

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

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

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

#### Редакционный совет

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

#### Редакционная коллегия

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

Ответственный редактор выпуска *С. А. Овеснов*

© Редакционная коллегия, 2023

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-ru.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. Korkotyán*, 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. A. Chereshevnev*, 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. Efíimik* (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, 2023

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.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>Кабанов А. В., Хохлачева Ю. А.</i> Оценка адаптивного потенциала растений с вариегатной окраской листьев . . . . .	111
<i>Молганова Н. А., Овеснов С. А.</i> Инвазибельные сосновые насаждения ООПТ Закамский бор (г. Пермь) . . . . .	121
<i>Швецов А. Н., Золкин С. Ю.</i> Мониторинг миграционной активности растений между открытым и защищенным грунтом . . . . .	133

**Зоология**

<i>Князев С. Ю., Бабий К. А., Голованова Е. В., Соломатин Д. В., Сарф Е. А., Бельская Л. В.</i> Исследование различий ИК-спектров дождевых червей как возможный способ их таксономической идентификации . . . . .	147
<i>Крайнева Т. С., Паньков Н. Н.</i> Фауна и сообщества донных беспозвоночных ручьёв и родников Айтуарской степи (Оренбургский государственный степной заповедник) . . . . .	158

**Микробиология**

<i>Водопьянов С. О., Герасименко А. А., Водопьянов А. С., Горох А. М., Писанов Р. В., Кругликов В. Д.</i> Гены и белки холодового шока у <i>Vibrio cholerae</i> различных серогрупп . . . . .	166
<i>Ястребова О. В., Прохорова А. П., Плотникова Е. Г.</i> Деструкция фталевых кислот штаммом <i>Raenarthrobacter</i> sp. SA101, выделенным из сточных вод химического предприятия . . . . .	172

**Экология**

<i>Евстигнеева И. К., Танковская И. Н.</i> Таксономический анализ макрофитобентоса акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море) . . . . .	179
---	-----

**Иммунология**

<i>Куклина Е. М., Глебездина Н. С.</i> Механизмы взаимодействия мелатонина с лимфоцитами . . . . .	195
--	-----

**Клиническая лабораторная диагностика**

<i>Петухова Т. Е.</i> Метод взятия крови у мышей из периферической вены хвоста для исследования специфической активности эритропоэтина . . . . .	205
Правила оформления статей в Вестник Пермского университета. Серия Биология . . . . .	208

## Contents

### Botany

- Kabanov A. V., Khokhlacheva Ju. A.* Assessment of the adaptive potential of plants with variegate leaf coloration . . . . . 111
- Molganova N. A., Ovesnov S. A.* Invasive pine plantations of Zakamsky Bor protected area (Perm) . . . . . 121
- Shvetsov A. N., Zolkin S. Yu.* Monitoring of plant migration activity between open and protected ground . . . . . 133

### Zoology

- Kniazev S. Yu., Babiy K. A., Golovanova E. V., Solomatin D. V., Sarf E. A., Bel'skaya L. V.* Investigation of differences in the IR spectra of earthworms as a possible way of their taxonomic identification . . . . . 147
- Krajneva T. S., Pan'kov N. N.* Fauna and benthic communities of invertebrates of the springs within Aituar steppe (Orenburg state nature reserve) . . . . . 158

### Microbiology

- Vodopyanov S. O., Gerasimenko A. A., Vodopyanov A. S., Gorokh A. M., Pisanov R. V., Kruglikov V. D.* The cold-shock gene's protein complex of different serogroups of *Vibrio cholerae* . . . . . 166
- Yastrebova O. V., Prokhorova A. P., Plotnikova E. G.* Destruction of phthalic acids by *Paenarthrobacter* sp. SA101 isolated from wastewater of a chemical plant . . . . . 172

### Ecology

- Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N.* Taxonomic analysis of macrophytobenthos in the area of the Natural Monument «Coastal aquatic complex near Cape Fiolent» (Black Sea) . . . . . 179

### Immunology

- Kuklina E. M., Glebezdina N. S.* Mechanisms of interaction between melatonin with lymphocytes . . . . . 195

### Clinical laboratory diagnostics

- Petukhova T. E.* Method of taking blood from mice from the peripheral vein of the tail to study the specific activity of erythropoietin . . . . . 205

## БОТАНИКА

Научная статья

УДК 58.006

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-111-120

### Оценка адаптивного потенциала растений с вариегатной окраской листьев

Александр Владимирович Кабанов<sup>1</sup>, Юлия Анатольевна Хохлачева<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup> Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, Москва, Россия

<sup>1</sup> alex.kabanow@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9958-2386>

<sup>2</sup>✉ ldr\_gbsran@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1883-8704>

**Аннотация.** Приведены результаты сравнительного анализа количественного и качественного состава выборки вариегатных травянистых интродуцентов (36 наименований) из коллекционного фонда лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН. В семействах *Poaceae* и *Asparagaceae* отмечено наибольшее число родов, содержащих виды, в составе которых отмечены формы с данной окраской листьев. Анализ данных многолетних полевых экспериментов позволил предположить наличие разнонаправленного влияния адаптивных характеристик на устойчивость в культуре разных групп интродуцентов с вариегатной окраской листьев. Для вариегатных образцов, наиболее широко представленных в составе современного коллекционного фонда лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН, выявлены различия по устойчивости в культуре в зависимости от соотношения разноокрашенных частей листовой пластинки. Указанная группа интродуцентов также изучена по принадлежности к эколого-фитоценотическим группам, регионам-донорам, жизненным формам. Предложен и апробирован вариант оценки адаптивного потенциала вариегатных интродуцентов.

**Ключевые слова:** интродукция, растения с вариегатной окраской листьев, лаборатория декоративных растений, Главный ботанический сад, коллекционный фонд

**Для цитирования:** Кабанов А. В., Хохлачева Ю. А. Оценка адаптивного потенциала растений с вариегатной окраской листьев // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 111–120. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-111-120>.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзадания ГБС РАН «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», № 122011400178-7.

## BOTANY

Original article

### Evaluation of the adaptive potential of plants with variegate leaf coloration

Alexander V. Kabanov<sup>1</sup>, Julia A. Khokhlacheva<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup> Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>1</sup> alex.kabanow@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9958-2386>

<sup>2</sup>✉ ldr\_gbsran@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1883-8704>

**Abstract.** The article presents the results of a comparative analysis of the quantitative and qualitative composition of a sample of variegated herbaceous introducents (36 names) from the collection fund of the Laboratory of Ornamental Plants, Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences. The families *Poaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* and *Saxifragaceae* have the largest number of genera containing species in which forms with this leaf color are noted. The analysis of the data of long-term field experiments allowed us to assume the presence of a multidirectional influence of adaptive characteristics on the stability in the culture of different groups of introduced plants with variegate leaf coloration. For variegate cultivars, the most widely represented in the modern collection fund of the Laboratory, differences in stability in culture were revealed depending on the ratio of the differently colored parts of the leaf blade. This group of introducers has also been studied by belonging to ecological groups, donor regions and life forms. A variant of assessing the adaptive potential of variegate introducers is proposed and tested.

**Keywords:** introduction, plants with variegated leaf color, Laboratory of ornamental plants, Main Botanical Garden, collection fund

**For citation:** Kabanov A. V., Khokhlacheva Ju. A. [Assessment of the adaptive potential of plants with variegated leaf coloration]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 111-120. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-111-120>.

