описанные штаммы-деструкторы ХБК родов *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Hydrogenophaga*, *Microbacterium*, *Ralstonia*, *Pseudoaminobacteria*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* [Pori et al., 2008; Adebusoye, Miletto, 2011; Xu et al., 2017].

Рост штаммов сопровождался выделением ионов хлора (табл. 1). Высокие значения ионов хлора в среде свидетельствуют об активно протекавшем процессе дехлорирования молекул хлорбензойных кислот.

Таблица 1

**Выделение ионов хлора в процессе роста штаммов на ХБК в присутствии бифенила**  
**[Release of chlorine ions during the growth of strains on CBA in the presence of biphenyl]**

ХБК	Концентрация, г/л	Время, сут.	Концентрация хлора, %
<i>Rhodococcus ruber</i> P25			
4ХБК	0.5	0	0
		5	98.05
	0.75	0	0
		5	64.98
<i>Microbacterium oxydans</i> B51			
2ХБК	0.5	0	0
		2	75.5
		5	83.9
	0.75	0	0
		2	58.4
		5	75.5

Расчет ростовых параметров показал, что в присутствии бифенила и хлорбензойной кислоты удельная скорость роста штаммов повышается (табл. 2).

При культивировании на одинаковых концентрациях ХБК внесение бифенила в среду приводит к повышению удельной скорости роста бактериальных клеток в 1.53–1.58 раза. Изменение концентрации

ХБК в присутствии бифенила оказывает влияние только на ростовые процессы штамма *R. ruber* P25, удельная скорость роста которого увеличивается в 1.32 раза. Можно предположить, что присутствие двух субстратов способствует увеличению скорости роста штаммов за счет большей концентрации доступного углерода.

Таблица 2

**Удельная скорость роста (сут<sup>-1</sup>) штаммов *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25  
[Specific growth rate (day<sup>-1</sup>) of strains *M. oxydans* B51 and *R. ruber* P25]**

Субстрат	<i>M. oxydans</i> B51	<i>R. ruber</i> P25
Бифенил (500 мг/л)	2.81	2.30
ХБК (500 мг/л)	3.11	2.16
ХБК (500 мг/л) + бифенил (500 мг/л)	4.94	3.32
ХБК (750 мг/л) + бифенил (500 мг/л)	5.08	4.39

Проанализирована скорость деструкции хлорбензоатов исследуемыми штаммами как в присутствии бифенила, так и без внесения бифенила в среду культивирования (табл. 3). Установлено, что наличие бифенила не влияет на скорость деструкции 2ХБК штаммом *M. oxydans* B51, но оказывает положительный эффект на скорость деструкции 4ХБК штаммом *R. ruber* P25.

Таблица 3

**Скорость деструкции ХБК ((мг/л)сут<sup>-1</sup>) штаммами *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25  
[The rate of destruction of CBA ((mg/l) day<sup>-1</sup>) by strains *M. oxydans* B51 and *R. ruber* P25]**

Субстрат	<i>M. oxydans</i> B51	<i>R. ruber</i> P25
ХБК	99.1±0.1	87.5±0.1
ХБК (500 мг/л) + бифенил	99.3±0.2	98.9±0.1
ХБК (750 мг/л) + бифенил	148.6±0.2	148.5±0.2

В работе [Yasir et al., 2021] отмечается, что бифенил может оказывать положительный эффект на биодеградативную активность штаммов в отношении ПХБ. Однако сведений о стимулирующем эффекте бифенила в отношении бактериальной деструкции ХБК в литературе не выявлено.

## Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что штаммы *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25 используют в качестве источника углерода 2ХБК и 4ХБК соответственно в присутствии в среде дополнительного субстрата – незамещенного бифенила. Анализ ростовых параметров культур показал, что в условиях кометаболизма не происходит снижения эффективности деструкции хлорбензойных кислот. Таким образом, штаммы *M. oxydans* B51 и *R. ruber* P25 могут быть использованы в качестве агентов в природоподобных технологиях, направленных на удаление хлорбензоатов из окружающей среды, в том числе в районах, загрязнённых бифенилом и его производными.

## Список источников

1. Плотникова Е.Г. и др. Особенности разложение 4-хлорбифенила и 4-хлорбензойной кислоты штаммом *Rhodococcus ruber* P25 // Микробиология. 2012. Т. 81, № 2. С. 159–170. DOI: 10.1134/S0026261712020117.
2. Рыбкина Д.О. и др. Новый аэробный грамположительный микроорганизм с уникальными свойствами деструкции *орто*- и *пара*-хлорированных бифенилов // Микробиология. 2003. Т. 72, № 6. С. 759–765.
3. Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. М.: Наука, 1993. 266 с.
4. Adebusoye S.A., Miletto M. Characterization of multiple chlorobenzoic acid-degrading organisms from pristine and contaminated system: mineralization of 2,4-dichlorobenzoic acid // Bioresource Technology. 2011. Vol. 102. P. 3041–3048. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.026>.
5. Agulló L. Genetics and biochemistry of biphenyl and PCB biodegradation // Rojo F. (ed.) Aerobic Utilization of Hydrocarbons, Oils, and Lipids. Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer, 2019. P. 595–622.
6. Chang Y.-C. et al. Isolation of biphenyl and polychlorinated biphenyl-degrading bacteria and their degradation pathway // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2013. Vol. 170. P. 381–398. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0191-5>.

7. Cho Y.-C. et al. Enhancement of microbial PCB dechlorination by chlorobenzoates, chlorophenols and chlorobenzenes // *FEMS Microbiology Ecology*. 2002. Vol. 42. P. 51–58. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2002.tb00994.x>.
8. Denev V.J. Genetic and genomic insights into the role of benzoate-catabolic pathway redundancy in *Burkholderia xenovorans* LB400 // *Applied and Environmental Microbiology*. 2006. Vol. 72. P. 585–595. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.1.585-595.2006>.
9. Hernandez B.S. et al. Terpene-utilizing isolates and their relevance to enhanced biotransformation of polychlorinated biphenyls in soil // *Biodegradation*. 1997. Vol. 8. P. 153–158. <https://doi.org/10.1023/A:1008255218432>.
10. Hickey W.J. et al. Cloning, nucleotide sequencing, and functional analysis of a novel, mobile cluster of biodegradation genes from *Pseudomonas aeruginosa* strain JB2 // *Applied and Environmental Microbiology*. 2001. Vol. 67. P. 4603–4609. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4603-4609.2001>.
11. Ilori M.O. et al. Aerobic mineralization of 4,4'-dichlorobiphenyl and 4-chlorobenzoic acid by a novel natural bacterial strain that grows poorly on benzoate and biphenyl // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2008. Vol. 24. P. 1259–1265. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9597-y>.
12. Jia Y. et al. Identification and characterization of a meta-cleavage product hydrolase involved in biphenyl degradation from *Arthrobacter* sp. YC-RL1 // *Applied Microbiol Biotechnology*. 2019. Vol. 103, No 16. P. 6825–6836. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09956-z>.
13. Kolar A.B. et al. PCB-degrading potential of aerobic bacteria enriched from marine sediments // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2007. Vol. 60. P. 16–24. <https://doi.org/10.16/j.ibiod.2006.11.004>.
14. Parales R.E., Resnick S.M. Aromatic Ring Hydroxylating Dioxygenases // Ramos JL., Levesque R.C. (Eds) *Pseudomonas*. Boston: Springer, 2006. P. 287–340. [https://doi.org/10.1007/0-387-28881-3\\_9\\_2](https://doi.org/10.1007/0-387-28881-3_9_2).
15. Providenti M.A., Wyndham R.C. Identification and functional characterization of CbaR, a MarR-like modulator of the *cbaABC*-encoded chlorobenzoate catabolism pathway // *Applied and Environmental Microbiology*. 2001. Vol. 67. P. 3530–3541. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.8.3530-3541.2001>.
16. Radice F. et al. Cloning of the *Arthrobacter* sp. FG1 dehalogenase genes and construction of hybrid pathways in *Pseudomonas putida* strains // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007. Vol. 75. P. 1111–1118. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0906-z>.
17. Shumkova E.S. et al. Draft genome sequence of *Rhodococcus ruber* strain P25, an active polychlorinated biphenyl degrader // *Genome Announcements*. 2015. Vol. 3. Article e00990-15. <https://doi.org/10.1128/genomeA.00990-15>.
18. Solyanikova I.P. et al. Peculiarities of the degradation of benzoate and its chloro- and hydroxy-substituted analogs by actinobacteria // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015. Vol. 100. P. 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.02.028>.
19. Stratford J. et al. Influence of chlorobenzoates on the utilisation of chlorobiphenyls and chlorobenzoate mixtures by chlorobiphenyl/chlorobenzoate-mineralising hybrid bacterial strains // *Archives of Microbiology*. 1996. Vol. 165. P. 213–218. <https://doi.org/10.1007/BF01692864>.
20. Tsoi T.V. et al. Cloning and expression of the *Arthrobacter globiformis* KZT1 *pcbA* gene encoding dehalogenase (4-chlorobenzoate-4-hydroxylase) in *Escherichia coli* // *FEMS Microbiology Letters*. 1991. Vol. 81. P. 165–170. [https://doi.org/10.1016/0378-1097\(91\)90298-o](https://doi.org/10.1016/0378-1097(91)90298-o).
21. Xu C. et al. Degradation of three monochlorobenzoate isomers by different bacteria isolated from a contaminated soil // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017. Vol. 120. P. 192–202. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.020>.
22. Yasir M.W. et al. Biotreatment potential of co-contaminants hexavalent chromium and polychlorinated biphenyls in industrial wastewater: individual and simultaneous prospects // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 779. Article 146345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146345>.

## References

1. Plotnikova E.G., Egorova D.O., Shumkova E.S., Solyanikova I.P., Golovleva L.A. [Degradation of 4-chlorobiphenyl and 4-chlorobenzoic acid by the strain *Rhodococcus ruber* P25]. *Microbiology (Mikrobiologiya)*. V. 81, No 2. (2012): pp. 143-153. <https://doi.org/10.1134/S0026261712020117>.
2. Rybkina D.O., Plotnikova E.G., Demakov V.A., Dorofeeva L.V., Mironenko Yu.L. A new aerobic gram-positive bacterium with a unique ability to degrade ortho- and para-chlorinated biphenyls. *Microbiology (Mikrobiologiya)*. V. 72, No 6 (2003): pp. 672-677. <https://doi.org/10.1023/B:MICI.0000008367.24540.6c>.
3. Fedorov L.A. *Dioksiny kak èkologičeskaja opasnost': retrospektiva i perspektivy* [Dioxins as an environmental hazard: retrospective and prospects]. Moscow, Nauka Publ., 1993. 266 p. (In Russ.).
4. Adebusoye S.A., Miletto M. Characterization of multiple chlorobenzoic acid-degrading organisms from pristine and contaminated system: mineralization of 2,4-dichlorobenzoic acid. *Bioresource Technology*. V. 102 (2011): pp. 3041-3048. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.026>.
5. Agulló L. Genetics and Biochemistry of Biphenyl and PCB Biodegradation. In: Rojo F. (ed.) *Aerobic*

Utilization of Hydrocarbons, Oils, and Lipids. Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer, Cham, 2019, pp. 595-622.

6. Chang Y.-C. et al. Isolation of biphenyl and polychlorinated biphenyl-degrading bacteria and their degradation pathway. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. V. 170 (2013): pp. 381-398 <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0191-5>.

7. Cho Y.-C. et al. Enhancement of microbial PCB dechlorination by chlorobenzoates, chlorophenols and chlorobenzenes. *FEMS Microbiology Ecology*. V. 42 (2002): pp. 51-58. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2002.tb00994.x>

8. Denev V.J. Genetic and genomic insights into the role of benzoate-catabolic pathway redundancy in *Burkholderia xenovorans* LB400. *Applied and Environmental Microbiology*. V. 72 (2006): pp. 585-595. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.1.585-595.2006>

9. Hernandez B.S. et al. Terpene-utilizing isolates and their relevance to enhanced biotransformation of polychlorinated biphenyls in soil. *Biodegradation*. V. 8 (1997): pp. 153-158. <https://doi.org/10.1023/A:1008255218432>.

10. Hickey W.J. et al. Cloning, nucleotide sequencing, and functional analysis of a novel, mobile cluster of biodegradation genes from *Pseudomonas aeruginosa* strain JB2. *Applied and Environmental Microbiology*. V. 67 (2001): pp. 4603-4609. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4603-4609.2001>.

11. Ilori M.O., Robinson G.K., Adebusoye S.A. Aerobic mineralization of 4,4'-dichlorobiphenyl and 4-chlorobenzoic acid by a novel natural bacterial strain that grows poorly on benzoate and biphenyl. *World Journal of Microbiology Biotechnology*. V. 24 (2008): pp. 1259-1265. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9597-y>.

12. Jia Y. et al. Identification and characterization of a meta-cleavage product hydrolase involved in biphenyl degradation from *Arthrobacter* sp. YC-RL1. *Applied Microbiol. Biotechnology*. V. 103, No 16 (2019): pp. 6825-6836. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09956-z>.

13. Kolar A.B. et al. PCB-degrading potential of aerobic bacteria enriched from marine sediments. *International Biodeterioration and Biodegradation*. V. 60 (2007): pp. 16-24. <https://doi.org/10.16/j.ibiod.2006.11.004>.

14. Parales R.E., Resnick S.M. Aromatic Ring Hydroxylating Dioxygenases. In: Ramos JL., Levesque R.C. (eds) *Pseudomonas*. Springer, Boston, MA, 2006, pp. 287-340. [https://doi.org/10.1007/0-387-28881-3\\_9](https://doi.org/10.1007/0-387-28881-3_9).

15. Providenti M.A., Wyndham R.C. Identification and functional characterization of CbaR, a MarR-like modulator of the *cbaABC*-encoded chlorobenzoate catabolism pathway. *Applied and Environmental Microbiology*. V. 67 (2001): pp. 3530-3541. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.8.3530-3541.2001>.

16. Radice F. et al. Cloning of the *Arthrobacter* sp. FG1 dehalogenase genes and construction of hybrid pathways in *Pseudomonas putida* strains. *Applied Microbiology and Biotechnology*. V. 75 (2007): pp. 1111-1118. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0906-z>.

17. Shumkova E.S. et al. Draft genome sequence of *Rhodococcus ruber* strain P25, an active polychlorinated biphenyl degrader. *Genome Announcements*. V. 3 (2015): Article e00990-15. <https://doi.org/10.1128/genomeA.00990-15>.

18. Solyanikova I.P. et al. Peculiarities of the degradation of benzoate and its chloro- and hydroxy-substituted analogs by actinobacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*. V. 100 (2015): pp. 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.02.028>.

19. Stratford J. et al. Influence of chlorobenzoates on the utilization of chlorobiphenyls and chlorobenzoate mixtures by chlorobiphenyl/chlorobenzoate-mineralizing hybrid bacterial strains. *Archives of Microbiology*. V. 165 (1996): pp. 213-218. <https://doi.org/10.1007/BF01692864>

20. Tsoi T.V. et al. Cloning and expression of the *Arthrobacter globiformis* KZT1 *fcba* gene encoding dehalogenase (4-chlorobenzoate-4-hydroxylase) in *Escherichia coli*. *FEMS Microbiology Letters*. V. 81 (1991): pp. 165-170. [https://doi.org/10.1016/0378-1097\(91\)90298-o](https://doi.org/10.1016/0378-1097(91)90298-o).

21. Xu C. et al. Degradation of three monochlorobenzoate isomers by different bacteria isolated from a contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. V. 120 (2017): pp. 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.020>.

22. Yasir M.W. et al. Biotreatment potential of co-contaminants hexavalent chromium and polychlorinated biphenyls in industrial wastewater: individual and simultaneous prospects. *Science of the Total Environment*. V. 779 (2021): Article 146345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146345>

Статья поступила в редакцию 05.07.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 05.07.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### Информация об авторах

Д. О. Егорова – кандидат биологических наук, доцент, ст. науч. сотр.

#### Information about the authors

D. O. Egorova – PhD of biology, associate professor, senior researcher.

## МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 579.6

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-226-234

### Использование дрожжевых автолизатов в составе питательных сред для культивирования микроорганизмов

Анна Викторовна Луценко<sup>1✉,2</sup>, Ольга Борисовна Сопрунова<sup>3</sup>

<sup>1✉</sup> Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия, ahrapova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8423-3351>

<sup>2,3</sup> Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

<sup>3</sup> soprunova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5710-6362>

**Аннотация.** Дрожжевые автолизаты и экстракты в качестве источников витаминов и ростовых добавок находят применение при культивировании микроорганизмов различных физиологических групп. С учетом перспективности данного направления, нами предпринята попытка использования автолизата дрожжевого штамма *Rhodotorula mucilaginosa* AgIV в качестве компонента экспериментальных питательных сред для культивирования *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumonia*, *Candida albicans*, изолированных из нейротрофических язв. При исследовании стабильности основных биологических свойств микроорганизмов, дифференцирующих и ингибирующих свойств экспериментальных сред установлено, что фактические данные, полученные при посеве тест-штаммов на предложенные экспериментальные среды, максимально приближены к результатам контрольных питательных сред.