**Acknowledgments:** the work was carried out in accordance to Institutional research project № 122011400178-7.

## Введение

Создание и поддержание коллекционных фондов исторически является основополагающим направлением деятельности ботанических садов [Shipper, Rovero, 2017; Zykova, Klimenko, Zubkova, 2021]. Поэтому одной из современных задач, не теряющих своей актуальности в долгосрочной перспективе, является обогащение культурной флоры за счет привлечения новых или ранее недостаточно изученных природных видов, форм и сортов, обладающих комплексом ценных хозяйственных и декоративных признаков [Bondorina et al., 2020]. Одним из главных преимуществ представителей группы вариегатных растений (с белым или кремовым окаймлением, пятнами и полосами по всей поверхности листовой пластинки) является возможность продления декоративного эффекта (в ряде случаев – на весь вегетационный сезон).

Вариегатные растения являются одной из перспективных групп для использования в озеленении [Houtman, 2004; Konoplyova, Petropoulou, Yiotis, 2007; Roccaa, Rascios, Pupillo, 2011; Liu et al., 2013]. При этом вопрос адаптивной устойчивости отдельных вариегатных форм и сортов продолжает оставаться актуальным [Lev-Yadun et al., 2002; Chen et al., 2012; Zhang et al., 2017; Zhang et al., 2021; Mareri, Cai, Parrota, 2022].

Исследования по изучению влияния разноокрашенных частей листа на активность фотосинтеза проводится и в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) с 2018 г. Одним из модельных объектов исследования являются представители рода *Hosta* Tratt. В ранее проведенных работах было установлено, что наличие желто-зеленых частей в окраске листьев обладает компенсационной функцией, позволяющей адаптироваться растению к открытым местам на ярком солнечном свете [Воронина и др., 2021].

Коллекционный фонд лаборатории декоративных растений является крупнейшим в России, и по данным на ноябрь 2022 г. составляет 6 308 наименований растений, в том числе 1 012 видов и разновидностей и 5 296 сортов и садовых форм. Это – репрезентативная выборка, охватывающая максимально широкое разнообразие растений умеренной зоны земного шара, которая позволяет проводить комплексное исследование по изучению и сопоставлению адаптивных возможности вариегатных форм с их природными видами-родоначальниками.

В настоящее время общее количество вариегатных форм и сортов в коллекционном фонде лаборатории составляет 108 сортов и форм, относящихся к 35 родам и 20 семействам. Представляемая работа является первым этапом комплексного изучения части спектра вариегатных культиваров в коллекционном фонде ГБС РАН, включающем изучение 36 образцов. На данном этапе был проведен анализ коллекционного фонда по таким параметрам, как географическая и экологическая приуроченность, систематическое происхождение.

Цель исследования – изучение особенностей успешности культивирования вариегатных форм и сортов декоративных травянистых растений в условиях средней полосы России на базе коллекционного фонда лаборатории декоративных растений ГБС РАН.

В рамках представленной работы были поставлены следующие задачи:

– провести комплексный анализ коллекции травянистых многолетних растений с вариегатной окраской листовых пластинок из коллекционного фонда лаборатории декоративных растений по принадлежности отобранных образцов к экологическим группам, регионам-донорам, жизненным формам, систематическому статусу природных видов – родоначальников, использованных при создании форм с вариегатной окраской листьев;

– визуально оценить адаптивный потенциал исследуемых образцов с целью оптимизации алгоритма поиска и мобилизации новых для коллекционного фонда лаборатории декоративных растений ГБС РАН образцов.

## Материал и методы исследования

Исследование проведено на территории ГБС РАН. Объектами исследования явились 36 культиваров, относящиеся к 35 родам и 20 семействам. Все исследуемые растения выращивались в типичных условиях, характерных для экологических предпочтений их видов-родоначальников (растения лесных сообществ – в экспозиции «Теневой сад», растения горных осыпей и скал – в экспозиции «Скальные расте-

ния», луговые и степные растения – на открытых, освещенных участках экспозиции «Декоративные растения»).

Коллекционный фонд создан на основе двух классических методов: эколого-географического [Трулевич, 1991] и родовых комплексов [Русанов, 1950].

Систематическая принадлежность исследуемых образцов, их экологическое распространение, а также экологические группы и жизненные формы приведены по данным, опубликованным в научных работах [Бездедев, Безделева, 2006; Рысин, 2009] и на основании информации из открытых интернет-источников [Primary floras, 2023; World Flora, 2023].

## Результаты и их обсуждение

В рамках интродукционных исследований по привлечению новых форм и сортов проведен анализ коллекционного фонда декоративных травянистых многолетников с целью выявления группы культиваров с вариегатными листьями для их дальнейшего комплексного изучения с приоритетной оценкой адаптивного потенциала.

Несмотря на то, что вариегатные формы и сорта травянистых растений давно представлены в мировой культурной флоре [Houtman, 2004], при формировании коллекционного фонда лаборатории декоративных растений долгое время принцип максимального включения культиваров с необычной окраской листьев не был приоритетным, за исключением представителей отдельных родов – *Hosta* Tratt., *Pulmonaria* L., *Brunnera* Steven. Остальные рода традиционно были представлены единичными образцами (*Convallaria* L., *Petasites* Mill., *Physostegia* Benth., *Phlox* L.). При этом ряд образцов в составе указанной выборки культивируется длительное время. Более 20 лет в коллекционный фонд входят: *Pachysandra terminalis* Siebold & Zucc. 'Variegata', *Pulmonaria saccharata* Mill. 'Majeste', *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce 'Variegatum'.

При длительном интродукционном эксперименте выявлено наличие разнонаправленного влияния адаптивных характеристик на устойчивость разных групп интродуцентов с вариегатной окраской листовой пластинки. Также отмечен тот факт, что не все образцы вариегатных растений обладают стабильной декоративностью.

Согласно результатам полевых экспериментов, стабильное проявление пигментации листовых пластинок отмечено для желто-пестрых форм у *Solidago flexicaulis* L. 'Variegata' и *Phytolacca americana* L. 'Silberstein'; бело-пестрых форм – у *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. 'Variegata', *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr. 'Variegata', всех образцов представителей рода *Hosta*, *Brunnera*, *Miscanthus* Andersson. При этом выявлены формы, характеризующиеся снижением показателей по ряду хозяйственно-ценных признаков. Так, пестролистный представитель вида *Phlox paniculata* L. 'Elizabeth' отличается от зеленолистных форм сильно пониженной жизнеспособностью, замедленными темпами вегетативного размножения и частыми реверсиями.

В составе выборки вариегатных форм также отмечены интродуценты с нестабильным проявлением колористических характеристик листовых пластинок. Так, *Iris pseudacorus* L. 'Variegata', являясь высоко декоративным, характеризуется нестабильным проявлением пигментации листьев (вариегатная окраска проявляется только в начале вегетационного периода) и замедленными темпами разрастания куртины (по сравнению с исходной формой). Бело-пестрая форма *Hemerocallis fulva* L. (L.) f. *variegata* также достаточно декоративна. Но при вегетативном размножении для нее характерно наличие нестабильного проявления пестролистности. Снижения устойчивости в культуре у данной бело-пестрой формы не отмечено.

Так же не отмечено снижения устойчивости и способности к вегетативному возобновлению у бело-пестрой формы *Sanguisorba menziesii* Rudb. 'Dali Marble', которая отличается от исходного вида очень поздним сроком цветения.

У форм с вариегатными листьями в составе таких родов, как *Vinca* L., *Euphorbia* L., *Brunnera*, снижения жизнеспособности и темпов размножения не зафиксировано, но только при условии соблюдения необходимых агротехнических мероприятий.

У вариегатного сорта *Heliopsis helianthoides* (Linnaeus) Sweet 'Variegata' отмечена достаточно низкая декоративность, сочетающаяся с пониженной жизнеспособностью.

При анализе комплекса хозяйственно-ценных признаков декоративнолистных культиваров из семейства *Poaceae*, представленных в изучаемой выборке наибольшим количеством наименований, выявлено, что *Phalaroides arundinacea* L. ('Luteopicta', 'Feese', 'Tricolor'), *Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Presl ('Variegatum'), *Alopecurus pratensis* ('Aureovariegatus'), *Molinia caerulea* (L.) Moench ('Variegata'), *Spartina pectinata* Bosc ex Link, *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb. характеризуются устойчивостью и стабильностью в культуре. При интродукционной оценке пестролистных представителей *Miscanthus sinensis* (Thunb.) Andersson установлено, что наименее устойчивым в культуре является бело-пестрый сорт 'Variegatus', а сорта с желто-пестрой окраской листьев ('Zebrinus', 'Strictus', 'Little Zebra') характеризуются большей устойчивостью и стабильностью. При этом для всех пестролистных представителей данного

вида (в условиях средней полосы России) характерно отсутствие ряда фенологических фаз – цветения и плодоношения.

В настоящее время актуальным является изучение адаптивного потенциала представителей группы вариегатных растений, что связано с наличием у них существенных различий по степени устойчивости в культуре [Mable, 2019]. Так, были проведены исследования по сравнительной оценке роста и развития, а также изучению экологической пластичности трех вариегатных представителей рода *Hosta*: *H. undulata* (Otto & A.Dietr.) L.H. Bailey и двух его разновидностей – *H. undulata* var. *univittata* (Miq.) Nyl. и *H. undulata* var. *albomarginata* F. Mack. [Воронина и др., 2021]. На данном этапе работы установлено, что наиболее стабильными показателями роста листьев и содержания в них фотосинтетических пигментов в течение всего периода вегетации характеризуется *H. undulata* var. *univittata*. Это позволило сделать вывод о ее высоком адаптивном потенциале и рекомендовать для массового городского озеленения.

В рамках представленной работы выборка вариегатных растений из коллекционного фонда лаборатории декоративных растений изучена по принадлежности к эколого-фитоценотическим группам, регионам-донорам, жизненным формам, систематическому статусу природных видов-родоначальников, использованных при создании форм с вариегатной окраской листьев. Обобщение полученной информации позволяет детализировать интродукционный прогноз и оптимизировать алгоритм поиска и мобилизации образцов, новых для коллекционного фонда лаборатории декоративных растений ГБС РАН.

При анализе полученных данных (рис. 1) можно сделать вывод о том, что в составе исследуемой выборки большинство вариегатных форм получено на основе лесных видов (27.8%); луговые, а также виды, приуроченные как к лесным, так и к луговому сообществам, – представлены меньшим количеством наименований (по 16.7%). При этом виды-родоначальники вариегатных форм и сортов, экологически приуроченные к степям, горным склонам и осыпям, а также к прибрежным сообществам, представлены единичными образцами. Можно отметить, что в рамках исследуемой выборки вариегатные формы и сорта, полученные на основе лесных и большей части луговых видов, оказались устойчивыми в условиях культуры.

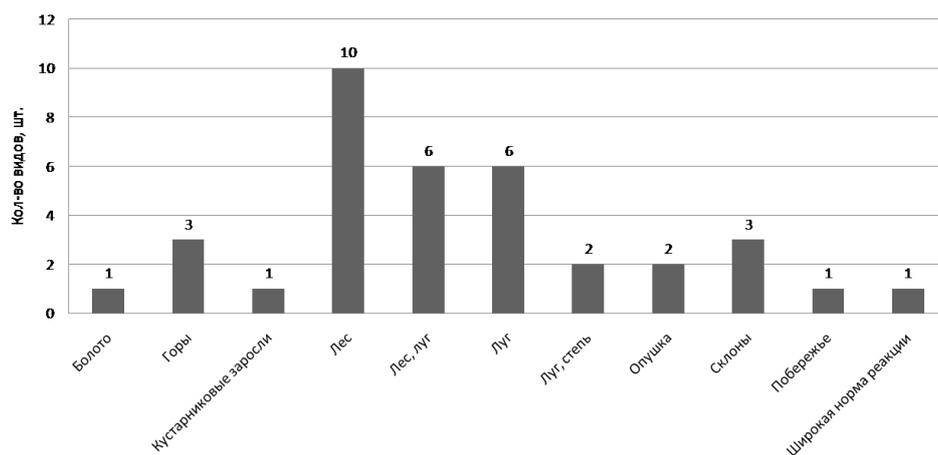


Рис. 1. Распределение видов-родоначальников изучаемых вариегатных форм и сортов по эколого-фитоценотическим группам

[Distribution of ancestral species of the studied variegated forms and varieties by ecological groups]

В спектре жизненных форм на основе классификации, предложенной И.Г. Серебряковым [1964], доминируют короткокорневищные, кистеконовые и длиннокорневищные травянистые поликарпики (рис. 2). Данные жизненные формы преобладают среди травянистых поликарпических видов лесных и луговых сообществ.

При анализе устойчивости вариегатных форм и сортов отмечено, что группа длиннокорневищных травянистых поликарпиков визуально обладает высоким адаптивным потенциалом по сравнению с другими жизненными формами.

В рамках исследования был проведен анализ распределения видов-родоначальников, на основе которых отобраны формы и сорта с вариегатной окраской листьев, по регионам-донорам. Было установлено, что в составе современного коллекционного фонда лаборатории декоративных растений ГБС РАН в целом отсутствует доминирование какого-либо региона (рис. 3).

Как уже было указано выше, наличие цветной окраски листовых пластинок – важный декоративный признак, по которому в настоящее время проходит отбор новых культиваров. Большое значение имеет характер распределения образцов с вариегатной окраской листьев среди всего спектра разноокрашенных форм и сортов. В ранее проведенном исследовании по изучению цветнолистных образцов в коллекциях

ГБС РАН [Бондорина и др., 2018] было выявлено 272 наименования растений, относящихся к 55 родам и 23 семействам. В рамках текущего исследования был проведен анализ распределения вариегатных форм и сортов в различных семействах, для которых ранее было отмечено наличие цветнолистных образцов. По результатам анализа можно отметить, что изучаемый тип окрашивания листовой пластинки растений в составе современного коллекционного фонда лаборатории декоративных растений ГБС РАН является преобладающим (рис. 4). Он отмечен практически во всех исследуемых семействах, за исключением *Raeonaceae*, *Geraniaceae*, *Primulaceae* (для представителей данных семейств характерен другой тип окраски листовой пластинки). При этом наибольшее разнообразие вариегатных форм относится к семейству *Poaceae* (17% – 6 образцов), 14% – 5 образцов входит в семейство *Asparagaceae*, по 3 образца (8%) входят в состав семейств *Asteraceae* и *Lamiaceae*. Для остальных семейств характерна единичная встречаемость вариегатных форм.