**Ключевые слова:** *Rhodotorula mucilaginosa*, дрожжевой автолизат, экспериментальные питательные среды, тест-культура, энтеробактерии, дифференцирующие свойства, суспензия

**Для цитирования:** Луценко А. В., Сопрунова О. Б. Использование дрожжевых автолизатов в составе питательных сред для культивирования микроорганизмов // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 226–234. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-226-234>.

## MICROBIOLOGY

Original article

### Yeast autolysates as components of nutrient media for cultivation of microorganisms

Anna V. Lutsenko<sup>1✉,2</sup>, Olga B. Soprunova<sup>3</sup>

<sup>1✉</sup> Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia, ahrapova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8423-3351>

<sup>2,3</sup> Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

<sup>3</sup> soprunova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5710-6362>

**Abstract.** Yeast autolysates and extracts as sources of vitamins and growth supplements are used to cultivate microorganisms of various physiological groups. Considering the prospects of this approach, we attempted to use the autolysate of the yeast strain *Rhodotorula mucilaginosa* AgIV as a protein component of experimental nutrient media for cultivation of *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumonia*, and *Candida albicans* isolated from neurotrophic ulcers. When studying the stability of the main biological properties of microorganisms as well as differentiating and inhibitory properties of experimental media, no differences were found with the results obtained by inoculating the test strains on control nutrient media.

**Keywords:** *Rhodotorula mucilaginosa*, yeast autolysate, experimental nutrient media, test culture, enterobacteria, differentiating properties, suspension

**For citation:** Lutsenko A. V., Soprunova O. B. [Yeast autolysates as components of nutrient media for cultivation of microorganisms], *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 226-234. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-226-234>.

## Введение

Актуальной проблемой в области микробиологических исследований является использование экономически выгодных, безопасных и доступных компонентов питательных сред, не уступающих по своим

свойствам и качеству мясному, рыбному и казеиновому сырью [Курилова, 2009]. Правильно подобранный состав питательной среды влияет не только на рост посевного материала, но и на конечный продукт в целом. Необходимым условием является доступность питательных веществ среды для усваивания их микроорганизмами [Федорова и др., 2017; Bonnet et al., 2020]. Показано, что различия в составе компонентов питательных сред приводят к последующим изменениям свойств микробных культур [Villamil, Vázquez, Solanilla, 2017; Petrova et al., 2021]. В связи с этим, разработка эффективных питательных сред, используемых для культивирования микроорганизмов с сохранением их основных признаков, остается весьма актуальной задачей [Ковтун и др., 2014].

Дрожжевые организмы обладают уникальными свойствами, позволяющими регулировать биохимические превращения и контролировать ферментационный процесс [Пермякова, 2016]. Преимущество использования дрожжевых автолизатов в питательных средах заключается в постоянстве клеточных компонентов, что позволяет избежать негативного воздействия содержащихся в исходном мясном сырье антибиотиков, гормонов и др. [Базлов, Авдеева, Никифоров, 2012; Hølen, Austgulen, Espe, 2021]. Дрожжевые продукты (экстракты и гидролизаты пивных, пекарских и кормовых дрожжей) являются не только превосходными источниками витаминов группы В и азотистых оснований, повышающими ростовые качества микробиологических сред, но и рассматриваются как безопасное и экономически выгодное целевое сырье [Омельченко, 2020; Храпова и др., 2020; Тарас, Фурик, Жабанос, 2021]. В настоящее время подтверждена эффективность применения дрожжевого автолизата в качестве белковой основы для культивирования чумного бактериофага [Аленкина и др., 2011]. Чен с соавт. [Chen et al., 2011] изучали синтез янтарной кислоты культурой *Actinobacillus succinogenes* при росте на средах, содержащих гидролизат пивных дрожжей в качестве источника углерода. Высокое содержание белка, витаминов группы В и минералов в продуктах автолиза дрожжей позволяет использовать их при культивировании требовательных микроорганизмов и синтезе целевых метаболитов.

Цель исследования – изучение возможности применения автолизата дрожжевого штамма *Rhodotorula mucilaginosa* AgIV в качестве компонента микробиологических питательных сред.

## Материалы и методы исследований

### Материал

В работе использовали штамм дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* AgIV, изолированный из эпифитной микробиоты шампиньона *Agaricus* sp., произрастающего в северной части Астраханской обл. (Ахтубинский р-н, с. Садовое). Штамм *Rhodotorula mucilaginosa* AgIV депонирован в Ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии» (ФГБНУ ВНИИСХМ г. Пушкин, регистрационный номер RCAM05019) как потенциальный объект для получения биомассы кормового белка [Храпова, Сопрунова, 2011]. Автолизат данного дрожжевого штамма апробирован и рекомендован с целью возможного применения в составе комбикорма при выращивании тилапии (*Tilapia*) и гуппи (*Poecilia*) на базе Инновационного центра «Биоаквапарк-НТЦ Аквакультуры» (Астрахань) для повышения биологических и рыбоводных показателей.

В качестве тест-культур использовали *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumonia*, *Candida albicans*, выделенные из нейротрофических язв пациентов ФГБУ «Научно-исследовательский институт по изучению лепры» Минздрава России (с 01.04.2022 реорганизован в форме присоединения к ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России<sup>1</sup>).

В работе использовали набор коммерческих реагентов для бактериологических исследований (контрольные питательные среды): питательная среда для выделения стафилококков сухая «Стафилококкагар» производства ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Оболенск (ФБУН ГНЦ ПМБ), ТУ 9398-109-78095326-2010; среда Сабуро (агар) для культивирования дрожжевых и плесневых грибов, сухая (ООО «Биотехновация», Электрогорск), ТУ 9385-001-16542938-2012; набор реагентов для бактериологических исследований «Питательная среда для выделения энтеробактерий сухая (агар Эндо-ГРМ)» (ФБУН ГНЦ ПМБ), ТУ 9398-027-78095326-2007. Контрольные питательные среды готовили в соответствии с инструкциями производителей.

В качестве экспериментальных питательных сред приготовили следующие среды (г/л):

---

<sup>1</sup> О реорганизации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации и федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт по изучению лепры» Министерства здравоохранения Российской Федерации в форме присоединения второго учреждения к первому: Приказ Министерства здравоохранения Рос. Федерации № 1029 от 1 нояб. 2021 г.

- среда 1 «для стафилококков»: пептон ферментативный сухой – 10.0, панкреатический гидролизат казеина – 20.0, панкреатический гидролизат рыбной муки – 5.0, автолизат дрожжей *R. mucilaginosa* AgIV – 0.5; 2.0; 3.5; 5.0 соответственно, натрий хлористый – 6.0, натрий фосфорнокислый двузамещенный – 0.5, натрий углекислый – 0.1, агар – 11.0;

- среда 2 «для дрожжевых грибов»: пептон ферментативный сухой – 7.0, гидролизат соевой муки ферментативный – 3.0, глюкоза кристаллическая гидратная – 40.0, автолизат дрожжей *R. mucilaginosa* AgIV – 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5; 4.0 соответственно, агар – 12.0;

- среда 3 «для энтеробактерий»: панкреатический гидролизат рыбной муки – 12.0, автолизат дрожжей *R. mucilaginosa* AgIV – 0.5; 1.0 соответственно, натрий хлористый – 3.4, Д (+) - лактоза, 1-водная – 10.0, натрия сульфит безводный – 0.8, натрия фосфат двузамещенный 12-водный – 0.5, фуксин основной для микробиологических целей – 0.2, агар – 10.0.

## Методы исследования

В процессе посевов тест-культур и приготовления экспериментальных сред руководствовались стандартными методиками [Теппер, Шильникова, Переверзева, 2004]. С целью получения биомассы штамм *R. mucilaginosa* AgIV культивировали глубинным методом в бульоне Сабуро. Для приготовления автолизата дрожжевую суспензию инкубировали в течение 2 сут. в термостате при температуре +45...+50°C, затем разводили теплой водопроводной водой и стерилизовали при температуре +120°C в течение 30 мин. После предварительного отстаивания осадок отделяли центрифугированием и высушивали в сушильном шкафу при температуре +80°C, в указанных концентрациях вносили в экспериментальные среды и автоклавировали. Качественную оценку показателей экспериментальных питательных сред (стабильность основных биологических свойств микроорганизмов, дифференцирующие свойства питательных сред, ингибирующие свойства питательных сред) проводили согласно методикам [Методы ..., 2008].

Для приготовления взвеси бактериальных клеток использовали суточные тест-культуры; клетки дрожжей *R. mucilaginosa* AgIV культивировали трое суток: 0.05 мл суспензии (0.5 по McFarland), которую вносили в каждую пробирку. Посевы инкубировали в течение суток (для бактерий) и 3 сут. (для дрожжей) при температуре +37°C, оценивали наличие роста. Далее пробирки центрифугировали 10 мин. при 1 500 об/мин., удаляли супернатант, осадок отмывали стерильным физиологическим раствором. Из каждой пробирки на контрольные и экспериментальные питательные среды, соответствующие культуре, высевали 0.02 мл содержимого осадка. Инкубировали 1 сут. (+37°C), далее проводили подсчет выросших колоний посредством программно-аппаратного комплекса BIOMICV3 (GilesScientific, США).

Стабильность основных биологических свойств определяли с помощью визуальной оценки культуральных признаков колоний микроорганизмов, клетки исследуемых культур окрашивали по Граму и микроскопировали на световом микроскопе Olympus CX41 (OlympusCorp., Япония). При исследовании дифференцирующих свойств засеивали по 0.1 мл микробной суспензии из разведений  $10^{-3}$ – $10^{-8}$  на чашки с контрольными и экспериментальными средами. Отмечали диффузное изменение цвета среды, диаметр и характер роста колоний тест-культур [Методы ..., 2008]. При определении ингибирующих свойств засеивали по 0.1 мл микробной суспензии из разведений  $10^{-3}$ – $10^{-8}$  на чашки с контрольными и экспериментальными средами. Выявляли минимальное разведение микроорганизмов, при котором признаки роста исследуемых культур отсутствовали [Методы ..., 2008]. Каждый высеив осуществляли не менее чем в пяти повторностях. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы «BioStat-2009» (Analist Soft Ins., США) и пакета программ Microsoft Excel.

## Результаты исследования и их обсуждение

При культивировании клеток *S. aureus* на экспериментальной среде 1, содержащей 2.0 г/л, 3.5 г/л, 5.0 г/л автолизата *R. mucilaginosa* AgIV, наблюдали, что выросшие колонии схожи с таковыми на контрольной среде («Стафилококкагар», ФБУН ГНЦ ПМБ). При этом тестируемый штамм формировал округлые, блестящие непрозрачные колонии с ровным краем диаметром от 2.0 до 3.0 мм (рис.1).

При добавлении 0.5 г/л дрожжевого автолизата отмечали рост более матовых колоний в сравнении с контрольными. В мазках по Граму обнаружены типичные для стафилококков Г+ круглые клетки в скоплениях.

При подсчете выросших колоний тестируемого штамма *S. aureus* выявлено, что на среде с внесением дрожжевого автолизата в концентрации 0.5 г/л и 5.0 г/л численность клеток практически равна значениям, полученным при использовании контрольной среды (рис. 2).

По нашим данным, на среде, содержащей автолизат во всех изучаемых концентрациях, тестируемый штамм *C. albicans* формировал округлые, беловато-кремовые колонии с тусклым блеском и ровным краем, диаметром от 1.0 до 1.5 мм (рис. 3).

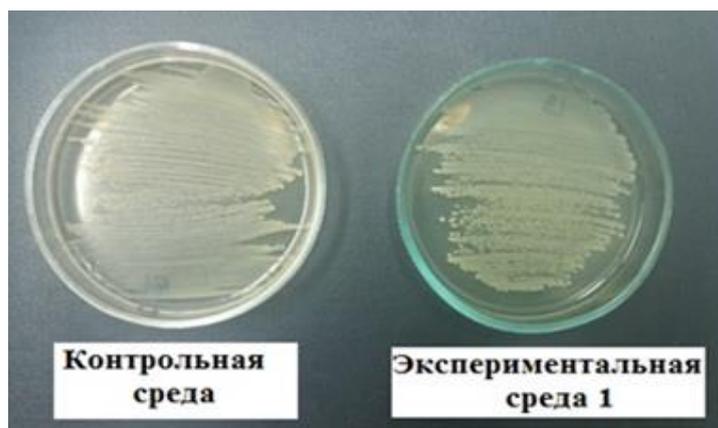


Рис. 1. Колонии *S. aureus* на контрольной и экспериментальной среде 1 (концентрация дрожжевого автолизата *R. mucilaginosa* AgIV 3.5 г/л)

[Colonies of *S. aureus* on the control and experimental medium 1 at a concentration of yeast autolysate of the *R. mucilaginosa* AgIV strain of 3.5 g/l]

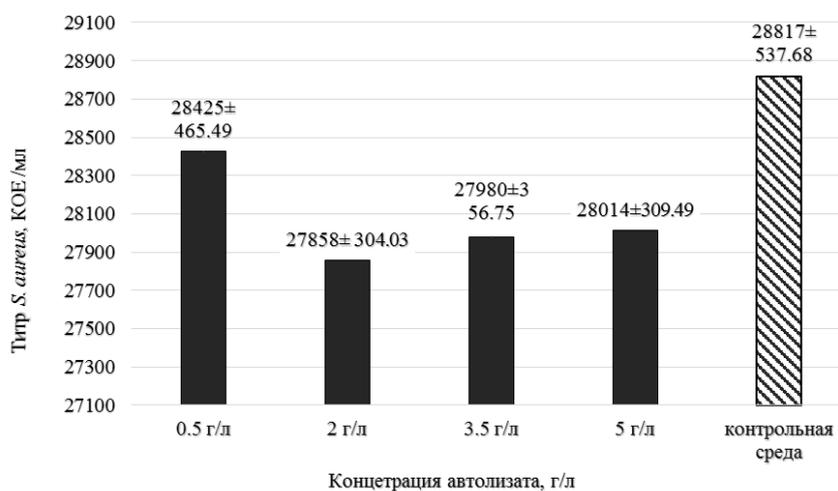


Рис. 2. Численность клеток *S. aureus* на среде 1 «для стафилококков» с различными концентрациями дрожжевого автолизата *R. mucilaginosa* AgIV

[The number of *S. aureus* cells on medium 1 «for staphylococci» with different concentrations of yeast autolysate *R. mucilaginosa* AgIV]



Рис. 3. Колонии *C. albicans* на контрольной и экспериментальной среде 2 (концентрация дрожжевого автолизата *R. mucilaginosa* AgIV 0.5 г/л)

[Colonies of *C. albicans* on the control and experimental medium 2 at a concentration of yeast autolysate of the *R. mucilaginosa* AgIV strain of 0.5 g/l]

Мазки, окрашенные по Граму, представлены темно-фиолетовыми короткими овальными клетками. При культивировании *C. albicans* на экспериментальной среде 2, содержащей от 0.5 до 4.0 (с интервалом 0.5) г/л автолизата дрожжевого штамма *R. mucilaginosa* AgIV, наблюдали выросшие колонии, схожие с таковыми, полученными на контрольной среде (агар Сабуро) для культивирования дрожжевых и плесневых грибов (ООО «Биотеновация»).

При подсчете выросших колоний тестируемого штамма *C. albicans* выявили, что на среде с внесением дрожжевого автолизата в концентрациях от 2.0 г/л до 3.0 г/л численность колоний близка к контрольным значениям (рис. 4).

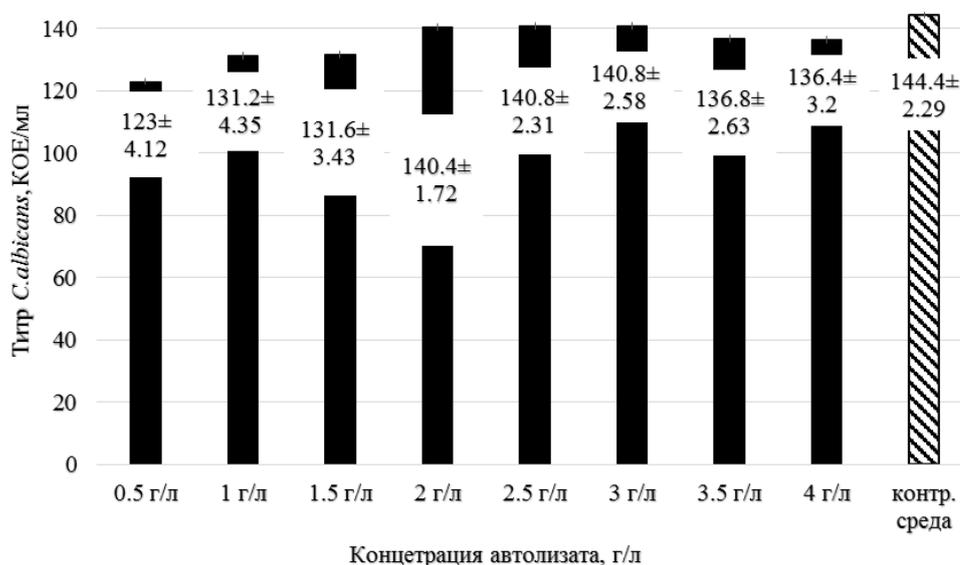


Рис. 4. Численность клеток *C. albicans* на среде 2 «для дрожжевых грибов» с различными концентрациями дрожжевого автолизата *R. mucilaginosa* AgIV

[The number of *C. albicans* cells on medium 2 «for yeast fungi» with different concentrations of yeast autolysate *R. mucilaginosa* AgIV]

При культивировании *K. pneumoniae* на экспериментальной среде 3 (концентрация дрожжевого штамма *R. mucilaginosa* AgIV 1.0 г/л) установлено, что выросшие колонии сходны с таковыми на контрольной среде по культурально-морфологическим признакам (питательная среда для выделения энтеробактерий сухая агар Эндо-ГРМ, ФБУН ГНЦ ПМБ). Однако при данной концентрации дрожжевого автолизата рост тестируемого штамма характеризовался выпуклыми, слизистыми ярко-розовыми колониями диаметром от 1.8 до 2.0 мм, но без металлического блеска (рис. 5).