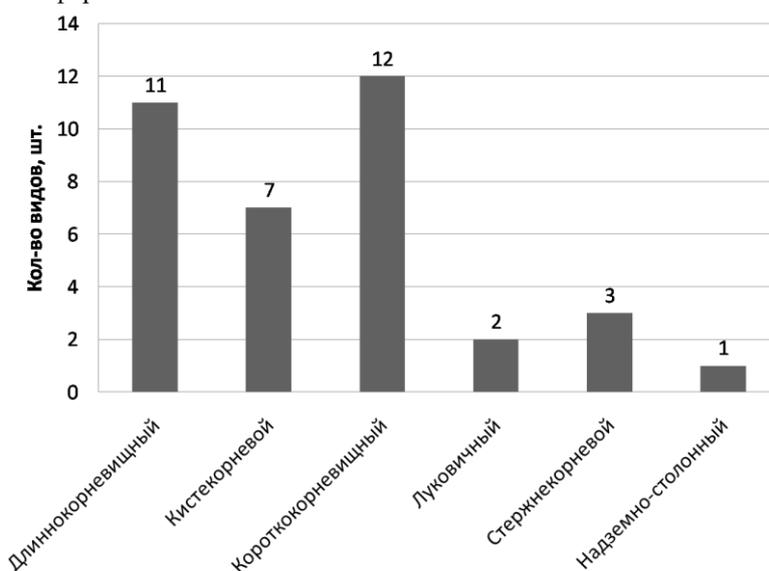


Рис. 2. Распределение исследуемых вариегатных образцов по жизненным формам  
[Distribution of the studied variegated samples by life forms]

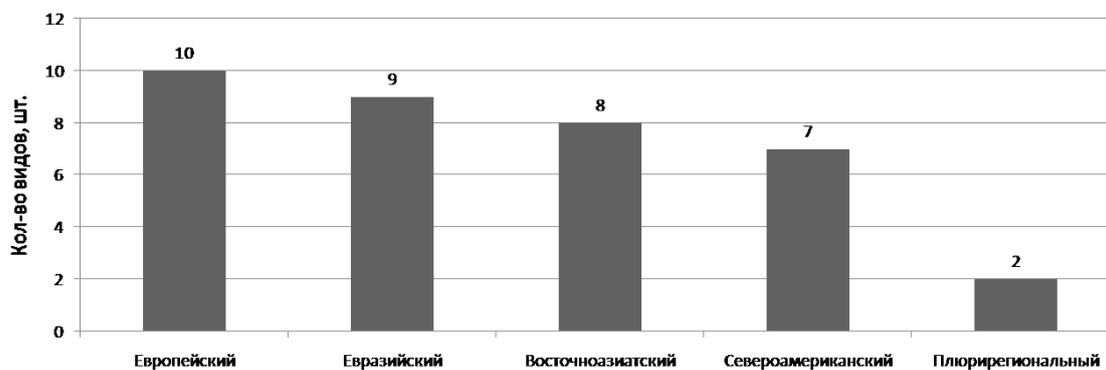


Рис. 3. Распределение видов-родоначальников изучаемых вариегатных форм и сортов по регионам-донорам  
[Distribution of the ancestral species of the studied variegated forms and cultivars by region]

Одним из направлений научно-исследовательской работы также является оценка адаптивного потенциала вариегатных форм из состава коллекций лаборатории декоративных растений, осуществленная на основе визуальной оценки жизненного состояния исследуемых образцов и особенностей их культивирования. Для ее реализации на основе результатов многолетних полевых наблюдений, разработан вариант оценки растений по трем параметрам с градацией баллов от 0 до 2. Используются следующие показатели:

\*особенности вегетативного разрастания:

- 0 – отсутствие;
- 1 – слабое, по сравнению с исходным видом;
- 2 – идентичное с исходным видом;

\*прохождение фенологических фаз:

- 0 – неполное (исследуемые растения не цветут и не образуют семян);
- 1 – исследуемые образцы цветут, но не образуют семян;
- 2 – растения проходят все фенологические фазы;

\*долговечность в культуре:

- 0 – растение неустойчиво, быстро выпадает из коллекции;
- 1 – растение средней устойчивости, в отличие от исходного природного вида, в стрессовых условиях (жара, бесснежные зимы, избыток влаги в почве, недостаток суммы активных температур и т.д.) может не сохраняться в коллекции;
- 2 – устойчивость такая же, как и у исходного вида.

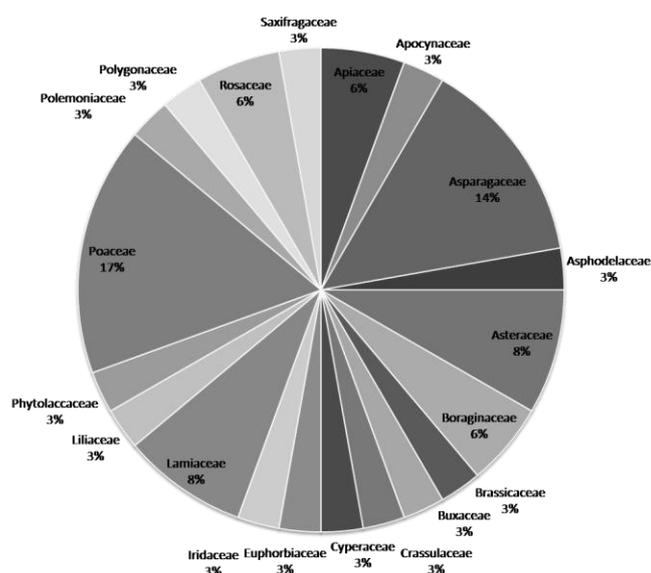


Рис. 4. Представленность семейств, содержащих формы с вариегатной окраской листовых пластинок

[Representation of families containing forms with variegated coloration of leaf blades]

Результаты оценки выборки декоративных травянистых растений с вариегатной окраской листовых пластинок из состава коллекций лаборатории декоративных растений по некоторым компонентам адаптивного потенциала приведены в таблице.

#### Оценка адаптивного потенциала исследуемых интродуцентов

[Assessment of the adaptive potential of the studied introducers]

Наименование растения	Особенности разрастания	Особенности прохождения фенологических фаз	Жизнеспособность	Итого	Сохранение вариегатной окраски листовой пластинки в течение сезона
<i>Aegopodium podagraria</i> L. 'Variegata'	1	1	2	4	да
<i>Arabis procurrens</i> Waldst. & Kit. 'Variegata'	1	2	1	4	да
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl 'Variegatum'	2	2	2	6	нет
<i>Astrantia major</i> L. 'Variegata'	2	2	2	6	да
<i>Brunnera macrophylla</i> (Adams) I.M.Johnst. (copra)	1	2	2	5	да
<i>Camassia leichtlinii</i> (Baker) S.Watson 'Sacajawea'	1	2	1	4	да
<i>Carex morrowii</i> Boott 'Variegata'	2	1	2	5	да
<i>Convallaria majalis</i> L. 'Albostriata'	2	2	2	6	да

Наименование растения	Особенности разрастания	Особенности прохождения фенологических фаз	Жизнеспособность	Итого	Сохранение вариегатной окраски листовой пластинки в течение сезона
<i>Euphorbia polychroma</i> Kern. (= <i>E. epithymoides</i> L.) 'Variegata'	1	2	2	5	да
<i>Fallopia japonica</i> (Houtt.) Ronse Decr. (= <i>Reynoutria japonica</i> Houtt.) 'Variegata'	1	2	1	4	да
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim. 'Variegata'	1	2	1	4	да
<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb. 'Variegata'	2	2	2	6	да
<i>Heliopsis scabra</i> Dunal (= <i>H. helianthoides</i> var. <i>scabra</i> (Dunal) Fernald) 'Variegata'	1	2	1	4	да
<i>Hemerocallis fulva</i> f. <i>variegata</i> (Manning) Makino	2	1	2	5	да (возможно расхимирование)
<i>Hosta x hybrida</i> hort. (сорта)	2	2	2	6	да
<i>Iris pseudacorus</i> L. 'Variegata'	2	2	2	6	нет
<i>Lamium maculatum</i> L. 'Variegata'	2	2	2	6	да
<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh. 'Variegata'	1	2	2	5	да
<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson (сорта)	1	0	1	2	да
<i>Molinia caerulea</i> Moench 'Variegata'	2	2	2	6	да
<i>Pachysandra terminalis</i> Siebold & Zucc. 'Variegata'	1	0	2	3	да
<i>Petasites japonicus</i> (Siebold & Zucc.) Maxim. 'Variegata'	1	1	2	4	да
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert (= <i>Phalaris arundinacea</i> L.) (сорта)	2	2	2	6	да
<i>Phlox paniculata</i> L. 'Elizabeth'	1	2	1	4	да
<i>Physostegia virginiana</i> Benth. 'Variegata'	1	1	1	3	да
<i>Phytolacca americana</i> L. 'Variegata'	1	2	1	4	да
<i>Pulmonaria rubra</i> Schott (на примере 'David Ward')	2	2	2	6	да
<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce 'Variegatum'	2	2	2	6	да
<i>Pulmonaria saccharata</i> Mill. (сорта)	2	2	2	6	да
<i>Sanguisorba menziesii</i> Rydb. 'Dali Marble'	1	1	2	4	да
<i>Saxifraga umbrosa</i> L. 'Variegata'	2	2	2	6	да
<i>Sedum kamtschaticum</i> Fisch. & C.A.Mey. (= <i>Phedimus kamtschaticus</i> (Fisch. & C.A.Mey.)) 'Variegatum'	1	2	2	5	да
<i>Solidago flexicaulis</i> var. <i>latifolia</i> (L.) Pursh (= <i>S. flexicaulis</i> L.) 'Variegata'	1	1	2	4	да
<i>Spartina pectinata</i> Bosc ex Link 'Variegata'	2	2	1	5	да
<i>Tulipa x hybrida</i> hort. (сорта)	1	2	2	5	да
<i>Vinca minor</i> L. 'Variegata'	2	2	2	6	да

Таким образом, все исследуемые вариегатные интродуценты по сумме баллов разделены на 3 категории, отличающиеся по степени проявления составляющих адаптивного потенциала:

1. Устойчивые – сумма баллов – 6 (41.6% – 15 наименований от объема изученной выборки). Представители этой группы стабильны и долговечны в культуре, особенности их роста и развития соответствуют исходному виду. Визуального угнетения ростовых процессов из-за уменьшения площади зеленой части листовых пластинок не обнаружено.

2. Средне устойчивые – сумма баллов 4–5 (50.0% – 18 наименований). Представители этой группы способны длительное время сохраняться в составе коллекционного фонда (в условиях средней полосы России). Однако их показатели роста и развития уступают природным видам-родоначальникам.

3. Слабо устойчивые – сумма баллов – 2–3 (8.4% – 3 наименования). Представители этой группы могут существовать в коллекциях при условии наличия высокого уровня агротехники, отличающегося от культивирования исходных природных видов. Визуально отмечено угнетение роста (по сравнению с видами-родоначальниками), наблюдается замедление сроков прохождения и даже отсутствие ряда фенологических фаз.

## Выводы

По результатам представленной работы для изученной выборки многолетних травянистых растений с вариегатной окраской листьев можно сделать следующие выводы:

1. Выявлено, что большинство представленных в коллекционном фонде вариегатных форм и сортов получены на основе природных видов, приуроченных к лесным и луговым сообществам. Культивары, полученные на их основе, являются наиболее устойчивыми в условиях культуры.

2. Установлено, что группа длиннокорневищных травянистых поликарпиков визуально обладает высоким адаптивным потенциалом по сравнению с другими жизненными формами.

3. На основе визуального анализа предложен и апробирован вариант оценки адаптивного потенциала (по результатам многолетних полевых экспериментов) вариегатных интродуцентов. Обобщение полученной информации позволяет детализировать интродукционный прогноз и оптимизировать алгоритм поиска и мобилизации материала новых для коллекционного фонда образцов.

4. Рекомендовано при введении в массовое городское озеленение вариегатных растений использовать в качестве одного из критериев оценку адаптивного потенциала. При этом рекомендуемый балл адаптивности должен быть не ниже 5.

## Список источников

1. Безделев А.Б., Безделева Т.А. Жизненные формы семенных растений Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 296 с.
2. Бондорина И.А. и др. Растения с декоративной окраской листьев в составе коллекций ОДР ГБС РАН // Лесной вестник. 2018. Т. 22, № 2. С. 41–46. doi: 10.18698/2542-1468-2018-2-41-46.
3. Воронина О.Е. и др. Сравнение продукционных показателей *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey и сортов *Mediovariegata* и *Univittata*, полученных на ее основе // Бюллетень Главного ботанического сада. 2021. № 1. С. 24–29.
4. Русанов Ф.Н. Новые методы интродукции растений // Бюллетень Главного ботанического сада. 1950. Вып. 7. С. 27–36.
5. Рысин Л.П. Конспект лесной флоры средней полосы Русской равнины (сосудистые растения). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 177 с.
6. Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 146–205.
7. Трулевич Н.В. Эколого-фитоценологические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 213 с.
8. Bondorina I.A. et al. Collection Fund of the Laboratory of Ornamental Plants of the Tsitsin Main Botanical Garden: Historical Overview and Current State // Moscow University Biological Sciences Bulletin. 2020. Vol. 75(2). P. 83–88. doi: 10.3103/S0096392520020017.
9. Chen M.C.-M. et al. Chlorophyllase activity in green and non-green tissues of variegated plants // South African Journal of Botany. 2012. Vol. 81. P. 44–49. doi: 10.1016/j.sajb.2012.04.004.
10. Houtman R. Variegated trees and shrubs: the illustrated encyclopedia. Portland: Timber Press, 2004. 338 p.
11. Konoplyova A., Petropoulou Y., Yiotis C. The fine structure and photosynthetic cost of structural leaf variegation // Flora – Morphology Distribution Functional Ecology of Plants. 2007. Vol. 203(8). P. 653–662. doi: 10.1016/j.flora.2007.10.007.
12. Lev-Yadun S. et al. Colour patterns in vegetative parts of plants deserve more attention // Trends Plant. Sci. 2002. Vol. 7(2). P. 59–60. doi: 10.1016/s1360-1385(01)02190-2.
13. Liu N. et al. Anthocyanins of the genus of *Hosta* and their impacts on tepal colors // Scientia Horticulturae. 2013. Vol. 150. P. 172–180. doi: 10.1016/j.scienta.2012.10.030.
14. Mable B.K. Conservation of adaptive potential and functional diversity: integrating old and new approaches // Conservation Genetics. 2019. Vol. 20 (1). P. 89–100. doi: 10.1007/s10592-018-1129-9.