Рис. 5. Колонии *K. pneumoniae* на контрольной и экспериментальной среде 3 (концентрация дрожжевого автолизата *R. mucilaginosa* AgIV 1.0 г/л)

[Colonies of *K. pneumoniae* on the control and experimental medium 3 at a concentration of yeast autolysate of the *R. mucilaginosa* AgIV strain of 1.0 g/l]

На средах, содержащих 0.5 г/л дрожжевого автолизата, наблюдали рост выпуклых, слизистых малиновых и розовых колоний, частично лишенных металлического блеска. В мазках по Граму в обоих случаях обнаружены Г- короткие утолщенные палочки.

При подсчете колоний тестируемого штамма *K. pneumonia* отмечали, что на среде с внесением 1.0 г/л дрожжевого автолизата численность бактериальных клеток, выросших на контрольной и опытной среде практически не отличалась, несколько ниже отмечено количество колоний на среде с добавлением автолизата в концентрации 0.5 г/л, при этом разница в значениях не являлась статистически достоверной (контроль – 19764±302.12 КОЕ/мл, экспериментальная среда – 14012 ± 115 КОЕ/мл) (рис. 6).

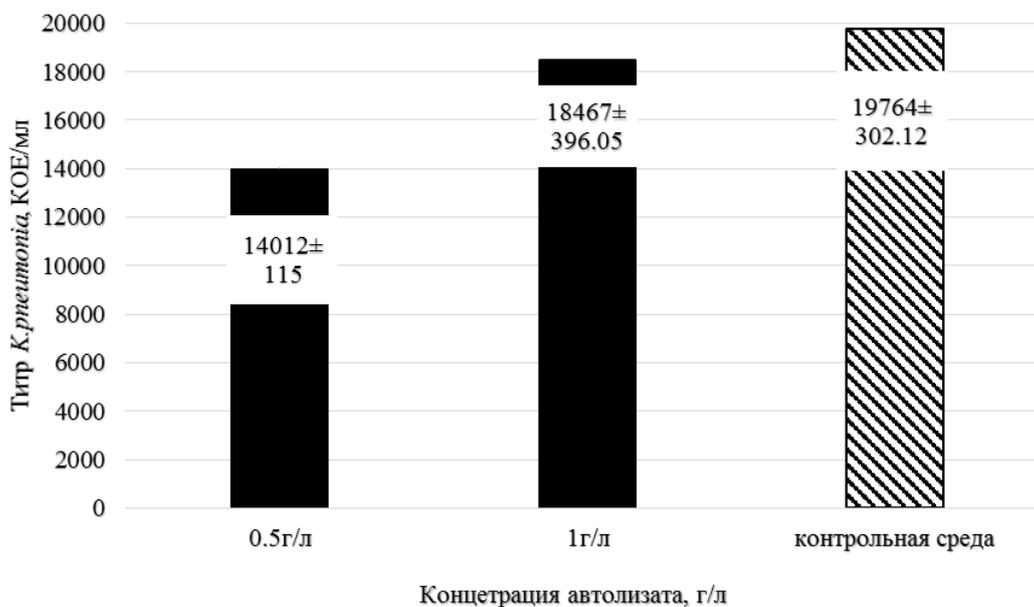


Рис. 6. Численность клеток *K. pneumonia* на среде 3 «для энтеробактерий» с различными концентрациями дрожжевого автолизата *R. mucilaginosa* AgIV

[Number of *K. pneumonia* cells on medium 3 «for enterobacteria» with different concentrations of yeast autolysate *R. mucilaginosa* AgIV]

При исследовании дифференцирующих свойств экспериментальных сред при содержании автолизата 3.5 г/л не выявлены существенные различия в характере роста исследованных тест-культур *S. aureus* и *C. albicans* в сравнении с контролем: при наличии подавляющего большинства характерных культуральных признаков культур отмечали лишь незначительное уменьшение размеров колоний и некоторую «разреженность» штриха. На средах с добавлением автолизата в концентрациях 0.5; 2.0; 5.0 г/л (для *S. aureus*) и 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 4.0 г/л (для *C. albicans*) культурально-морфологических различий не отмечено.

При посеве тест-культуры *K. pneumonia* при добавлении в среды автолизата в обеих изучаемых концентрациях выявлено изменение окраски: колонии окрашены в розовый цвет без характерного металлического блеска, также наблюдается осветление среды. Других выраженных различий в признаках не установлено.

По нашим данным, ингибирующие свойства экспериментальных сред различны для тест-культур. При максимальной (5.0 г/л) концентрации внесенного дрожжевого автолизата в питательной среде 1 обильный рост колоний *S. aureus* наблюдали в посевах всех исследованных разведений ( $10^3$ – $10^8$ ). Аналогичные результаты получены для среды 1 при концентрации автолизата 3.5 г/л в посевах разведений  $10^6$ – $10^8$  КОЕ. Внесение автолизата в экспериментальную среду 1 в количестве 2.0 и 0.5 г/л характеризовалось умеренным ростом тест-культуры *S. aureus* по сравнению с контролем. При выращивании *C. albicans* на экспериментальной среде 2 с добавлением всех использованных в работе концентраций автолизата (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 г/л) отмечали ярко выраженный характер роста культуры в разведениях  $10^5$ – $10^8$  и незначительное количество колоний в посевах разведений  $10^3$ – $10^4$ . В посевах разведений  $10^5$ – $10^8$  *K. pneumonia* на экспериментальной среде 3 при внесении 0.5 г/л и 1.0 г/л автолизата присутствие колоний умеренно выражено, слабый рост культуры зафиксирован в разведениях  $10^3$ – $10^4$ .

Таким образом, анализ посевов тест-культур на экспериментальные среды свидетельствовал о том, что исследованные штаммы *S. aureus* и *C. albicans* формируют видимые колонии уже при минимальном ( $10^3$ ) разведении при добавлении в среду дрожжевого автолизата всех концентраций. При этом характер

интенсивности роста сопоставим с таковым на контрольных средах. При посевах меньших разведений тест-культур ингибирование роста идентично традиционно используемым средам. Более выраженное ингибирующее действие экспериментальных сред в сравнении с контролем наблюдали при посевах культуры *K. pneumoniae*. При посевах микробных клеток из более высоких степеней разведений в стандартный период времени [Методы ..., 2008] роста не отмечено.

### Заключение

Исследованиями установлено, что экспериментальные среды с автолизатом дрожжевого штамма *R. mucilaginosa* AgIV перспективны для культивирования микроорганизмов различных родов, особенно дрожжевых грибов.

Ингибирующие свойства экспериментальных сред для культур *S. aureus* и *C. albicans* в целом идентичны контрольным и соответствовали требованиям [Методы ..., 2008]. Видимые колонии данных тестируемых микроорганизмов зарегистрированы уже при минимальном ( $10^{-3}$ ) разведении при добавлении в среду дрожжевого автолизата всех концентраций, причем характер интенсивности роста сопоставим с таковым на контрольных средах.

Ингибирующие свойства экспериментальной среды для *K. pneumoniae* при посевах малых разведений тест-культуры ( $10^{-3}$ – $10^{-4}$ ) также соответствовали требованиям [Методы ..., 2008]. Менее выраженными дифференцирующими и ингибирующими свойствами обладает экспериментальная среда для культивирования энтеробактерий.

### Список источников

1. Аленкина Т.В. и др. Оптимизация стадии репродукции в технологии производства бактериофага диагностического чумного Л-413С // Проблемы особо опасных инфекций. 2011. № 2. С. 79–82.
2. Базлов Г.В., Авдеева Н.Г., Никифоров А.К. Конструирование питательных сред на основе дрожжевого автолизата пекарских дрожжей для культивирования холерного вибриона в производстве вакцины холерной бивалентной химической таблетированной // Вестник Саратовского государственного университета. 2012. № 3. С. 7–10.
3. Ковтун Ю.С. и др. Сравнительная оценка потенциальных белковых основ микробиологических сред // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. № 3. С. 92–95.
4. Курилова А.А. и др. Разработка питательных сред из растительного сырья для культивирования возбудителей особо опасных инфекций // Проблемы особо опасных инфекций. 2009. № 3. С. 66–68.
5. Методы контроля бактериологических питательных сред: метод. указания. М., 2008. 67 с.
6. Омельченко Г.В. Экзогенные источники витаминоподобных веществ, и перспектива применения дрожжей в получении пищевых продуктов особого состава // Буглеровские сообщения. 2020. Т. 63, № 8. С. 110–117.
7. Пермькова Л.В. Классификация стимуляторов жизненной активности дрожжей // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 42, № 3. С. 46–52.
8. Тарас В.А., Фурик Н.Н., Жабанос Н.К. Изучение влияния дрожжевого экстракта на развитие бифидобактерий разных видов // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2021. Т. 1, № 10. С. 113–121.
9. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М: Дрофа, 2004. 256 с.
10. Федорова О.В. и др. Питательные среды в производствах медицинских и ветеринарных препаратов // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20, № 4. С. 130–133.
11. Храпова А.В. и др. Оценка безопасности эпифитных дрожжей высших грибов Астраханской области, перспективных объектов для получения белковых кормовых продуктов // Актуальные вопросы органической химии и биотехнологии: материалы заоч. докл. Междунар. науч. конф. Екатеринбург: АМБ, 2020. С. 433-435.
12. Храпова А.В., Сопрунова О.Б. Скрининг новых штаммов дрожжей для получения кормового белка // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5–3. С. 210–213.
13. Bonnet M. et al. Bacterial culture through selective and non-selective conditions: the evolution of culture media in clinical microbiology // New Microbes and New Infections. 2020. Vol. 34. Article 100622.
14. Chen K.Q. et al. Succinic acid production by *Actinobacillus succinogenes* using hydrolysates of spent yeast cells and corn fiber // Bioresource technology. 2011. Vol. 102, № 2. P. 1704–1708.
15. Holen E., Austgulen M.H., Espe M. RNA form baker's yeast cultured with and without lipopolysaccharide (LPS) modulates gene transcription in an intestinal epithelial cell model, RTgutGC from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Fish & Shellfish Immunology. 2021. Vol. 119. P. 397–408.
16. Petrova I. et al. Utilization of fish protein hydrolysates as peptones for microbiological culture medias // Food Bioscience. 2021. Vol. 42. Article 101063.

17. Villamil O., Váquiro H., Solanilla J.F. Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties // *Food Chemistry*. 2017. Vol. 224. P. 160–171.

## References

1. Alenkina T.V., Zinina O.S., Antonycheva M.V., Vakhrushina N.I., Nikiforov A.K. [Optimization of the reproduction stage in the production technology of the bacteriophage diagnostic plague L-413C]. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. No 2 (2011): pp. 79-82. (In Russ.).
2. Bazlov G.V., Avdeeva N.G., Nikiforov A.K. [Design of nutrient media based on baker's yeast autolysate for cholera vibrio cultivation in the production of cholera bivalent chemical tablet vaccine]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*. No 3 (2012): pp. 7-10. (In Russ.).
3. Kovtun Yu.S., Kurilova A.A., Taran T.V., Katunina L.S., Churikova N.V. [Comparative evaluation of potential protein bases of microbiological media]. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. No 3 (2014): pp. 92-95. (In Russ.).
4. Kurilova A.A., Taran T.V., Katunina L.S., Golovneva S.I. [Development of nutrient media from vegetable raw materials for the cultivation of pathogens of especially dangerous infections]. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. No 3 (2009): pp. 66-68. (In Russ.).
5. *Metody kontrol'ya bakteriologicheskikh pitatel'nykh sred* [Methods for controlling bacteriological nutrient media: Guidelines]. Moscow, 2008. 67 p. (In Russ.).
6. Omelchenko G.V. [Exogenous sources of vitamin-like substances, and the prospect of using yeast in the production of food products of a special composition]. *Butlerovskie soobshcheniya*. V. 63, No 8 (2020): pp. 110-117. (In Russ.).
7. Permyakova L.V. [Classification of stimulators of vital activity of yeast]. *Technika i tehnologiya pishchevyykh proizvodstv*. V. 42, No 3 (2016): pp. 46-52. (In Russ.).
8. Taras V.A., Furik N.N., Zhabanos N.K. [Study of the effect of yeast extract on the development of different types of bifidobacteria]. *Aktual'nye voprosy pererabotki mjasnogo i molochnogo syr'ya*. V. 1, No 10 (2021): pp. 113-121. (In Russ.).
9. Tepper E.Z., Shilnikova V.K., Pereverzeva G.I. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on microbiology]. Moscow, Drofa Publ., 2004. 256 p. (In Russ.).
10. Fedorova O.V., Ponkratova S.A., Valeeva R.T., Islamgulov I.R. [Nutrient media in the production of medical and veterinary drugs]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. V. 20, No 4 (2017): pp. 130-133. (In Russ.).
11. Khrapova A.V., Luzhnova S.A., Duiko V.V., Soprunova O.B. [Safety assessment of epiphytic yeasts of higher fungi of the Astrakhan region, promising objects for obtaining protein feed products]. *Aktual'nye voprosy organicheskoy khimii i biotekhnologii* [Topical issues of organic chemistry and biotechnology. Materials of correspondence reports of the International Scientific Conference]. Ekaterinburg, AMB Publ., 2020, pp. 433-435. (In Russ.).
12. Khrapova A.V., Soprunova O.B. [Screening of new yeast strains for feed protein production]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. V. 13, No 5-3 (2011): pp. 210-213. (In Russ.).
13. Bonnet M., Lagier J.C., Raoult D., Khelaifia S. Bacterial culture through selective and non-selective conditions: the evolution of culture media in clinical microbiology. *New Microbes and New Infections*. V. 34 (2020): Article 100622.
14. Chen K.Q., Li J., Ma J.F., Jiang M., Wei P., Liu Z.M., Ying H.J. Succinic acid production by *Actinobacillus succinogenes* using hydrolysates of spent yeast cells and corn fiber. *Bioresource technology*. V. 102, No 2 (2011): pp. 1704-1708.
15. Holen E., Austgulen M.H., Espe M. RNA form baker's yeast cultured with and without lipopolysaccharide (LPS) modulates gene transcription in an intestinal epithelial cell model, RTgutGC from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. V. 119 (2021): pp. 397-408.
16. Petrova I., Tolstorebrov I., Zhivlyantseva I., Eikevik T.M. Utilization of fish protein hydrolysates as peptones for microbiological culture medias. *Food Bioscience*. V. 42 (2021): Article 101063.
17. Villamil O., Váquiro H., Solanilla J.F. Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. *Food Chemistry*. V. 224 (2017): pp. 160-171.

Статья поступила в редакцию 30.06.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 30.06.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for publication 29.09.2022.

### Информация об авторах

А. В. Луценко – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела по изучению лепры, ассистент кафедры биологии и ботаники, доцент кафедры «Прикладная биология и микробиология»;

О. Б. Сопрунова – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладная биология и микробиология».

**Information about the authors**

A. V. Lutsenko – candidate of biological sciences, researcher at the Leprosy Department, assistant professor of the Department of Biology and Botany, associate professor of the Department of Applied Biology and Microbiology;

O. B. Soprunova – doctor of biological sciences, professor, head of the Department of Applied Biology and Microbiology.

**Вклад авторов:**

Луценко А. В. – анализ литературы; выполнение исследования; обработка результатов; статистическая обработка материала; написание исходного текста; итоговые выводы.

Сопрунова О. Б. – концепция исследования; развитие методологии, доработка текста; итоговые выводы.

**Contribution of the authors:**

Lutsenko A.V. – literature analysis; performing research; processing results; statistical processing of material; writing the original text; final conclusions.

Soprunova O. B. – the concept of the study; development of methodology, revision of the text; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

## МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 579.24

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-235-240.

### Изучение влияния лецитина и глюкозы на ростовые свойства штаммов *Streptococcus pneumoniae*

Никита Геннадьевич Сидоров<sup>1✉</sup>, Александр Владимирович Поддубиков<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва, Россия

<sup>1✉</sup> [deel@yandex.ru](mailto:deel@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1257-8718>

<sup>2</sup> [poddubikov@yandex.ru](mailto:poddubikov@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8962-4765>

**Аннотация.** Представлены результаты оценки влияния добавления в среду культивирования (сердечно-мозговой бульон) глюкозы и лецитина на скорость и накопление биомассы различных штаммов *Streptococcus pneumoniae*: № 3405, серотип 4 (К-4); № 16082, серотип 14 (К-14); № 3391, нестабильный в образовании капсулы (R-форма). Наблюдалось увеличение накопления биомассы штамма № 3405 (К-4) на 10% в варианте с добавлением лецитина; увеличение биомассы на 64% и удлинение стационарной фазы у штамма № 16082 (К-14) при выращивании с добавлением глюкозы; увеличение прироста биомассы штамма № 3391 (R-форма) на 37.5% и продление длительности стационарной фазы происходили при выращивании с лецитином. Показано, что лецитин и глюкоза по-разному влияли на рост исследованных штаммов пневмококка. Наиболее перспективным и технологичным оказался штамм № 16082 (К-14), который имел более стабильный рост в течение трех пассажей и во всех трех случаях идентифицировался с высоким коэффициентом достоверности («score value» 2>) при проведении MALDI-TOF масс-спектрометрии, обладал более высоким уровнем накопления биомассы, отличался наиболее плотным осадком биомассы. В результате проведенных исследований отобран штамм, определены оптимальный состав питательной среды и соответствующие условия культивирования с целью получения наиболее высокого выхода биомассы *S. pneumoniae*.