15. Mareri L., Cai G., Parrota L. Environmental Stress and Plants // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23(10). P. 5416. doi: 10.3390/ijms23105416.
16. Primary floras. URL: <http://efloras.org/> (дата обращения: 05.02.2023).
17. Roccaa N., Rascioa N., Pupillob P. Variegation in *Arum italicum* leaves. A structural-functional study // *Plant Physiology and Biochemistry*. Vol. 49(12). P. 1392–1398. doi: 10.1016/j.plaphy.2011.09.009.
18. Schipper J., Rovero F. Effective biodiversity assessment and monitoring // *Encyclopedia of the Anthropocene*. 2017. P. 297–304. doi: 10.1016/B978-0-12-809665-9.09844-X.
19. World Flora. URL: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0001014991> (дата обращения: 29.12.2022).
20. Zhang J.-H. et al. Cytological and transcriptomic analysis provide insights into the formation of variegated leaves in *Ilex × altaclerensis* ‘Belgica Aurea’ // *Plants (Basel)*. 2021. Vol. 10(3). P. 552. doi: 10.3390/plants10030552.
21. Zhang Q. et al. Composition of photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics in green and yellow sectors of the variegated *Aucuba japonica* ‘Variegata’ leaves // *Flora*. 2017. Vol. 240. P. 25–33. doi: 10.1016/j.flora.2017.12.010.
22. Zykova V.K., Klimenko Z.K., Zubkova N.V. The Nikita Botanical Gardens ornamental plants collections biodiversity extension // *Acta Horticulturae*. 2021. Vol. 1324. P. 137–142. doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1324.21.

## References

1. Bezdelev A.B., Bezdeleva T.A. *Žiznennyye formy semennykh rasteniy Dal'nego Vostoka* [Life forms of seed plants of the Far East]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2006. 296 p. (In Russ.).
2. Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Ryabceva A.A., Hohlicheva Yu.A. [Plants with decorative leaf coloring as part of the collections of the department of ornamental plants, Tsisin Main Botanical Garden. Russia Academy of Sciences]. *Forestry Bulletin*. V. 22, No 2 (2018): pp. 41–46. doi: 10.18698/2542-1468-2018-2-41-46. (In Russ.).
3. Voronina O.E., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Hohlicheva Yu.A. [Comparison of production indicators of *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey and cultivars Mediovariegata and Univittata obtained on its basis]. *Bjulleten' Glavnogo botaničeskogo sada*. No 1 (2021): pp. 24–29. (In Russ.).
4. Rusanov F.N. [New methods of plant introduction]. *Bjulleten' Glavnogo botaničeskogo sada*. Iss. 7 (1950): pp. 27–36. (In Russ.).
5. Rysin L.P. *Konspekt lesnoj flory srednej polosity Russkoj ravniny (sosudistyje rastenija)* [Summary of the forest flora of the middle zone of the Russian plain (vascular plants)]. Moscow, Tovarischestvo nauchnykh izdanij KMK Publ., 2009. 177 p. (In Russ.).
6. Serebryakov I.G. [Life forms of higher plants and their study]. *Polevaja geobotanika* [Field geobotany]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1964, V. 3, pp. 146–205. (In Russ.).
7. Trulevich N.V. *Ekologo-fitoceničeskie osnovy introdukcii rastenij* [Ecological and phytocenotic bases of plant introduction]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 213 p. (In Russ.).
8. Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva J.A. Collection Fund of the Laboratory of Ornamental Plants of the Tsisin Main Botanical Garden: Historical Overview and Current State. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. V. 75, No 2 (2020): pp. 83–88. doi: 10.3103/S0096392520020017.
9. Chen M.C.-M., Chao P.-Y., Huang M.-Y., Yang J.-H., Yang Z.-W., Lin K.-H., Yang C.-M. Chlorophyllase activity in green and non-green tissues of variegated plants. *South African Journal of Botany*. V. 81 (2012): p. 44–49. doi: 10.1016/j.sajb.2012.04.004.
10. Houtman R. *Variegated trees and shrubs: the illustrated encyclopedia*. Portland, Timber Press, 2004. 338 p.
11. Konoplyova A., Petropoulou Y., Yiotis C. The fine structure and photosynthetic cost of structural leaf variegation. *Flora – Morphology Distribution Functional Ecology of Plants*. V. 203, No 8 (2007): pp. 653–662. doi: 10.1016/j.flora.2007.10.007.
12. Lev-Yadun, S. Inbar M, Izhaki I, Ne èman G., Dafni A. Colour patterns in vegetative parts of plants deserve more attention. *Trends Plant. Sci*. V. 7, No 2 (2002): pp. 59–60. doi: 10.1016/s1360-1385(01)02190-2.
13. Liu N., Sun G., Xu Y., Luo Z., Lin Q., Li X., Zhang J., Wang L. Anthocyanins of the genus *Hosta* and their impacts on tepal colors. *Scientia Horticulturae*. V. 150 (2013): pp. 172–180. doi: 10.1016/j.scienta.2012.10.030.
14. Mable B.K. Conservation of adaptive potential and functional diversity: integrating old and new approaches. *Conservation Genetics*. V. 20, No 1 (2019): pp. 89–100. doi: 10.1007/s10592-018-1129-9.
15. Mareri L., Cai G., Parrota L. Environmental Stress and Plants. *International Journal of Molecular Sciences*. V. 23, No 10 (2022): p. 5416. doi: 10.3390/ijms23105416.
16. Primary floras. Available at: <http://efloras.org/> (accessed 05.02.2023).
17. Roccaa N., Rascioa N., Pupillob P. Variegation in *Arum italicum* leaves. A structural-functional study. *Plant Physiology and Biochemistry*. V. 49, No 12 (2011): pp. 1392–1398. doi: 10.1016/j.plaphy.2011.09.009.

18. Schipper J., Rovero F. Effective biodiversity assessment and monitoring. *Encyclopedia of the Anthropocene*. V. 3 (2017): pp. 297-304.
19. World Flora. Available at: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0001014991> (accessed 29.12.2022).
20. Zhang J.-H., Huang J., Zhou P., Hao M., Zhang M. Cytological and transcriptomic analysis provide insights into the formation of variegated leaves in *Ilex × altaclerensis* ‘Belgica Aurea’ // *Plants (Basel)*. V. 10, No 3 (2021): p. 552. doi: 10.3390/plants10030552.
21. Zhang Q., Zhang M., Ding Y., Zhou P., Fang Y. Composition of photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics in green and yellow sectors of the variegated *Aucuba japonica* ‘Variegata’ leaves. *Flora*. V. 240 (2017): pp. 25-33. doi: 10.1016/j.flora.2017.12.010.
22. Zyкова V.K., Klimenko Z.K., Zubkova N.V. The Nikita Botanical Gardens ornamental plants collections biodiversity extension. *Acta Horticulturae*. V. 1324 (2021): pp. 137-142. doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1324.21.

Статья поступила в редакцию 16.03.2023; одобрена после рецензирования 24.04.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 16.03.2023; approved after reviewing 24.04.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

А. В. Кабанов – канд. биол. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией декоративных растений ГБС РАН;  
Ю. А. Хохлачева – канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории декоративных растений ГБС РАН.

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

A. V. Kabanov – candidate of biology, senior researcher, head of the Laboratory of ornamental plants, Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences;  
Ju. A. Khokhalcheva – candidate of agriculture, senior researcher in the Laboratory of ornamental plants, Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences.