**Ключевые слова:** *Streptococcus pneumoniae*, пневмококк, лецитин, фосфотидилхолин, глюкоза

**Для цитирования:** Сидоров Н. Г., Поддубиков А. В. Изучение влияния лецитина и глюкозы на ростовые свойства штаммов *Streptococcus pneumoniae* // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 235–240. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-235-240>.

**Благодарности:** исследование выполнено с использованием научного оборудования центра коллективного пользования «НИИВС им. И.И. Мечникова» при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России, Соглашение № 075-15-2021-676 от 28.07.2021.

## MICROBIOLOGY

Original article

### Studying effects of lecithin and glucose on the growth properties of *Streptococcus pneumoniae* strains

Nikita G. Sidorov<sup>1✉</sup>, Alexander V. Poddubikov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> I. Mechnikov Research Institute for Vaccines and Sera, Moscow, Russia

<sup>1✉</sup> [deel@yandex.ru](mailto:deel@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1257-8718>

<sup>2</sup> [poddubikov@yandex.ru](mailto:poddubikov@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8962-4765>

**Abstract.** The article presents the results of evaluating the effect of the addition of glucose and lecithin to the culture medium (Brain Heart Infusion Broth) on the rate and accumulation of biomass of various *Streptococcus pneumoniae* strains: No. 3405, serotype 4 (K-4); No.16082, serotype 14 (K-14); No. 3391, unstable in capsule formation (R-form). There was an increase in the biomass accumulation of strain No. 3405 (K-4) by 10% in the variant with the addition of lecithin; an increase in biomass by 64% and an elongation of the stationary phase in strain No. 16082 (K-14) when grown with the addition of glucose. There was an increase in the biomass growth of strain No. 3391 (R-form) by 37.5% and an extended duration of the stationary phase occurred when grown with lecithin. Based on the results obtained, it can be noted that lecithin and glucose had different effects on the growth of the studied strains of pneumococcus. The obtained data showed that strain No. 16082 (K-14) was the most promising and technologically advanced. Strain No. 16082 (K-14) had a more stable growth during three

passages and in all three cases was identified with a high score value ( $2>$ ) by MALDI-TOF mass spectrometry, had a higher level of biomass accumulation, and possessed a denser sediment of biomass. The study resulted in the selection of strain, optimal composition of the growth medium and suitable cultivation conditions to obtain a higher yield of *S. pneumoniae* biomass.

**Keywords:** *Streptococcus pneumoniae*, pneumococcus, lecithin, phosphatidylcholine, glucose

**For citation:** Sidorov N. G., Poddubikov A. V. [Studying effects of lecithin and glucose on the growth properties of *Streptococcus pneumoniae* strains]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 235-240. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-235-240>.

**Acknowledgments:** the study was carried out using the scientific equipment of the Collective Usage Center "I.I. Mechnikov NIIVS", Moscow, Russia, with the financial support of the project by the Russian Federation represented by the Ministry of Education and Science of Russia, Agreement No. 075-15-2021-676.

## Введение

*Streptococcus pneumoniae* (пневмококк) бессимптомно колонизирует носоглотку человека, у детей и иммунокомпрометированных лиц он способен являться причиной ряда тяжелых заболеваний: пневмония, менингит, бактериемия, средний отит и др. [Маянский и др., 2014; Brooks, Mias, 2018; Luck, Tettelin, Orihuela, 2020; Masomian et al., 2020; Agnew et al., 2022].

Бескапсульные формы и оптохинрезистентные изоляты *S. pneumoniae*, которые имеют значение в развитии пневмококковых инфекций, не всегда позволяют осуществить идентификацию с помощью существующих диагностических методов [Ing et al., 2012; Magamani et al., 2014; Keller, Robinson, McDaniel, 2016; Varghese, Jayaraman, Veeraraghavan, 2017; Chen et al., 2020; Jia et al., 2022;].

Использование видоспецифических антигенов *S. pneumoniae* является перспективным направлением для создания методов диагностики пневмококка. Одними из видоспецифических антигенов пневмококка являются уникальные по своей структуре тейхоевые кислоты (ТК) и липотейхоевые кислоты (ЛТК), которые могут рассматриваться в качестве кандидатов для создания диагностических средств [Denpaite et al., 2012; Сидоров, Поддубиков, 2021].

Пневмококк требователен к условиям культивирования [Лабораторная диагностика ..., 2017; Oktari et al., 2019], поэтому было важным отобрать штамм, который способен расти в условиях искусственного выращивания без потери первоначальных биологических свойств, обладает стабильным ростом и отличается высоким уровнем выхода биомассы.

Известно, что рост и модификации клеточной стенки пневмококка зависят от холина [Maestro, Sanz, 2016; Bärlund et al., 2022]. По данным литературы, фосфотидилхолин (лецитин) является поставщиком холина, и при внесении 0.01 г/л лецитина в питательный бульон происходит индукция размножения и экспрессия синтеза клеточных тейхоевых кислот пневмококка [Кветная, Железнова, 2014].

Исходя из литературных данных, *S. mutans*, выращенный в присутствии 0.5%-ного раствора глюкозы содержал повышенное количество ЛТК. Принимая во внимание тот факт, что глюкоза входит в состав повторяющихся цепей ТК и ЛТК пневмококка, в дальнейших экспериментах было важно оценить влияние глюкозы на ростовые свойства *S. pneumoniae* [Jacques et al., 1979].

Цель исследования – изучение влияния лецитина и глюкозы на ростовые свойства штаммов *S. pneumoniae* при выращивании клеток на полноценных питательных средах.

## Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись штаммы *S. pneumoniae*: № 3405 (К-4), № 16082 (К-14), № 3391 (R-форма), полученные из Коллекции микроорганизмов III и IV групп патогенности ЦКП НИИВС им. И.И. Мечникова. Принадлежность использованных штаммов к виду *S. pneumoniae* подтверждали на основании исследования морфологических и культуральных свойств с помощью масс-спектрометрии с использованием прибора «MALDI Biotyper sirius RUO System» (Bruker, США). Для подтверждения серотиповой принадлежности применяли специфические пневмококковые антисыворотки (Statens Serum Institut, Дания).

Получение рабочих культур и оценку стабильности роста проводили путем проведения трех последовательных пассажей на кровяной агар с 5%-ным содержанием лошадиной дефибринированной крови (ЭКОлаб, Россия).

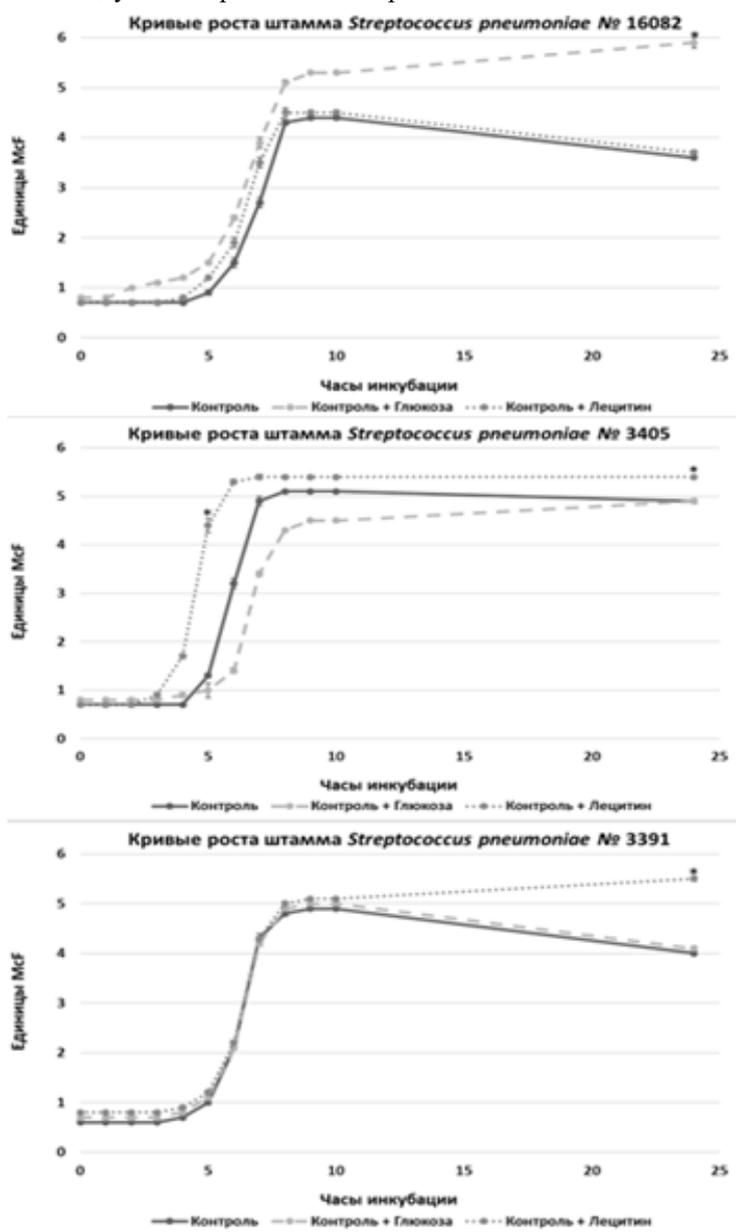
В качестве среды для культивирования использовали сердечно-мозговой бульон (Mast Group, Великобритания), в качестве дополнительных компонентов применяли глюкозу (Агат, Россия) или лецитин (AppliChem, Германия).

В ходе исследования были приготовлены три варианта питательной среды. В первые три контрольных флакона помещали 300 мл среды. В последующие три флакона добавляли 285 мл среды и 15 мл 10% глюкозы. В последние три флакона вносили 300 мл среды и 0.003 г лецитина. В каждый флакон вносили

1 мл бактериальной суспензии соответствующего штамма с показателем мутности 0.8 ед. МакФарланда (McF).

Штаммы культивировали в течение 24 ч. при температуре 37°C в инкубаторе с 5%-ным содержанием CO<sub>2</sub> и постоянным перемешиванием на шейкере «Elpan laboratory shaker type 358S» (Elpan, Польша). Каждый час в течение 10 ч. и по окончании инкубации – 24 ч., производили оценку динамических показателей роста на приборе «Densi-La-Meter» (PLIVA-Lachema Diagnostika, Словакия).

По истечении 24 ч. инкубации образцы проверяли на микробиологическую чистоту путем посева 100 мкл из каждого флакона на кровяной агар с 5%-ным содержанием лошадиной дефибринированной крови с изучением фенотипических признаков. Идентификацию осуществляли с помощью MALDI TOF масс-спектрометрии. Оценку влияния добавления в среду культивирования глюкозы и лецитина на скорость и накопление биомассы различных штаммов *S. pneumoniae* выявляли путем сравнения показателя мутности исследуемых вариантов с контролем.



Кривые роста штаммов *S. pneumoniae*.  
Контроль — сердцечно-мозговой бульон; \* —  $p < 0.01$  по сравнению с контролем

[Growth curves of *Streptococcus pneumoniae* strains.  
Standart — Brain Heart Infusion Broth; \* —  $p < 0.01$  compared to control]

Эксперимент по инкубированию штаммов был воспроизведён трижды. На основе полученных средних значений строили графики с кривыми роста для трех различных штаммов *S. pneumoniae* при культивировании в средах различного состава. Все данные подвергались статистическому анализу. Результаты обрабатывали с помощью стандартного программного пакета Microsoft Excel для Windows. Данные на графиках представляли как среднее (M) ± квадратичное отклонение (SD). Корреляционный анализ проведен с применением коэффициента t Стьюдента. Критический уровень значимости статистических различий принимали равным 0.01.

## Результаты и их обсуждение

В результате оценки влияния добавления в среду культивирования глюкозы и лецитина на скорость и накопление биомассы различных штаммов *S. pneumoniae* было отмечено несколько основных моментов (рисунок). Штамм *S. pneumoniae* № 16082 (К-14) в присутствии глюкозы выходил на стационарную фазу при более высоком показателе мутности по сравнению с контролем и с вариантом с добавлением лецитина. При этом фаза стационарного роста была более продолжительной, в то время как два других варианта на момент 24 ч. уже находились в фазе отмирания. Увеличение биомассы на 64% происходило именно в варианте с добавлением глюкозы.

Для штамма *S. pneumoniae* № 3405 (К-4) более эффективным ростовым фактором оказался лецитин. Лецитин оказывал влияние на время роста и увеличивал накопление биомассы на 10%.

При культивировании штамма *S. pneumoniae* № 3391 (R-форма) происходило увеличение накопления биомассы на 37.5% при выращивании с лецитином. В присутствии лецитина заметно увеличивалась продолжительность стационарной фазы роста бактериальных клеток. Следует отметить, что на 24 ч. инкубации штамм не вступил в фазу отмирания в варианте с добавлением лецитина в отличие от двух других вариаций культивирования.

Исходя из полученных результатов, следует отметить, что лецитин и глюкоза по-разному влияли на рост штаммов пневмококка.

### Заключение

Полученные результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что наиболее перспективным и технологичным оказался штамм № 16082 (K-14). Штамм № 16082 (K-14) имел более стабильный рост в течение трех пассажей и во всех трех случаях идентифицировался с высоким коэффициентом достоверности («score value»  $>2$ ) при проведении MALDI-TOF масс-спектрометрии, отличался более высоким уровнем накопления биомассы, обладал наиболее плотным осадком биомассы.

В результате выполненной работы отобран штамм, определены оптимальный состав питательной среды и подходящие условия культивирования для получения более высокого выхода биомассы *S. pneumoniae*.

### Список источников

1. Кветная А.С., Железова Л.И. Стимулирующее влияние фосфотидилхолина (лецитина) на патогенные свойства пневмококка // Ученые записки Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова. 2014. Т. 21, № 1. С. 48–51. doi: 10.24884/1607-4181-2014-21-1-48-51.
2. Лабораторная диагностика внебольничной пневмонии пневмококковой этиологии: метод. рекомендации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. 64 с.
3. Маянский Н.А. и др. Серотиповое разнообразие и резистентность пневмококков // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. Т. 69, № 7–8. С. 38–45. doi: 10.15690/vramn.v69i7-8.1108.
4. Микробиология: возбудители бактериальных воздушно-капельных инфекций / под общ. ред. Л.И. Кафарской. М.: Юрайт, 2020. 115 с.
5. Сидоров Н.Г., Поддубиков А.В. Видоспецифические антигены *Streptococcus pneumoniae* как перспектива создания диагностических средств // Инфекционные болезни. 2021. Т. 19, № 4. С. 73–78. doi: 10.20953/1729-9225-2021-4-73-78.
6. Agnew H.N. et al. *Streptococcus pneumoniae* strains isolated from a single pediatric patient display distinct phenotypes // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2022. Vol. 12. Article 866259. doi: 10.3389/fcimb.2022.866259.
7. Bärland N. et al. Mechanistic basis of choline import involved in teichoic acids and lipopolysaccharide modification // Science Advances. 2022. Vol. 8(9). Article eabm1122. doi:10.1126/sciadv.abm1122.
8. Brooks L.R.K., Mias G.I. *Streptococcus pneumoniae*'s virulence and host immunity: Aging, diagnostics, and prevention // Frontiers in Immunology. 2018. Vol. 9. Article 1366. doi:10.3389/fimmu.2018.01366.
9. Chen H.H. et al. Non-typeable *Streptococcus pneumoniae* infection in a medical center in Taiwan after wide use of pneumococcal conjugate vaccine // Journal of Microbiology, Immunology and Infection. 2020. Vol. 53(1). P. 94–98. doi:10.1016/j.jmii.2018.04.001.
10. Denapaite D. et al. Biosynthesis of teichoic acids in *Streptococcus pneumoniae* and closely related species: lessons from genomes // Microbial Drug Resistance. 2012. Vol. 18(3). P. 344–358. doi: 10.1089/mdr.2012.0026.
11. Ing J. et al. Characterization of nontypeable and atypical *Streptococcus pneumoniae* pediatric isolates from 1994 to 2010 // Journal of Clinical Microbiology. 2012. Vol. 50(4). P. 1326–1330. doi:10.15690/10.1128/jcm.05182-11.
12. Jacques N.A. et al. Effect of carbohydrate source and growth conditions on the production of lipoteichoic acid by *Streptococcus mutans* Ingbritt // Infection and Immunity. 1979. Vol. 26(3). P. 1079–1087. doi:10.1128/iai.26.3.1079-1087.1979.
13. Jia J. et al. Identification and molecular epidemiology of routinely determined *Streptococcus pneumoniae* with negative Quellung reaction results // Journal of Clinical Laboratory Analysis. 2022. Vol. 36(4). Article 24293. doi: 10.1002/jcla.24293.
14. Keller L.E., Robinson D.A., McDaniel L.S. Nonencapsulated *Streptococcus pneumoniae*: Emergence and pathogenesis // mBio. 2016. Vol. 7(2). Article e01792. doi:10.1128/mBio.01792-15.
15. Luck J.N., Tettelin H., Orihuela C.J. Sugar-Coated Killer: Serotype 3 pneumococcal disease // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2020. Vol. 10. Article 613287. doi: fcimb.2020.613287.

16. Maestro B., Sanz J.M. Choline binding proteins from *Streptococcus pneumoniae*: A dual role as enzymatic and targets for the design of new antimicrobials // *Antibiotics* (Basel). 2016. Vol. 5(2). Article 21. doi:10.3390/antibiotics5020021.
17. Magomani V. et al. Challenges of using molecular serotyping for surveillance of pneumococcal disease // *Journal of Clinical Microbiology*. 2014. Vol. 52(9). Article 3271-6. doi: 10.1128/JCM.01061-14.
18. Masomian M. et al. Development of Next Generation *Streptococcus pneumoniae* Vaccines Conferring Broad Protection // *Vaccines* (Basel). 2020. Vol. 8(1). Article 132. doi: 10.3390/vaccines8010132.
19. Oktari A. et al. The optimization of Human Blood Agar (HBA) for *Streptococcus pneumoniae* growth // *Journal of Physics Conference Series*. 2019. Vol. 1280(2). Article 02200. doi: 10.1088/1742-6596/1280/2/022002.
20. Varghese R., Jayaraman R., Veeraraghavan B. Current challenges in the accurate identification of *Streptococcus pneumoniae* and its serogroups/serotypes in the vaccine era // *Journal of Microbiological Methods*. 2017. Vol. 141. P. 48–54. doi: 10.1016/j.mimet.2017.07.015.

## References

1. Kvetnaya A.S., Zhelezova L.I. [Phosphatidylcholine (lecithin) stimulating effect on pathogenic properties of pneumococcus]. *Učenyje zapiski Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta imeni akademika I.P. Pavlova*. V. 21, No 1 (2014): pp. 48-51. doi: 10.24884/1607-4181-2014-21-1-48-51. (In Russ.).
2. *Laboratornaja diagnostika vnebol'ničnoj pnevmonii pnevmokokkovoj etiologii* [Laboratory diagnosis of community-acquired pneumonia of pneumococcal etiology: Guidelines]. Moscow, Federal'naja služba po nadzoru v sfere zaščity prav potrebitelej i blagopolučija čeloveka Publ., 2017. 64 p. (In Russ.).
3. Mayanskii N.A., Alyab'eva N.M., Lazareva A.V., Katosova L.K. [Serotype diversity and antimicrobial resistance of *Streptococcus pneumoniae*]. *Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. V. 69, No 7-8 (2014): pp. 38-45. doi: 10.15690/vramn.v69i7-8.1108. (In Russ.).
4. Kafarskaya L.I. (ed.) *Mikrobiologija: vozбудiteli bakterial'nych vozdušnokapel'nych infekcij* [Microbiology: causative agents of bacterial airborne infections]. Moscow, Jurait Publ., 2020. 115 p. (in Russ.).
5. Sidorov N.G., Poddubikov A.V. [Species-specific antigens of *Streptococcus pneumoniae* as an outlook for new diagnostic systems]. *Infekcionnye bolezni*. V. 19, No 4 (2021): pp. 73-78. (In Russ.).
6. Agnew H.N. et al. *Streptococcus pneumoniae* strains isolated from a single pediatric patient display distinct phenotypes. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. V. 12 (2022): Article 866259. doi: 10.3389/fcimb.2022.866259.
7. Bärland N. et al. Mechanistic basis of choline import involved in teichoic acids and lipopolysaccharide modification. *Science Advances*. V. 8(9) (2022): Article eabm1122. doi:10.1126/sciadv.abm1122.
8. Brooks L.R.K., Mias G.I. *Streptococcus pneumoniae*'s virulence and host immunity: Aging, diagnostics, and prevention. *Frontiers in Immunology*. V. 9 (2018): Article 1366. doi: 10.3389/fimmu.2018.01366.
9. Chen H.H. et al. Non-typeable *Streptococcus pneumoniae* infection in a medical center in Taiwan after wide use of pneumococcal conjugate vaccine. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*. V. 53(1) (2020): pp. 94-98. doi: 10.1016/j.jmii.2018.04.001.
10. Denapante D. et al. Biosynthesis of teichoic acids in *Streptococcus pneumoniae* and closely related species: lessons from genomes. *Microbial Drug Resistance*. V. 18(3) (2012): pp. 344-358. doi: 10.1089/mdr.2012.0026.
11. Ing J. et al. Characterization of nontypeable and atypical *Streptococcus pneumoniae* pediatric isolates from 1994 to 2010. *Journal of Clinical Microbiology*. V. 50(4) (2012): pp. 1326-1330. doi: 10.15690/10.1128/jcm.05182-11.
12. Jacques N.A. et al. Effect of carbohydrate source and growth conditions on the production of lipoteichoic acid by *Streptococcus mutans* ingbritt. *Infection and Immunity*. V. 26(3) (1979): pp. 1079-1087. doi: 10.1128/iai.26.3.1079-1087.1979.
13. Jia J. et al. Identification and molecular epidemiology of routinely determined *Streptococcus pneumoniae* with negative Quellung reaction results. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*. V. 36(4) (2022): Article e24293. doi: 10.1002/jcla.24293.
14. Keller L.E., Robinson D.A., McDaniel L.S. Nonencapsulated *Streptococcus pneumoniae*: Emergence and pathogenesis. *mBio*. V. 7(2) (2016): Article e01792. doi: 10.1128/mBio.01792-15.
15. Luck J.N., Tettelin H., Orihuela C.J.. Sugar-Coated Killer: Serotype 3 pneumococcal disease. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. V. 10 (2020): Article 613287. doi: fcimb.2020.613287.
16. Maestro B., Sanz J.M. Choline binding proteins from *Streptococcus pneumoniae*: A dual role as enzymatic and targets for the design of new antimicrobials. *Antibiotics* (Basel). V. 5(2) (2016): Article 21. doi: 10.3390/antibiotics5020021.
17. Magomani V. et al. Challenges of using molecular serotyping for surveillance of pneumococcal disease. *Journal of Clinical Microbiology*. V. 52 (2014): Article 3271-6. doi: 10.1128/JCM.01061-14.

18. Masomian M., Ahmad Z., Gew L.T., Poh C.L. Development of next generation *Streptococcus pneumoniae* vaccines conferring broad protection. *Vaccines* (Basel). V. 8(1) (2020): Article 132. doi: 10.3390/vaccines8010132.

19. Oktari A. et al. The optimization of Human Blood Agar (HBA) for *Streptococcus pneumonia* growth. *Journal of Physics Conference Series*. V. 1280(2). (2019): Article 02200. doi: 10.1088/1742-6596/1280/2/022002.

20. Varghese R., Jayaraman R., Veeraraghavan B. Current challenges in the accurate identification of *Streptococcus pneumoniae* and its serogroups/serotypes in the vaccine era. *Journal of Microbiological Methods*. V. 141 (2017): pp. 48-54. doi: 10.1016/j.mimet.2017.07.015.

Статья поступила в редакцию 08.07.2022; одобрена после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 08.07.2022; approved after reviewing 26.08.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### **Информация об авторах**

Н. Г. Сидоров – аспирант лаборатории микробиологии условно-патогенных бактерий;

А. В. Поддубиков – кандидат медицинских наук, зав. лабораторией микробиологии условно-патогенных бактерий.

#### **Information about the authors**

N. G. Sidorov – post-graduate student of the laboratory of opportunistic pathogenic bacteria;

A. V. Poddubikov – Candidate of Medical Sciences, The Head of laboratory of opportunistic pathogenic bacteria.

#### **Вклад авторов:**

Сидоров Н. Г. – концепция исследования; написание исходного текста; статистическая обработка материала; итоговые выводы.

Поддубиков А. В. – научное руководство; развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

#### **Contribution of the authors:**

Sidorov N. G. – research concept; writing the draft; statistical processing of the material; final conclusions.

Poddubikov A. V. – scientific management; methodology development; revision of the text; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

## ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 546.776+615.916

doi: 10.17072/1994-9952-2022-3-241-249.

### Исследование и сравнительная оценка токсичности наночастиц оксида молибдена (VI) при однократной пероральной экспозиции

Н. В. Зайцева<sup>1</sup>, М. А. Землянова<sup>2,7,8</sup>, М. С. Степанков<sup>3</sup>, А. М. Игнатова<sup>9</sup>,  
А. А. Довбыш<sup>4</sup>, А. В. Недошитова<sup>5</sup>, М. В. Волкова<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup> Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Пермь, Россия

<sup>7</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>8</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

<sup>9</sup> Институт механики сплошных сред, Пермь, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марина Александровна Землянова, zem@fcrisk.ru

**Аннотация.** Изучено токсическое воздействие наночастиц оксида молибдена (VI) (НЧ MoO<sub>3</sub>) при однократном пероральном поступлении. Тестируемое вещество вводили крысам в виде водной суспензии в дозе 2000 мг/кг массы тела. Через 14 сут. после экспозиции у выживших животных отбирали органы для изучения бионакопления НЧ MoO<sub>3</sub> и патоморфологических изменений, вызываемых действием данного наноматериала. На вторые сутки после экспозиции зафиксирована гибель 50% группы, экспонированной НЧ. Установлено, что НЧ MoO<sub>3</sub> накапливаются в сердце, лёгких, печени, почках и головном мозге в концентрациях, превышающих контрольные значения в 15.59–221.86 раз. Гистологическими методами исследования в печени экспонированных крыс установлено развитие гепатита и микровезикулярного стеатоза; в лёгких – острого бронхита, васкулитов; в головном мозге – субарахноидального кровоизлияния. НЧ MoO<sub>3</sub> обладают более выраженной степенью бионакопления и токсического действия в сравнении с микродисперсным аналогом при однократном пероральном поступлении в организм.

**Ключевые слова:** оксид молибдена (VI), наночастицы, микрочастицы, пероральная экспозиция, бионакопление, патоморфологические изменения

**Для цитирования:** Исследование и сравнительная оценка токсичности наночастиц оксида молибдена (VI) при однократной пероральной экспозиции / Н. В. Зайцева, М. А. Землянова, М. С. Степанков, А. М. Игнатова, А. А. Довбыш, А. В. Недошитова, М. В. Волкова // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 3. С. 241–249. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-241-249>.

## ECOLOGY

Original article

### Study and comparative evaluation of the toxicity of molybdenum (VI) oxide nanoparticles at a single oral exposure

N. V. Zaitseva<sup>1</sup>, M. A. Zemlyanova<sup>2,7,8</sup>, M. S. Stepankov<sup>3</sup>, A. M. Ignatova<sup>9</sup>,  
A. A. Dovbysh<sup>4</sup>, A. V. Nedoshytova<sup>5</sup>, M. V. Volkova<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup> Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russia

<sup>7</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>8</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

<sup>9</sup> Institute of Continuous Media Mechanics, Perm, Russia

Corresponding author: Marina A. Zemlyanova, zem@fcrisk.ru

**Abstract.** The toxic effect of nanoparticles of molybdenum (VI) oxide (MoO<sub>3</sub> NPs) after a single oral intake was studied. We administered the test substance as an aqueous suspension at a dose of 2000 mg/kg body weight. Organs were taken from surviving animals 14 days after exposure to study the bioaccumulation of MoO<sub>3</sub> NPs and pathomorphological changes caused by the action of this nanomaterial. On the second day after exposure, the death of 50% of the group exposed to NPs was recorded. It has been established that MoO<sub>3</sub> NPs accumulate

in the heart, lungs, liver, kidneys and brain in concentrations 15.59-221.86 times higher than the control values. In the liver of exposed rats revealed by histological methods the development of hepatitis and microvesicular steatosis; in the lungs – acute bronchitis, vasculitis; in the brain – subarachnoid hemorrhage. MoO<sub>3</sub> NPs have a more apparent ability to bioaccumulate and produce toxic effects in comparison with their microdispersed analogue under single oral introductions into the body.

**Keywords:** molybdenum (VI) oxide, nanoparticles, microparticles, oral exposure, bioaccumulation, pathomorphological changes

**For citation:** Zaitseva N. V., Zemlyanova M. A., Stepankov M. S., Ignatova A. M., Dovbysh A. A., Nedoshytova A. V., Volkova M. V. [Study and comparative evaluation of the toxicity of molybdenum (VI) oxide nanoparticles at a single oral exposure]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2022): pp. 241-249. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-3-241-249>.

## Введение

Наноматериалы обладают набором уникальных физико-химических параметров, таких как малый размер, большое соотношение площади поверхности к объёму, высокая реакционная способность и другие, что качественно отличает их от химических аналогов микроразмерного диапазона. Благодаря этому, в настоящее время для улучшения свойств и качества выпускаемой продукции наноразмерные материалы интенсивно используются в пищевой [Shafiq et al., 2020], химической [Piracha et al., 2021], металлургической промышленности [Borodianskiy, Zinigrad, 2016], медицине [Salata, 2004], сельском хозяйстве [Neme et al., 2021], аэрокосмической [Xie et al., 2021], нефтегазовой отраслях [Fu et al., 2020], автомобилестроении [Shafique, Luo, 2019] и прочих сферах хозяйственной деятельности человека. В результате процессов производства, использования и утилизации продукции наноиндустрии в окружающую среду поступают наночастицы (НЧ), что приводит к загрязнению атмосферного воздуха [Sonwani et al., 2021], воды [Bundshuh et al., 2018], почвы [Dror, Yaron, Berkowitz, 2015] и, как следствие, увеличению риска экспозиции населения. Воздействие наноматериалов на организм вызывает опасение, так как НЧ обладают высокой степенью проникающей и реакционной способностей, в связи с чем, как предполагается, более токсичны для живых систем, в частности для человека, в сравнении с частицами более крупной размерности [Sukhanova et al., 2018; Hewitt, Chappel, Powell, 2020].

Характерным примером подобного наноматериала являются НЧ оксида молибдена (VI) (MoO<sub>3</sub>), применяющиеся в электрохимической, текстильной и химической промышленности, производстве нанооптики [Паренаго и др., 2002; Sobańska et al., 2020]. Также перспективными направлениями использования НЧ MoO<sub>3</sub> являются нефтепереработка, производство сенсоров и наноэлектроники [Паренаго и др., 2002; Lee et al., 2008]. Известно, что молибден присутствует в растениях в составе нитратредуктазы – фермента, участвующего в восстановлении нитратов до нитритов в ходе процесса усвоения азота растениями [Ma et al., 2021; Moussa et al., 2021]. В связи с этим изучается возможность применения НЧ MoO<sub>3</sub> в сельском хозяйстве в качестве удобрения. В исследованиях на *Oryza sativa* L. (рис посевной) установлено, что НЧ MoO<sub>3</sub> способствуют ассимиляции азота, усиливая активность нитратредуктазы, глутаминсинтазы и глутаматсинтазы, а также увеличению объёма корня, площади поверхности, общей и активной площадей поглощения у экспонированных проростков [Zhang et al., 2022]. Применение НЧ MoO<sub>3</sub> в качестве некорневой подкормки *Phaseolus vulgaris* L. (фасоль обыкновенная) приводит к повышению количества семян на ~80% и количества побегов на ~30% [Osman et al., 2020]. Использование НЧ MoO<sub>3</sub> в составе удобрений может привести к накоплению данного наноматериала в сельскохозяйственных растениях, что открывает потенциальный путь воздействия на организм человека при алиментарном поступлении и увеличивает риск возникновения патологических изменений со стороны здоровья, вызванных токсическими эффектами.

В исследованиях *in vivo* и *in vitro* установлена способность НЧ MoO<sub>3</sub> усиливать продукцию внутриклеточных активных форм кислорода (АФК) [Indrakumar, Koggarati, 2020], нарушать функции органондов, в частности митохондрий [Indrakumar, Koggarati, 2020], увеличивать синтез провоспалительных цитокинов [Božinović et al., 2020], индуцировать изменения протеомного [Tran et al., 2014] и метаболомного профилей [Assadi et al., 2016], нарушать структуру тканей органов [Sizova, Miroshnikov, Kalashnikov, 2016; Fazelipour et al. 2020].

В связи с вероятностью поступления токсичных НЧ MoO<sub>3</sub> в организм человека с пищей возникает необходимость проведения исследований, направленных на изучение негативных эффектов данного наноматериала на организм при пероральной экспозиции.

Цель данной работы – исследование и сравнительная оценка токсичности НЧ MoO<sub>3</sub> при однократной пероральной экспозиции.

## Материал и методы исследования

В качестве тестируемого материала использовали порошок НЧ  $\text{MoO}_3$  производства Sigma-Aldrich (США). Сравнительную оценку проводили на примере микрочастиц  $\text{MoO}_3$  (МЧ  $\text{MoO}_3$ ) производства той же компании.

Размер частиц тестируемых материалов определяли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сканирующем микроскопе S-3400N (НИТАСНИ, Япония); удельную площадь поверхности – методом Брунауэра, Эммета и Теллера с помощью автоматизированной системы для анализа площади поверхности ASAP 2020 (Micromeritics, США); общий объем пор – методом Баррета, Джойнера и Халенды.