#### **Вклад авторов:**

Кабанов А. В. – проведение исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

Хохлачева Ю. А. – проведение исследования; написание исходного текста; итоговые выводы; доработка текста.

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

Kabanov A. V. – conducting research; writing the draft; final conclusions.

Khokhalcheva Ju. A. – conducting research; writing the draft; final conclusions; followon revision of the text.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

## БОТАНИКА

Научная статья

УДК 58.072(470.53)

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-121-132

### Инвазительные сосновые насаждения ООПТ Закамский бор (г. Пермь)

Наталья Александровна Молганова<sup>1✉</sup>, Сергей Александрович Овеснов<sup>2</sup>

<sup>1✉</sup> Пермский государственный аграрно-технологический университет им. акад. Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия, molganova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2266-2887>

<sup>2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, OvesnovSA@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2230-4457>

**Аннотация.** В ходе маршрутного изучения биоразнообразия растений особо охраняемой природной территории (ООПТ) Закамский бор, расположенной на территории г. Перми, было найдено 17 видов чужеродных растений. В лесные сообщества Закамского бора проникали только 7 чужеродных видов; из них только два (*Acer negundo* L. и *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch.) имели высокую встречаемость. В местах массового вторжения данных инвазионных видов визуально определялись наиболее типичные участки их внедрения, на которых заложены 18 пробных площадок, где по общепринятым методикам были проведены геоботанические описания. Размер пробных площадок составлял 10×10 м. В их пределах выявлен видовой состав ярусов лесной экосистемы и вертикальная структура. Учтены сомкнутость крон древостоя, общее проективное покрытие (в процентах) напочвенного покрова и проективное обилие отдельных видов по шкале Ж. Браун-Бланке. В изученных сообществах *Acer negundo* имеет невысокое обилие. Таким образом, можно сделать общий вывод, что бедные песчаные и супесчаные почвы ООПТ мало пригодны для его массовых инвазий. Этот вид, благодаря широкой экологической пластичности, в подобных условиях способен проникать только в сильно нарушенные экотонные сообщества, но не может конкурировать с местными видами в глубине массивов Закамского бора. *Amelanchier spicata* распространена в ООПТ более широко. Мешают распространению вида только заболоченные условия, а также высокая густота подростка и подлеска. В Северной Америке вид нередко произрастает в сосновых лесах на песках, поэтому в характерных для него местообитаниях способен глубоко заходить в лесные массивы и конкурировать там с видами подлеска и подростка (*Sorbus aucuparia*, *Betula pendula*, *Padus avium*, *Picea × fennica*). Приведены списки видов инвазительных сообществ, предложены мероприятия, препятствующие распространению инвазионных видов.

**Ключевые слова:** *Acer negundo*, *Amelanchier spicata*, сосновые леса, особо охраняемая природная территория, Пермь

**Для цитирования:** Молганова Н. А., Овеснов С. А. Инвазительные сосновые насаждения ООПТ Закамский бор (г. Пермь) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 121–132. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-121-132>.

**Благодарности:** авторы признательны Андрею Геннадиевичу Безгодову за помощь в определении мхов.

## BOTANY

Original article

### Invasive pine plantations of Zakamsky Bor protected area (Perm)

Natalia A. Molganova<sup>1✉</sup>, Sergey A. Ovesnov<sup>2</sup>

<sup>1✉</sup> Perm State agricultural and technological University, Perm, Russia, molganova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2266-2887>

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

**Abstract.** During the route study of plant biodiversity in a specially protected natural area (SPNA) Zakamsky pine forest, located on the territory of Perm, 17 species of alien plants were found. Only 7 alien species penetrated into the forest communities of the Zakamsky forest; only two of them (*Acer negundo* L. and *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch.) had a high rate of occurrence. In the places of mass invasion of these invasive species, the most typical areas of their introduction were visually determined; 18 test sites were established in these areas,

where geobotanical descriptions were carried out according to generally accepted methods. The size of the test sites was 10×10 m. Within their boundaries, the species composition of the tiers of the forest ecosystem and the vertical structure are revealed. The crown density of the stand, the total projective coverage (as a percentage) of the ground cover and the projective abundance of individual species were assessed on the Brown-Blank scale and taken into account. In the studied communities, *Acer negundo* has a low abundance. Thus, we can draw a general conclusion that poor sandy and sandy loam soils of protected areas are not suitable for its mass invasions. This species, due to its wide ecological plasticity, in such conditions is able to penetrate only into severely disturbed ecotonic communities, but cannot compete with local species in the depths of the Zakamsky Forest stand. More often, *Acer negundo* is introduced into middle-aged or mixed-age plantings. *Amelanchier spicata* is more widely distributed in protected areas. Only swampy conditions, as well as high density of undergrowth and brushwood prevent the spread of the species. In North America, the species often grows in pine forests on sandy soils, so in its characteristic habitats it is able to go deep into woodlands and compete there with species of undergrowth (*Sorbus aucuparia*, *Betula pendula*, *Padus avium*, *Picea × fennica*). Measures preventing the spread of invasive species are proposed.

**Keywords:** *Acer negundo*, *Amelanchier spicata*, pine forests, specially protected natural area, Perm

**For citation:** Molganova N. A., Ovesnov S. A. [Invasive pine plantations of Zakamsky Bor protected area (Perm)]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 121-132. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-121-132>.

**Acknowledgments:** the authors are grateful to Andrey G. Bezgodov for his help in identifying mosses.

Одной из наиболее существенных и злободневных экологических проблем в урбанизированных условиях является биологическое загрязнение природных экосистем. Внедрение чужеродных видов на рудеральные (существенно нарушенные) местообитания мало сказывается на экологической устойчивости городской среды, тогда как вторжение в малонарушенные городские лесные экосистемы может повлечь за собой существенные последствия. Каждое сообщество обладает инвазивностью – определенной способностью в силу различных причин принимать в состав чужеродные виды [Elton, 1958; Davis, Grime, Thompson, 2000].

Сосновые леса находятся на втором месте среди хвойных в Пермском крае и занимают 21.5% всей площади хвойных лесонасаждений [Лесной план..., 2018]. Площадь сосновых насаждений Пермского городского лесничества составляет 5482.4 га, то есть 15.9% от земель, покрытых лесной растительностью [Об утверждении ..., 2022]. Возобновление сосны в высокополнотных и среднеполнотных сосняках часто оценивается как недостаточное [Балаканова, 2016; Козлова, Леонтьев, 2019], за исключением пирогенного подроста [Ткаченко, 1923; Сукачев, 1938; Баранник, Заблоцкий, 1999]. Таким образом, внедрение в нижние ярусы лесонасаждения чужеродных древесных видов может впоследствии привести к смене сосновых экосистем на вторичные низкопродуктивные сообщества, сложенные нежелательными инвазионными видами.

Цель работы – выявление сосновых сообществ, наиболее подверженных внедрению инвазионных (*Acer negundo*, *Amelanchier spicata*) видов.

## Объекты и методы

Объектом исследования стали сосновые лесные экосистемы ООПТ Закамский бор, образованного решением Пермского облисполкома от 28.04.1981 г. № 81 [Особо охраняемые ..., 2012]. Закамский бор расположен на I–II надпойменных террасах на правом берегу р. Камы. Сосновые древостои занимают 87% площади ООПТ [Об утверждении ..., 2022] и приурочены к дерново-сильно, а иногда среднеподзолистым почвам на древнеаллювиальных песках или супесях [Валиуллина, 2007; Еремченко, Шестаков, Москвина, 2016].