Эксперимент проводили на 18 самках крыс линии Wistar возрастом 8 недель, массой 180–200 г, полученных из питомника лабораторных животных «Рапполово» национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Животных содержали в полиэтиленовых клетках при соблюдении температуры воздуха в помещении на уровне 22°C, относительной влажности воздуха – 55%, 12-часовым циклом день/ночь в соответствии с Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или в иных научных целях (ETS № 123, приложение А) в виварном помещении, организованном в соответствии с СанПиН 3.3686-21. Крысы были обеспечены полнорационным кормом и чистой водой.

Через 14 сут. после прохождения акклиматизации животных разделили на 3 группы по 6 особей: опытная группа – крысы, подвергавшиеся экспозиции НЧ  $\text{MoO}_3$ , группа сравнения – экспозиции МЧ  $\text{MoO}_3$ , контрольная группа – крысы, содержащиеся в аналогичных условиях, получавшие бидистиллированную воду без тестируемого вещества. Вещества вводили однократно перорально в виде суспензии на основе бидистиллированной воды в концентрации 2000 мг/кг массы тела в объеме 1.5 см<sup>3</sup>/крысу в соответствии со схемой, представленной в ГОСТ 32644-2014. Для равномерного распределения вещества в объеме суспензии проводили ультразвуковую обработку с помощью гомогенизатора Sonopuls Hd (Bandelin, Германия) при комнатной температуре в течение 2 мин. в режиме непрерывной пульсации на 80%-ной мощности. Через 14 сут. после экспозиции крыс эвтанировали цервикальной дислокацией с последующей немедленной декапитацией, после чего проводили отбор сердца, лёгких, печени, почек и головного мозга для изучения бионакопления и патоморфологических изменений.

Бионакопление НЧ и МЧ  $\text{MoO}_3$  исследовали по показателю концентрации молибдена в органах. Отобранные образцы держали в муфельной печи при температуре 450–500°C до перехода в состояние несгораемой золы, которую в дальнейшем растворяли в азотной кислоте. Полученный раствор анализировали на количественное содержание молибдена методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent, США).

Для проведения гистологического анализа образцы органов фиксировали в 10%-ном растворе нейтрального формалина с добавлением фосфатного буфера. Дегидратацию фиксированных кусочков тканей проводили в автоматическом гистологическом процессоре “Excelsior ES” (Thermo Scientific, Германия). Гистологические препараты изготавливали из парафиновых срезов толщиной 3–4 мкм, окрашивая гематоксилином и эозином в роботе-окрашивателе “Varistain Gemini ES” (Thermo Scientific, Германия). Микрофотографии сделаны с помощью камеры “Mikroskopkamera AxioCam ERc 5s” (Carl Zeiss, Германия).

Значения концентрации молибдена в органах представлены в виде среднее ± стандартная ошибка среднего. Определение статистической значимости различий данных значений между экспериментальными группами осуществляли по U критерию Манна-Уитни при уровне значимости  $p \leq 0.05$  рассчитанному в программе STATISTICA 10.

## Результаты и их обсуждение

По результатам исследования нанопорошка  $\text{MoO}_3$  методом РЭМ установлено, что тестируемый материал на 84.17% состоит из частиц размером менее 100 нм, средним размером  $58.80 \pm 20$  нм. В составе микропорошка  $\text{MoO}_3$ , в отличие от наноматериала, не обнаружено частиц размером менее 100 нм, средний размер частиц в 57.99 раза больше (3410.00 нм) (рис. 1 (а, б)). Удельная площадь поверхности НЧ  $\text{MoO}_3$  составила 3.66 м<sup>2</sup>/г, что 1.17 раза больше данного показателя у МЧ  $\text{MoO}_3$ . Общий объем пор, порывающих поверхность НЧ, составил 0.0133 см<sup>3</sup>/г, что больше в 1.18 раза относительно МЧ  $\text{MoO}_3$  (0.0113 см<sup>3</sup>/г).

Через 24 ч. после экспозиции НЧ и МЧ  $\text{MoO}_3$  в дозе 2000 мг/кг массы тела отмечено ухудшение общего состояния экспонированных крыс. На вторые сутки зафиксирована гибель 50% опытной группы (n = 3) и 16.67% группы сравнения (n = 1). В следующие 12 сут. гибель не зафиксирована. В контрольной группе негативных эффектов и гибели крыс не наблюдали.

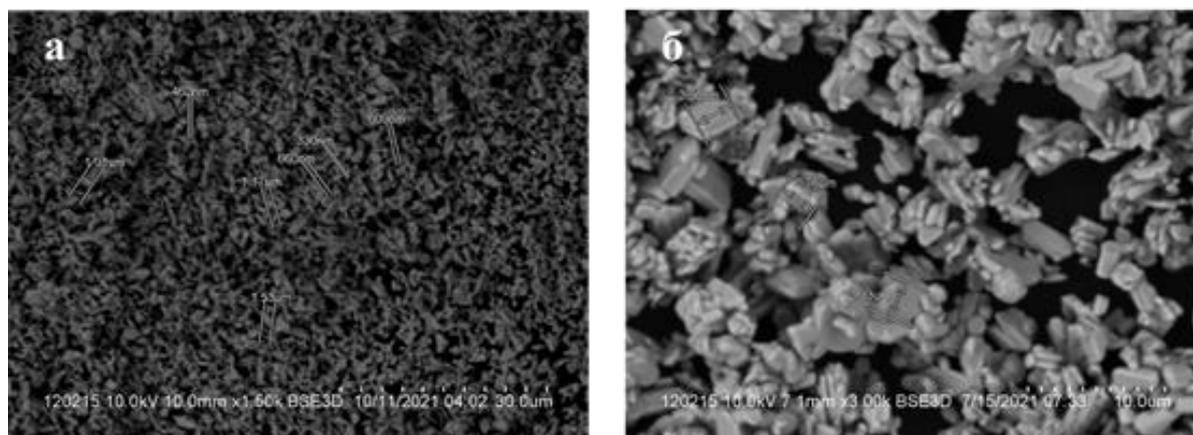


Рис. 1. Изображение образцов  $\text{MoO}_3$  методом РЭМ:  
[Images of  $\text{MoO}_3$  samples:]

а – нанопорошок, б – микропорошок  
[a – nanopowder, б – micropowder]

При исследовании и оценке бионакопления у крыс опытной группы установлено увеличение концентрации молибдена в сердце, лёгких, печени, почках и головном мозге, превышающее контрольные уровни в 108.17 ( $p < 0.05$ ), 221.86 ( $p < 0.05$ ), 15.59 ( $p < 0.05$ ), 62.71 ( $p < 0.05$ ) и 50.00 раза ( $p < 0.05$ ) соответственно. Схожие изменения наблюдаются при экспозиции МЧ  $\text{MoO}_3$ : концентрация исследуемого вещества в сердце, лёгких, печени, почках и головном мозге возрастает в 51.67 ( $p < 0.05$ ), 111.71 ( $p < 0.05$ ), 7.42 ( $p < 0.05$ ), 43.07 ( $p < 0.05$ ) и 18.50 раза ( $p < 0.05$ ) соответственно относительно контроля. Содержание молибдена в данном перечне органов при экспозиции НЧ выше, чем при экспозиции МЧ в 2.09 ( $p < 0.05$ ), 1.99 ( $p < 0.05$ ), 2.10 ( $p < 0.05$ ), 1.46 ( $p < 0.05$ ) и 2.70 раза ( $p < 0.05$ ) соответственно. Результаты исследования бионакопления представлены в таблице.

**Концентрация молибдена в органах крыс**  
[Concentration of molybdenum in the rat organs]

Группа	M ± m, мкг/г				
	Сердце	Лёгкие	Печень	Почки	Мозг
Контрольная	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.79 ± 0.03	0.41 ± 0.04	0.06 ± 0.02
Сравнения	3.10 ± 0.20*	7.82 ± 0.36*	5.86 ± 0.13*	17.66 ± 0.68*	1.11 ± 0.01*
Опытная	6.49 ± 0.85*^	15.53 ± 1.59*^	12.32 ± 1.28*^	25.71 ± 2.38*^	3.00 ± 0.46*^

Примечание. \* – статистически значимое отличие от контрольной группы ( $p < 0.05$ ); ^ – статистически значимое отличие от группы сравнения ( $p < 0.05$ ).

Гистологическими методами исследования у крыс групп опыта и сравнения установлены патоморфологические изменения ткани печени в виде острого гепатита с эозинофилией воспалительного инфильтрата и микровезикулярным стеатозом гепатоцитов; ткани головного мозга – очагового субарахноидального кровоизлияния. В тканях лёгких крыс опытной группы зафиксированы острый бронхит, васкулиты, эозинофилия; в группе сравнения – гиперплазия лимфоидной ткани, ассоциированной со слизистой оболочкой бронхов, мелкие геморрагические инфаркты. У крыс контрольной группы не установлено патоморфологических изменений тканей органов (рис. 2).

В научной литературе, посвящённой изучению токсичности НЧ  $\text{MoO}_3$  при однократном поступлении, имеется информация о накоплении данного наноматериала в печени крыс при внутрибрюшинной инъекции [Sizova, Mirosnikov, Kalashnikov, 2016]. В исследованиях, направленных на изучение токсических свойств микроразмерного аналога при однократной пероральной экспозиции, установлено увеличение концентрации молибдена в почках, печени и костях крыс, морских свинок, коз и коров [Бандман и др., 1989]. Согласно данным, представленным в токсикологическом профиле, микроразмерный молибден при пероральном поступлении депонирует практически во всех органах крыс и морских свинок [Agency for Toxic..., 2020]. В проведённом исследовании бионакопление НЧ и МЧ  $\text{MoO}_3$  зафиксировано в одинаковом перечне органов. Отличительной особенностью бионакопления наноматериала является большая концентрация молибдена в органах крыс, чем при воздействии микроразмерного аналога (в 1.46–2.70 раза выше). Более выраженная степень бионакопления НЧ относительно МЧ, предположительно, обусловлена меньшими размерами, благодаря которым наноматериал эффективнее проникает через защитные барьеры организма [Huang, Cambre, Lee, 2017; Sukhanova et al., 2018; Truong et al., 2019]. Раствори-

мость НЧ  $\text{MoO}_3$  возрастает с увеличением pH среды [Peña-Bahamonde et al., 2020], в связи с чем вероятно, что большая часть тестируемого наноматериала, поступившего в организм крыс, растворилась в щелочной среде кишечника, откуда вместе с получившимися в результате диссоциации ионами  $\text{Mo}^{6+}$  попадают в кровеносное русло и распространяются к органам и тканям. Исследование внутриклеточного распределения  $\text{Mo}^{6+}$ , проведённого на фибробластах дёсен человека, показало наибольшее содержание ионов в плазматической мембране (64.4% от общего количества). Ионы  $\text{Mo}^{6+}$ , преодолевшие плазматическую мембрану, накапливаются в цитоплазме (19.9%), митохондриях (8.4%), белках цитоплазмы и мембран (7.2%), ядре (0.1%) [Messer, Lucas, 2002].

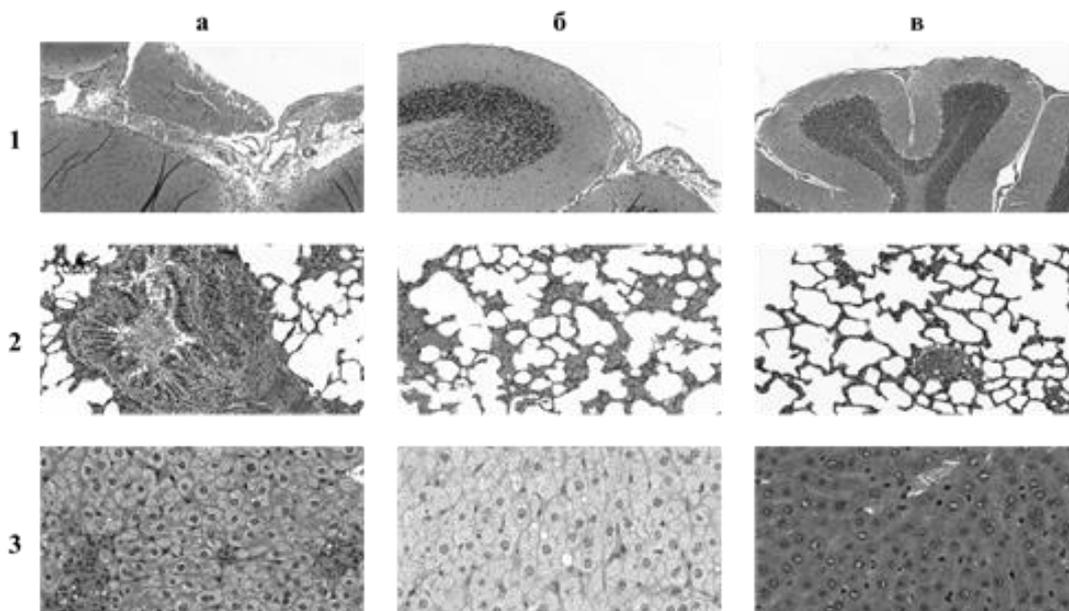


Рис. 2. Микрофотографии гистологических препаратов органов крыс, окраска гематоксилином и эозином:

1 – головной мозг (масштаб 100:1), 2 – лёгкие (масштаб 200:1), 3 – печень (масштаб 400: 1); а – опытная группа, б – группа сравнения, в – контрольная группа

[Micrographs of histological preparations of the rat organs, hematoxylin and eosin stain:

1 – brain (scale 100:1), 2 – lungs (scale 200:1), 3 – liver (scale 400:1); а – experimental group, б – comparison group, в – control group]

В ряде исследований показано, что НЧ  $\text{MoO}_3$  вызывают патоморфологические изменения тканей органов при внутрибрюшинных инъекциях. При однократном внутрибрюшинном введении в печени крыс зафиксированы обширные участки, подверженные дистрофическим изменениям и некрозу, что сопровождалось увеличением активности аланинаминотрансферазы и аспаратаминотрансферазы [Sizova, Mirosnikov, Kalashnikov, 2016]. В настоящем исследовании при однократной пероральной экспозиции НЧ и МЧ  $\text{MoO}_3$  патоморфологические изменения обнаружены в печени, лёгких и головном мозге. Развитие стеатоза паренхиматозной ткани печени при воздействии токсических веществ обуславливают нарушением синтеза апопротеина, вызванным блокадой ферментных систем, что приводит к нарушению переноса липопротеидов через мембрану гепатоцитов. Задерживаясь в цитоплазме, данные белки трансформируются и накапливаются в гепатоцитах в виде триглицеридов [Hautekeete, Degott, Benhamou, 1990; Малова, 2014]. Последствием накопления триглицеридов может стать разрушение лизосом, приводящее к высвобождению в цитоплазму катепсина В, способствующего развитию митохондриальной дисфункции, что усиливает продукцию внутриклеточных свободных радикалов [Li et al., 2008]. Свободные радикалы запускают реакции перекисного окисления липидов и усиливают продукцию провоспалительных цитокинов: интерлейкина-6 (IL-6), IL-8, IL-1 $\beta$ , фактора некроза опухоли-альфа (ФНО- $\alpha$ ) [Vožinović et al., 2020]. Продукты перекисного окисления липидов, ФНО- $\alpha$  и IL-6 способствуют активации клеток Ито (звёздчатые клетки печени), продуцирующих компоненты соединительной ткани, что проявляется в виде фиброза и, при дальнейшем развитии, цирроза [Zhang et al., 2016]. Способность НЧ  $\text{MoO}_3$  вызывать окислительный стресс, приводящий к увеличению активности провоспалительных цитокинов, предположительно, является причиной развития воспалительных процессов в тканях лёгких и печени. Характерным явлением в ходе развития воспалительного процесса является гиперплазия лимфоидной ткани [Sirajuddin et al., 2016], что наблюдается в данном исследовании в лёгких крыс группы сравнения. Веро-

ятной причиной геморрагических инфарктов лёгких крыс группы сравнения может быть разрыв стенок сосудов, подверженных васкулиту в связи с дегенеративными изменениями внутренней эластической мембраны [Villa-Forte, 2020; Kaptein et al., 2021]. Предположительно, субарахноидальное кровоизлияние в головном мозге экспонированных крыс развивается по схожему механизму [Fuller, Manford, 2010].

В сердце и почках крыс не установлено патоморфологических изменений, несмотря на бионакопления тестируемых материалов. Возможно, это объясняется начальным этапом изменений, происходящих на субклеточном уровне, что невозможно установить с помощью световой микроскопии.

## Заключение

По результатам выполненного исследования установлено, что тестируемый образец порошка  $\text{MoO}_3$  является наноматериалом. НЧ  $\text{MoO}_3$  обладают большей степенью бионакопления относительно микро-размерного химического аналога при однократном пероральном поступлении в сердце, лёгких, печени, почках и головном мозге. Как НЧ, так и МЧ  $\text{MoO}_3$  вызывают патоморфологические изменения тканей органов. НЧ более токсичны, что подтверждается большим количеством погибших крыс в опытной группе относительно группы сравнения. Полученные результаты доказывают наличие токсических свойств у НЧ  $\text{MoO}_3$  при пероральном поступлении, что накладывает ограничения на их использование в сельскохозяйственной отрасли и требует дальнейшего изучения возможных негативных эффектов, вызываемых данным наноматериалом.

## Список источников

1. Бандман А.Л. и др. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V-VIII групп: справочное издание. Л.: Химия, 1989. С. 313–323.
2. Малова И.Ю. Общее учение о дистрофиях (методическое пособие). Майкоп, 2014. 108 с.
3. Паренаго О.П. и др. Наночастицы сульфидов молибдена – новый класс добавок к углеводородным смазочным материалам // Доклады Академии Наук. 2002. Т. 383, № 1. С. 84–86.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Molybdenum. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2020. 246 p.
5. Assadi F. et al. Effect of molybdenum trioxide nanoparticles ( $\text{MoO}_3$  NPs) on thyroid hormones in female rats // Journal of Human Environment and Health Promotion. 2016. Vol. 1, № 4. P. 189–195.
6. Borodianskiy K., Zinigrad M. Nanomaterials applications in modern metallurgical processes // Diffusion Foundations. 2016. Vol. 9. P. 30–41.
7. Božinović K. et al. In-vitro toxicity of molybdenum trioxide nanoparticles on human keratinocytes // Toxicology. 2020. Vol. 444. P. 1–11.
8. Bundshuh M. et al. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? // Environmental Science Europe. 2018. Vol. 30, № 1. P. 1–17.
9. Dror I., Yaron B., Berkowitz B. Abiotic soil changes induced by engineered nanomaterials: A critical review // Journal of Contaminant Hydrology. 2015. Vol. 181. P. 3–16.
10. Fazelipour S. et al. Effect of molybdenum trioxide nanoparticles on histological changes of uterus and biochemical parameters of blood serum in rat // Comparative Clinical Pathology. 2020. Vol. 29. P. 991–999.
11. Fu L. et al. Applications of graphene and Its derivatives in the upstream oil and gas industry: a systematic review // Nanomaterials (Basel). 2020. Vol. 10, № 6. P. 1–31.
12. Fuller G., Manford M. Subarachnoid hemorrhage // Neurology (Third edition). Elsevier Inc, 2010. P. 72–73.
13. Hautekeete M.L., Degott C., Benhamou J.P. Microvesicular steatosis of the liver // Acta Clinica Belgica. 1990. Vol. 45, № 5. P. 311–326.
14. Hewitt R.E., Chappel H.F., Powell J.J. Small and dangerous? Potential toxicity mechanisms of common exposure particles and nanoparticles // Current Opinion in Toxicology. 2020. Vol. 19. P. 93–98.
15. Huang Y.-W., Cambre M., Lee H.-J. The toxicity of nanoparticles depends on multiple molecular and physicochemical mechanisms // International Journal of Molecular Science. 2017. Vol. 18, № 12. P. 1–13.
16. Indrakumar J., Korrapati P.S. Steering efficacy of nano molybdenum towards cancer: mechanism of action // Biological Trace Element Research. 2020. Vol. 194, № 1. P. 121–134.
17. Kaptein F.H.J. et al. Pulmonary infarction in acute pulmonary embolism // Thrombosis Research. 2021. Vol. 202. P. 162–169.
18. Lee S.H. et al. Reversible lithium-ion insertion in molybdenum oxide nanoparticles // Advanced Materials. 2008. Vol. 20, № 19. P. 3627–3632.
19. Li Z.Z. et al. The lysosomal-mitochondrial axis in free fatty acid – induced hepatic lipotoxicity // Hepatology. 2008. Vol. 47, № 5. P. 1495–1503.
20. Ma H.L. et al. Rice planting increases biological nitrogen fixation in acidic soil and the influence of light and food layer thickness // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2021. Vol. 21. P. 341–348.
21. Messer R.L.W., Lucas L.C. Localization of metallic ions with gingival fibroblast subcellular fractions // Journal of Biomedical Materials Research. 2002. Vol. 59, № 3. P. 466–472.

22. Moussa M.G. et al. Molybdenum-induced effects on nitrogen uptake efficiency and recovery in wheat (*Triticum aestivum* L.) using <sup>15</sup>N-labeled nitrogen with different N forms and rates // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2021. Vol. 184. P. 613–621.
23. Neme K. et al. Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges // *Heliyon*. 2021. Vol. 7, № 12. P. 1–12.
24. Osman S.A. et al. The influence of MoO<sub>3</sub>-NPs on agro-morphological criteria, genomic stability of DNA, biochemical assay, and production of common dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020. Vol. 151. P. 77–87.
25. Peña-Bahamonde J. et al. Oxidation state of Mo affects dissolution and visible-light photocatalytic activity of MoO<sub>3</sub> nanostructures // *Journal of Catalysis*. 2020. Vol. 381. P. 508–519.
26. Piracha S. et al. Nanoparticle: role in chemical industries, potential sources and chemical catalysis applications // *Scholar International Journal of Chemistry and Material Science*. 2021. Vol. 4, № 4. P. 40–45.
27. Salata O.V. Applications of nanoparticles in biology and medicine // *Journal of Nanobiotechnology*. 2004. Vol. 2, № 1. P. 1–6.
28. Shafiq M. et al. An overview of the applications of nanomaterials and nanodevices in the food industry // *Foods*. 2020. Vol. 9, № 2. P. 1–27.
29. Shafique M., Luo X. Nanotechnology in transportation vehicles: an overview of its applications, environmental, health and safety concerns // *Materials (Basel)*. 2019. Vol. 12, № 15. P. 1–32.
30. Sirajuddin A. et al. Primary pulmonary lymphoid lesions: radiologic and pathologic findings // *Radiographics*. 2016. Vol. 36, № 1. P. 53–70.
31. Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Kalashnikov V.V. Morphological and biochemical parameters in Wistar rats influenced by molybdenum and its oxide nanoparticles // *Agricultural Biology*. 2016. Vol. 6. P. 929–936.
32. Sobańska Z. et al. Biological effects of molybdenum compounds in nanosized forms under in vitro and in vivo conditions // *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. 2020. Vol. 33, № 1. P. 1–19.
33. Sonwani S. et al. Inhalation exposure to atmospheric nanoparticles and Its associated impacts on human health: a review // *Front Sustain Cities*. 2021. Vol. 3. P. 1–20.
34. Sukhanova A. et al. Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties // *Nanoscale Research Letters*. 2018. Vol. 13, № 44. P. 1–21.
35. Tran T.A. et al. Toxicity of nano molybdenum trioxide toward invasive breast cancer cells // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2014. Vol. 6, № 4. P. 2980–2986.
36. Truong L. et al. Systematic determination of the relationship between nanoparticle core diameter and toxicity for a series of structurally analogous gold nanoparticles in zebrafish // *Nanotoxicology*. 2019. Vol. 13, № 7. P. 879–893.
37. Villa-Forte A. Overview of vasculitis // *MSD Manual Professional Version*. 2020. URL: <https://www.msmanuals.com/professional/musculoskeletal-and-connective-tissue-disorders/vasculitis/overview-of-vasculitis> (дата обращения: 08.09.2022)
38. Xie G. et al. The applications of ultra-thin nanofilm for aerospace advanced manufacturing technology // *Nanomaterials (Basel)*. 2021. Vol. 11, № 12. P. 1–9.
39. Zhang C.-Y. et al. Liver fibrosis and hepatic stellate cells: Etiology, pathological hallmarks and therapeutic targets // *World Journal of Gastroenterology*. 2016. Vol. 22, № 48. P. 10512–10522.
40. Zhang H. et al. Nanoscale molybdenum oxide improves plant growth and increases nitrate utilisation in rice (*Oryza sativa* L.) // *Food and Energy Security*. 2022. Vol. 11, № 2. 14 p.

## References

1. Bandman A. L. et al. *Vrednye chimičeskie veščestva. Neorganičeskie soedineniya V-VIII grupp* [Harmful chemicals. Inorganic compounds of groups V-VIII. Reference book.]. Leningrad, Chimija Publ., 1989, pp. 313–323. (In Russ.).
2. Malova I. Yu. *Obščee učenie o distrofijach* [General doctrine of dystrophies (methodological guide)]. Majkop, 2014. 108 p. (In Russ.).
3. Parenago O.P. et al. [Molybdenum sulfide nanoparticles – a new class of application for hydrocarbon lubricants]. *Doklady Akademii Nauk*. V. 383, No 1 (2002): pp. 84–86. (In Russ.).
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Molybdenum. Atlanta, GA, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2020. 246 p.
5. Assadi F. et al. Effect of molybdenum trioxide nanoparticles (MoO<sub>3</sub> NPs) on thyroid hormones in female rats. *Journal of Human Environment and Health Promotion*. V. 1, No 4 (2016): pp. 189–195.
6. Borodianskiy K., Zinigrad M. Nanomaterials applications in modern metallurgical processes. *Diffusion Foundations*. V. 9 (2016): pp. 30–41.
7. Božinović K. et al. In-vitro toxicity of molybdenum trioxide nanoparticles on human keratinocytes. *Toxicology*. V. 444 (2020): pp. 1–11.
8. Bundshuh M. et al. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? *Environmental Science Europe*. V. 30, No 1 (2018): pp. 1–17.
9. Dror I., Yaron B., Berkowitz B. Abiotic soil changes induced by engineered nanomaterials: A critical re-

view. *Journal of Contaminant Hydrology*. V. 181 (2015): pp. 3-16.

10. Fazelpour S. et al. Effect of molybdenum trioxide nanoparticles on histological changes of uterus and biochemical parameters of blood serum in rat. *Comparative Clinical Pathology*. V. 29 (2020): pp. 991-999.

11. Fu L. et al. Applications of graphene and Its derivatives in the upstream oil and gas industry: a systematic review. *Nanomaterials* (Basel). V. 10, No 6 (2020): pp. 1-31.

12. Fuller G., Manford M. Subarachnoid hemorrhage. In: *Neurology* (Third edition). Elsevier Inc., 2010. pp. 72-73.

13. Hautekeete M.L., Degott C., Benhamou J.P. Microvesicular steatosis of the liver. *Acta Clinica Belgica*. V. 45, No 5 (1990): pp. 311-326.

14. Hewitt R.E., Chappel H.F., Powell J.J. Small and dangerous? Potential toxicity mechanisms of common exposure particles and nanoparticles. *Current Opinion in Toxicology*. V. 19 (2020): pp. 93-98.

15. Huang Y.-W., Cambre M., Lee H.-J. The toxicity of nanoparticles depends on multiple molecular and physicochemical mechanisms. *International Journal of Molecular Science*. V. 18, No 12 (2017): pp. 1-13.

16. Indrakumar J., Korrapati P.S. Steering efficacy of nano molybdenum towards cancer: mechanism of action. *Biological Trace Element Research*. V. 194, No 1 (2020): pp. 121-134.

17. Kaptein F.H.J. et al. Pulmonary infarction in acute pulmonary embolism. *Thrombosis Research*. V. 202 (2021): pp. 162-169.

18. Lee S.H. et al. Reversible lithium-ion insertion in molybdenum oxide nanoparticles. *Advanced Materials*. V. 20, No 19 (2008): pp. 3627-3632.

19. Li Z.Z. et al. The lysosomal-mitochondrial axis in free fatty acid – induced hepatic lipotoxicity. *Hepatology*. V. 47, No 5 (2008): pp. 1495-1503.

20. Ma H.L. et al. Rice planting increases biological nitrogen fixation in acidic soil and the influence of light and food layer thickness. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. V. 21 (2021): pp. 341-348.

21. Messer R.L.W., Lucas L.C. Localization of metallic ions with gingival fibroblast subcellular fractions. *Journal of Biomedical Materials Research*. V. 59, No 3 (2002): pp. 466-472.

22. Moussa M.G. et al. Molybdenum-induced effects on nitrogen uptake efficiency and recovery in wheat (*Triticum aestivum* L.) using <sup>15</sup>N-labeled nitrogen with different N forms and rates. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. V. 184 (2021): pp. 613-621.

23. Neme K. et al. Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. *Heliyon*. V. 7, No 12 (2021): pp. 1-12.

24. Osman S.A. et al. The influence of MoO<sub>3</sub>-NPs on agro-morphological criteria, genomic stability of DNA, biochemical assay, and production of common dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. V. 151 (2020): pp. 77-87.

25. Peña-Bahamonde J. et al. Oxidation state of Mo affects dissolution and visible-light photocatalytic activity of MoO<sub>3</sub> nanostructures. *Journal of Catalysis*. V. 381 (2020): pp. 508-519.

26. Piracha S. et al. Nanoparticle: role in chemical industries, potential sources and chemical catalysis applications. *Scholar International Journal of Chemistry and Material Science*. V. 4, No 4 (2021): pp. 40-45.

27. Salata O.V. Applications of nanoparticles in biology and medicine. *Journal of Nanobiotechnology*. V. 2, No 1 (2004): pp. 1-6.

28. Shafiq M. et al. An overview of the applications of nanomaterials and nanodevices in the food industry. *Foods*. V. 9, No 2 (2020): pp. 1-27.

29. Shafique M., Luo X. Nanotechnology in transportation vehicles: an overview of Its applications, environmental, health and safety concerns. *Materials* (Basel). V. 12, No 15 (2019): pp. 1-32.

30. Sirajuddin A. et al. Primary pulmonary lymphoid lesions: radiologic and pathologic findings. *Radiographics*. V. 36, No 1 (2016): pp. 53-70.

31. Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Kalashnikov V.V. Morphological and biochemical parameters in Wistar rats influenced by molybdenum and its oxide nanoparticles. *Agricultural Biology*. V. 6 (2016): pp. 929-936.

32. Sobańska Z. et al. Biological effects of molybdenum compounds in nanosized forms under in vitro and in vivo conditions. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. V. 33, No 1 (2020): pp. 1-19.

33. Sonwani S. et al. Inhalation exposure to atmospheric nanoparticles and Its associated impacts on human health: a review. *Front Sustain Cities*. V. 3 (2021): pp. 1-20.

34. Sukhanova A. et al. Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties. *Nanoscale Research Letters*. V. 13, No 44 (2018): pp. 1-21.

35. Tran T.A. et al. Toxicity of nano molybdenum trioxide toward invasive breast cancer cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*. V. 6, No 4 (2014): pp. 2980-2986.

36. Truong L. et al. Systematic determination of the relationship between nanoparticle core diameter and toxicity for a series of structurally analogous gold nanoparticles in zebrafish. *Nanotoxicology*. V. 13, No 7 (2019): pp. 879-893.

37. Villa-Forte A. Overview of vasculitis. MSD Manual Professional Version. Available at: <https://www.msmanuals.com/professional/musculoskeletal-and-connective-tissue-disorders/vasculitis/overview-of-vasculitis> (accessed 08.09.2022)

38. Xie G. et al. The applications of ultra-thin nanofilm for aerospace advanced manufacturing technology. *Nanomaterials* (Basel). V. 11, No 12 (2021): pp. 1-9.

39. Zhang C.-Y. et al. Liver fibrosis and hepatic stellate cells: Etiology, pathological hallmarks and therapeutic targets. *World Journal of Gastroenterology*. V. 22, No 48 (2016): pp. 10512-10522.

40. Zhang H. et al. Nanoscale molybdenum oxide improves plant growth and increases nitrate utilisation in rice (*Oryza sativa* L.). *Food and Energy Security*. V. 11, No 2 (2022): 14 p.

Статья поступила в редакцию 12.09.2022; одобрена после рецензирования 21.09.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 12.09.2022; approved after reviewing 21.09.2022; accepted for publication 29.09.2022.

#### **Информация об авторах**

Нина Владимировна Зайцева – [znv@fcrisk.ru](mailto:znv@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>, доктор медицинских наук, академик РАН, научный руководитель;

Марина Александровна Землянова – [zem@fcrisk.ru](mailto:zem@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8013-9613>, доктор медицинских наук, заведующий отделом биохимических и цитогенетических методов диагностики, профессор кафедры микробиологии и иммунологии ПГНИУ, профессор кафедры охраны окружающей среды ПНИПУ;

Марк Сергеевич Степанков – [stepankov@fcrisk.ru](mailto:stepankov@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7226-7682>, младший научный сотрудник отдела биохимических и цитогенетических методов диагностики;

Анна Михайловна Игнатова – [iampstu@yandex.ru](mailto:iampstu@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9075-3257>, доктор технических наук, научный сотрудник лаборатории физических основ прочности;

Анастасия Александровна Довбыш – [dovnastja@yandex.ru](mailto:dovnastja@yandex.ru), токсиколог отдела биохимических и цитогенетических методов диагностики;

Анна Владимировна Недошитова – [nedoshitova@fcrisk.ru](mailto:nedoshitova@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6514-7239>, научный сотрудник отдела химико-аналитических методов исследования;

Марина Валерьевна Волкова – [volkova@fcrisk.ru](mailto:volkova@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0600-4075>, научный сотрудник отдела химико-аналитических методов исследования.

#### **Information about the authors**

Nina V. Zaitseva – [znv@fcrisk.ru](mailto:znv@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>, doctor of medicine, academician of RAS, Scientific Director;

Marina A. Zemlyanova – [zem@fcrisk.ru](mailto:zem@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8013-9613>, doctor of medicine, head of Department of Biochemical and Cytogenetic Diagnostics, professor of Department of Microbiology and Immunology of PSU, professor of Department of Environmental Security of PNRPU;

Mark S. Stepankov – [stepankov@fcrisk.ru](mailto:stepankov@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7226-7682>, junior researcher of Department of Biochemical and Cytogenetic Diagnostics;

Anna M. Ignatova – [iampstu@yandex.ru](mailto:iampstu@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9075-3257>, doctor of technical science, researcher of laboratory of physical foundations of strength;

Anastasiya A. Dovbysh – [dovnastja@yandex.ru](mailto:dovnastja@yandex.ru), toxicologist of Department of Biochemical and Cytogenetic Diagnostics;

Anna V. Nedoshytova – [nedoshitova@fcrisk.ru](mailto:nedoshitova@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6514-7239>, researcher of Department of Analytical Chemistry Analysis;

Marina V. Volkova – [volkova@fcrisk.ru](mailto:volkova@fcrisk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0600-4075>, researcher of Department of Analytical Chemistry Analysis.

#### **Вклад авторов:**

Зайцева Н. В. – научное руководство; доработка текста; итоговые выводы.

Землянова М. А. – концепция исследования; доработка текста; итоговые выводы.

Степанков М. С. – проведение эксперимента *in vivo*; написание исходного текста; статистическая обработка материала.

Игнатова А. М. – проведение эксперимента *in vivo*; изучение физических свойств нано- и микрочастиц.

Довбыш А. А. – гистологическое исследование.

Недошитова А. В. – определение концентрации молибдена в органах.

Волкова М. В. – определение концентрации молибдена в органах.

#### **Contribution of the authors:**

Zaitseva N. V. - scientific management; revision of the text; final conclusions.

Zemlyanova M. A. – research concept; revision of the text; final conclusions.

Stepankov M. S. – conducting an experiment *in vivo*; writing the draft; statistical processing of the material.

Ignatova A. M. – conducting an experiment *in vivo*; physical properties of nano- and microparticles research.

Dovbysh A. A. – histological examination.

Nedoshytova A. V. – determination of the concentration of molybdenum in organs.

Volkova M. V. – determination of the concentration of molybdenum in organs.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ ИХ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ПЕРМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ БИОЛОГИЯ»

Редакционная коллегия научного журнала «Вестник Пермского университета. Серия Биология» просит авторов руководствоваться ГОСТ Р 7.0.7–2021 при подготовке рукописи к печати.

### 1. Оформление рукописи

1.1. Статья должна быть представлена в электронном виде (на диске или по электронной почте) и обязательно в виде распечатанной на принтере копии формата А4. Электронная версия записывается в формате Microsoft Word (версии **6.0, 7.0, 97, 2003**) или RTF. Размеры верхнего и нижнего полей – 2.6 см, правого и левого – 2.5 см. Расстояние до верхнего и нижнего колонтитулов – 1.25 см. Шрифт Times New Roman. Межстрочный интервал – одинарный. Абзацный отступ – 0.5 см. При оформлении статьи необходимо различать дефис (-) и тире (–). В качестве знака «минус» надо использовать тире, а в качестве разделителя в десятичных дробях – точку (а не запятую). В тексте статьи использовать кавычки «ёлочка». Переносы в словах делать только в тексте статьи, не допускаются переносы в названии статьи, заголовках всех уровней и названиях таблиц. Страницы должны иметь сквозную нумерацию.

1.2. Статьи без списка процитированной литературы не рассматриваются. Список цитированной литературы должен включать, как правило, не менее 10–15 публикаций. Коэффициент самоцитирования не должен превышать 30%.

1.3. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы автором (авторами). При этом материал должен быть структурирован, изложен ясно и последовательно.

1.4. Рукопись статьи должна быть подписана авторами.

1.5. Объем рукописи статьи (включая таблицы, рисунки, подписи к рисункам, библиографический список) не должен быть более 15 с., для информационных публикаций и рецензий – 1–5 с., кратких сообщений – 1–3 с. Суммарный объем таблиц и рисунков не должен превышать 1/3 объема статьи.

1.6. Общий порядок расположения частей статьи и их оформление (смотри образец):

- Раздел журнала.
- Тип статьи (научная, обзорная, редакционная,

статья, персоналии, рецензия на книгу, рецензия на статью, краткое сообщение)

- УДК (размер шрифта 12, курсив).
- Название статьи (размер шрифта 14 полужирный, как в предложениях).
- Имя, отчество и фамилия автора (авторов) (размер шрифта 12, полужирный).
- Места работы авторов (размер шрифта 10 пт), электронная почта и ORCID (приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет»), адрес электронной почты (обязательно, одного из авторов указывают в качестве автора, ответственного за переписку).
- Аннотация (размер шрифта 10, объем до 250 слов; она должна включать краткую информацию о целях, объекте и методах исследования, краткие результаты и заключение).
- Словосочетание «Ключевые слова» (размер шрифта 10, полужирный курсив), сами ключевые слова (до 15 слов, прямым светлым шрифтом) должны отделяться друг от друга запятой.
- Имя, отчество и фамилии, места работы авторов, название статьи, её аннотация и ключевые слова на английском языке должны полностью соответствовать шрифтам и объёму на русском языке.
- Текст статьи. В статьях экспериментального характера должны быть выделены разделы: **Введение** (можно без заголовка), **Материалы (или Объект) и методы исследований, Результаты и их обсуждение, Выводы (или Заключение)**. Набор текста статьи производится в одну колонку. Основной текст набирается шрифтом Times New Roman Суг, размер – 10 пт. Латинские названия таксонов (до семейства включительно) должны быть набраны *курсивом* (кроме авторов таксонов). Литературные ссылки даются на фамилии авторов и располагаются в хронологическом порядке.
- Заголовки разделов набрать в левый край, размер шрифта 12, полужирн. строчные. Заголовки подразделов, если таковые есть, набираются в левый край (размер шрифта 10, жирн. курсив).
- Благодарности и финансирование (размер шрифта 10).
- Список литературных источников (размер шрифта 10). Литературные источники в списке

приводятся по алфавиту; сначала на кириллице, затем на латинице; нумерация источников сквозная.

- Пристатейный список литературы на латинице (References), помещается сразу за Библиографическим списком, либо вместе с другой англоязычной частью, размещаемой за статьей. Не допускается смешивать русскоязычную и англоязычную часть в одной ссылке, точно также, как сокращать русскоязычный список литературных источников, перенося все англоязычные ссылки в References. Нумерация источников должна соответствовать русскоязычному списку.

- Поступила в редакцию (дата ставится ответственным редактором выпуска, размер шрифта 10).

- Ф.И.О. автора или всех авторов (полностью, без сокращений), учёная степень, учёное звание и должность каждого автора. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов. Этим сведениям предшествуют слова «Вклад авторов:» (“Contribution of the authors:”). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи

**Оформление формул, рисунков и таблиц.** Формулы набираются в редакторе Microsoft Equation с выравниванием по центру и пробелами сверху и снизу по 6 пт (номер формулы, если формул несколько, выравнивается по правому краю колонки). Размеры и начертание всех элементов формул должны быть одинаковыми с их представлением в тексте (основной размер 10 пт, индексы 7 пт, например,  $A_i$ ). В тексте статьи и в математических уравнениях коэффициенты и аргументы функций набираются *наклонным* шрифтом, векторы – *наклонным жирным* шрифтом, цифры – обычным прямым шрифтом. Если уравнение не входит в одну строку, то его можно разбить на две или более строк. Химические символы и формулы набираются прямым шрифтом.

Таблицы и рисунки нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица и рисунок должны иметь свой заголовок. Надписи и подписи к таблицам и рисункам приводят на языке текста статьи и повторяют на английском языке. Заголовок таблицы обязателен и набирается полужирным строчным, размер шрифта 10 пт; текст таблицы набирается шрифтом размером 10 или 9 пт. Если в заголовке используются латинские названия таксонов, они набираются *курсивом*. Все столбцы должны иметь заголовки. Цифры в столбцах таблицы должны быть выровнены по точке десятичных дробей или по единице младшего разряда. Таблица может сопровождаться примечаниями. Таблицы в альбомном формате не допускаются.

Рисунки следует делать экономно, если они выполнены из отдельных элементов, то должны быть сгруппированы. Подписи к рисункам обязательны и набираются обычным прямым текстом размером

шрифта 10 пт; обозначения и примечание к рисунку – размер шрифта 9 пт. Названия таксонов в подписях даются только по латыни, *курсивом*. Оригиналы рисунков должны представлять собой файлы форматов gif, jpg либо tif. Авторам следует учесть, что в журнале не предусмотрена цветная печать, поэтому рисунки, как правило, должны быть монохромными. За потерю качества при типографской печати цветных оригиналов редакция ответственности не несёт.

Следует избегать прямого импорта диаграмм в электронный оригинал статьи из редактора MS Excel и ему подобных путём копирования и вставки. Не допускается вставка со связью с оригиналом. Данные диаграммы должны быть доработаны автором в графическом редакторе.

При использовании для создания в тексте статьи схем и диаграмм встроенного графического редактора MS Word по окончании работы над изображением обязательно группируйте все его объекты в формате gif, jpg либо tif. Рамки вокруг изображений, в т. ч. диаграмм и легенд диаграмм, не допускаются. Рекомендуется обращать особое внимание на контрастность рисунков во избежание потерь информации при печати. В случае недостаточной контрастности исходных материалов она может быть повышена в графическом редакторе. Следует избегать большого числа цветов (полутонов) на изображении, а также выбора близких тонов заливки рядом расположенных элементов изображения.

Единственный в статье рисунок (*или* единственная таблица) должен иметь только заголовок и не обозначаться как рис. 1 (*или* табл. 1).

Если таблица не помещается на одну страницу, то на следующей странице - «Продолжение (или Окончание) табл. 1».

**Сокращения.** Разрешаются лишь общепринятые сокращения - названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т.п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных. Названия учреждений при первом упоминании их в тексте даются полностью и сразу же в скобках приводится общепринятое сокращение; при повторных упоминаниях даётся сокращённое название учреждений. *Пример:* Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), повторно – ПГНИУ, в Гербарии ПГНИУ и т.д.

**Благодарности.** В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования научных исследований, если таковые имеются.

**Оформление списка литературы.** Убедительно просим при оформлении статей руководствоваться новыми правилами. Список литературы должен быть

---

оформлен строго в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Для связи библиографических ссылок с текстом статьи используют идентифицирующие сведения: фамилия автора (авторов) или название публикации, год издания, при необходимости страницу; отсылки в тексте заключают в квадратные скобки [Israeli, Shaffer, Lighthart, 1993, с. 142]. Названия периодических изданий **не сокращаются**. За правильность и полноту предоставления библиографических данных ответственность несёт автор.

**Внимание! Единственным критерием для публикации в журнале «Вестник Пермского университета. Серия Биология» является научный уровень работы, выявляемый при её рецензировании.**

## **2. Представление и редакционная подготовка рукописи**

Рукопись может быть представлена лично, прислана на почтовый адрес редакции или по электронной почте (vestnik\_psu\_bio@mail.ru). Рукопись регистрируется при получении ответственным секретарем журнала. К рукописи прикладывается **Лицензионный договор**.

Автором(ами) подписывается договор о согласии на использование статьи в открытой печати. Авторы гарантируют, что статья является оригинальным произведением, ранее не публиковалась, и они обладают исключительными авторскими правами на неё. Форма Лицензионного договора находится на сайте журнала (<http://www.psu.ru/nauchnye-zhurnaly/series-biology>).

Статья аспиранта (без соавторов) должна иметь отзыв научного руководителя.

Вместе со статьей подается ее электронный вариант, названный по фамилии автора(ов), например, Иванов, Петров, Сидоров.doc. Для литературного и технического редактирования представляется печатный вариант статьи со всеми необходимыми элементами, с текстом, размещенным в одну колонку, отпечатанный 12 размером шрифта с межстрочным интервалом 1.5.

Рукопись должна быть тщательно выверена, отредактирована и подписана автором(ами).

После получения редакцией статьи, она направляется на рецензирование. При наличии замечаний к рукописи она отсылается автору (авторам) на доработку.

Рукописи рассматриваются в порядке их поступления в течение 1–6 месяцев в зависимости от сложности ситуации и объема работы.

После редакционной правки рукопись при необходимости возвращается автору для согласования (срок – не более 2 дней). После исправления всех замечаний автор подписывает статью к печати.

**Для правильного оформления статьи используйте электронную форму настоящих правил последнего выпуска, выложенного на сайте журнала.**

*Редакционная коллегия*



## Материал и методы исследования

### Материал

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.  
Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

### Методы исследования

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст [Автор, Автор, Автор, 1999; Author, 2012].  
Текст. Текст. Текст [Author, Author, 1992; Автор, 2000]. Текст. Текст.

## Результаты и их обсуждение

Текст. Текст. Текст. Текст (рис. 1). Текст. Текст. Текст.  
Текст. Текст. Текст (рис. 2, табл. 1). Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.  
Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст (формула 1)

$$a = \text{th } x + \int_a^b f(x)dx + \text{ch } x - 25 \sum_{i=1}^N k_i A_i . \quad (1)$$

где текст, текст, текст.

Текст. Текст. Текст. Текст (табл. 2). Текст. Текст. Текст. Текст.  
Текст. Текст. Текст. Текст (табл. 2). Текст. Текст. Текст. Текст.  
Текст. Текст. Текст [Author, 2010]. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

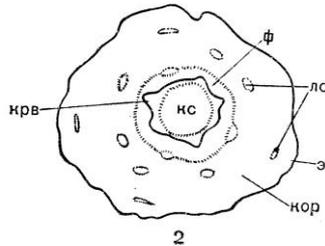


Рис. 1. Название рисунка:

кор – название, крв – название, кс – название, лс – название, ф – название, э – название

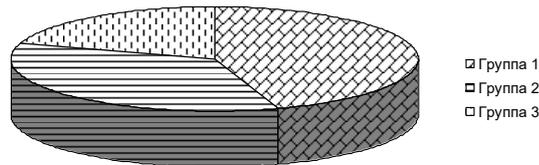


Рис. 2. Название рисунка:

1 – Группа 1 – название, 2 – Группа 2 – название, 3 – Группа 3 – название

### Пример оформления таблицы и заголовка к ней для объекта X

Область оценки	Дисперсия сигнала (D)	$\nu$ (МГц)	Среднее
А	79	8.91*	5.6
Б	170	13.0	208.0
В	165	12.8	124.05

\*Текст примечания.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Таблица 1

## Выводы (Заключение)

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

## Список источников

1. Автор И.О. Заголовок // Источник. Год публикации. Том, номер. Страницы.
2. Автор И.О., Автор И.О. Заголовок // Источник. Год публикации. Том, номер. Страницы.
3. Заголовок / Автор И.О. и др. // Источник. Место публикации, год публикации. Страницы.
4. Author N., Author N. Title // Place of publication. Year Published. Volume Number, Issue Number. Page Numbers.
5. Author N. Title // Place of publication, Year Published. Page Numbers.
6. Title // Place of publication, Year Published. Page Numbers.

## References

1. Last Name, First Name. *Title of Book*. Publisher City: Publisher Name, Year Published. Page Numbers.
2. Last Name, First Name. [Title] *Journal Name* Volume Number, Issue Number (Year Published): Page Numbers. (In Russ.).
3. Last Name, First Name. [Title] *Journal Name* Volume Number, Issue Number (Year Published): Page Numbers.
4. Last Name, First Name. *Title of Book*. Publisher City: Publisher Name, Year Published. Page Numbers. (In Russ.).

...

Статья поступила в редакцию \_\_.\_\_.202\_\_; одобрена после рецензирования \_\_.\_\_.202\_\_; принята к публикации \_\_.\_\_.202\_\_.  
The article was submitted \_\_.\_\_.202\_\_; approved after reviewing \_\_.\_\_.202\_\_; accepted for publication \_\_.\_\_.202\_\_.

## Информация об авторах

И. И. Иванов – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой;  
П. П. Петров – кандидат биологических наук, доцент;  
С. С. Сидоров – инженер лаборатории ....

## Information about the authors

I. I. Ivanov – doctor of biology, professor, head of the Department;  
P. P. Petrov – candidate of biology, associate professor;  
S. S. Sidorov – laboratory engineer.

## Вклад авторов:

Иванов И. И. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Петров П. П. – доработка текста; итоговые выводы.

Сидоров С. С. – статистическая обработка материала.

## Contribution of the authors:

Ivanov I. I. – scientific management; research concept; methodology development; writing the draft; conclusions.

Petrov P. P. – followon revision of the text; conclusions.

Sidorov S. S. – statistical processing of the material.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

**Вестник Пермского университета**  
**БИОЛОГИЯ**  
**2022. Выпуск 3**

**Bulletin of Perm University**  
**BIOLOGY**  
**2022. Issue 3**

---

*Научное издание*

Редактор *Л. Л. Савенкова*

Корректор *Л. Л. Соболева*

Компьютерная верстка *С. А. Овеснова*

Подписано в печать 29.09.2022. Выход в свет 09.11.2022. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Усл. печ. л. 10,0. Тираж 500 экз. Заказ № 104/2022.

Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского  
университета  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии издательства «Книжный формат»  
614000, г. Пермь, ул. Пушкина, 80

Бесплатно.

Подписка на журнал осуществляется онлайн на сайте «Пресса России. Объединенный каталог»  
<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e41000/>. Подписной индекс 41000