Первые геоботанические исследования данной территории проведены А.А. Генкелем и А.Н. Пономаревым в 1930-е гг. [Генкель, Пономарев, 1940]. Они выявили в зоне флювиально-эолового рельефа на дюнных повышениях лишайниковые боры (*Pinetum cladinosum*) и осоковые пустоши, а на более влажных местах в межгрядных понижениях и на плоско-грядном рельефе – сухие лишайниково-зеленомошные боры (*P. cl.-hurposum*), боры зеленомошники брусничники (*P. vassipiosum*), мертвопокровные зеленомошные (гишновые) боры (*P. hurposum*). В последующем масштабное изучение растительности Закамского бора проведено в 1990-х гг. Т.П. Белковской, А.Г. Шарафутдиновой, Л.Ф. Гафиевой [1994]. В ходе исследования было зафиксировано исчезновение лишайниковых боров и олуговение напочвенного покрова сосняков. На территории возник новый синтаксон – сосняк вейниково-коротконожковый.

Нами в 2022 г. на территории Закамского бора обнаружено 17 чужеродных видов, общий характер распространения которых обусловлен степенью нарушенности местообитания, близостью крупных автомагистралей и полян, а также густотой сети лесных дорог, троп и минерализованных полос [Молганова, Овеснов, Шабалин, 2022].

В рамках данной работы в 2022 г. было изучено ценогическое видовое разнообразие инвазивных

сосновых лесных экосистем ООПТ Закамский бор, склонных к внедрению *Acer negundo* L. и *Amelanchier spicata* (Lam.) С. Koch.

В ходе маршрутного исследования, которое охватывало преимущественно кварталы 58, 64, 65, 70, 71, 72 к югу от дороги Дружбы, были выявлены места массового вторжения данных инвазионных видов. Визуально определены наиболее типичные участки их внедрения, на которых заложены 18 пробных площадок, где по общепринятым методикам [Методика ..., 1938; Корчагин, 1964; Понятовская, 1964; Ипатов, Мирин, 2008] были проведены геоботанические описания. Размер пробных площадок составлял 10×10 м. В их пределах выявлен видовой состав ярусов лесной экосистемы и вертикальная структура. Большая часть видов была определена в полевых условиях; при необходимости растения гербаризировались по общепринятой методике [Скворцов, 1977], и их видовая принадлежность установлена по литературным источникам [Иллюстрированный ..., 2007; Флора мхов России, 2017, 2020, 2022]. Учены со- мкнутость крон древостоя, общее проективное покрытие (в процентах) напочвенного покрова и проек- тивное обилие отдельных видов по шкале Ж. Браун-Бланке. Поскольку сосновые экосистемы контину- альны и не формируют четко разграниченные типы [Василевич, 1962], в результате исследования выяв- лена та часть континуума, которая наиболее склонна к инвазиям. Наиболее действенным в условиях вы- сокой антропогенной нагрузки, значительного участия чужеродных и луговых видов оказался доминант- ный подход при выявлении растительных ассоциаций. Они выделялись на основе сходства доминантов всех ярусов лесной экосистемы, общности её структуры, с учетом ядра сопряженных видов. В работе представлена сводная таблица с полными списками видов, обнаруженных на пробных площадках. Уро- вень различия растительных сообществ вычислялся исходя из общности видовых составов с учетом оби- лия видов как Евклидово расстояние между описаниями [Василевич, 1969] по формуле

$$D_{12} = \sum_{j=1}^n (x_{j1} - x_{j2})^2,$$

где  $D_{12}$  – расстояние между сообществами 1 и 2,  $x_{j1}$  – обилие  $j$  вида в сообществе 1,  $x_{j2}$  – обилие  $j$  вида в сообществе 2.

## Результаты и их обсуждение

На изученной территории по площади преобладали сухие сосняки (*Pinus sylvestris*) В2, А2 иногда с примесью *Betula pendula* до 2 единиц в составе древостоя и *Picea × fennica* в подлеске. На более влажных участках к сосне в древостоях примешивалась *Picea × fennica*. Узкой полосой вдоль кварталов 65, 72, 71, 81 тянется череда низинных болот и заболоченных сосновых и березовых лесов (*Betula pubescens*). Дан- ные экосистемы не подвержены внедрению инвазионных видов, поэтому закладка пробных площадок в них не проводилась. В переходной зоне к болотам примыкают сосняки с березой и елью в составе древо- стоя. На изученной территории вторжение инвазионных видов наблюдалось только в высоко бонитетные (в основном I и II, редко III) сосновые леса от 4 до 7 классов возраста с сомкнутостью крон 0.5–0.6.

В лесные сообщества Закамского бора проникали только 7 чужеродных видов из 17 [Молганова, Овеснов, Шабалин, 2022]. Самыми распространенными из них были *Acer negundo* и *Amelanchier spicata*. Кроме них, в сосновых экосистемах встречались *Padus maackii*, *Convallaria majalis*, *Grossularia uva- crispa*, *Spiraea salicifolia* и *Cotoneaster lucidus* Schlecht. Остальные 10 чужеродных видов росли только по опушкам, полянам, обочинам дорог и не заходили в лесные сообщества. Списки видов по геоботаниче- ским описаниям, сделанным в сосняках, представлены в табл. 1.

В наиболее инвазибильных сосновых экосистемах на пробных площадках было обнаружено 133 вида высших растений (табл. 1). В древостое лесных сообществ, склонных к вторжению *Amelanchier spicata* и *Acer negundo*, представлен только 1 вид: *Pinus sylvestris*; в подросте – 3 вида: *Picea × fennica*, *Betula pendula*, *Populus tremula*; в подлеске – 20 видов кустарников и деревьев, не являющихся лесообразующи- ми в Пермском крае, а также 6 лесообразующих видов, не способных образовать древостой в данных экологических условиях: *Betula pubescens*, *B. × aurata*, *Alnus incana*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Ulmus laevis*; в травяно-кустарничковом ярусе – 94, а в мохово-лишайниковом – 9 видов.

Таблица 1

**Видовой состав и обилие видов в исследованных сообществах**  
[Species composition and abundance of species in the studied communities]

Название вида	Обилие видов по шкале Ж. Браун-Бланке на пробных площадках номер																		Постоянство вида, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<i>Древостой</i>																			
<i>Pinus sylvestris</i> L.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	100.0
<i>Подрост и подлесок</i>																			
<i>Picea × fennica</i> (Regel) Kom.	+	1	r	+	r	1	r	+	+	+	–	1	1	2	3	1	–	+	88.9

Название вида	Обилие видов по шкале Ж. Браун-Бланке на пробных площадках номер																		Постоянство вида, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) C. Koch	1	+	+	r	r	+	r	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	83.3
<i>Acer negundo</i> L.	+	+	+	-	-	-	-	-	+	r	1	1	+	1	+	+	-	-	61.1
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	61.1
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz.) Klá- skova	+	-	+	+	+	+	+	1	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	61.1
<i>Rubus idaeus</i> L.	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	1	+	+	2	+	+	61.1
<i>Sorbus aucuparia</i> L. s. str.	3	2	1	1	2	2	+	1	3	1	-	2	-	+	-	1	1	1	44.4
<i>Populus tremula</i> L.	+	-	+	+	-	-	+	-	1	r	-	-	-	-	-	-	-	-	33.3
<i>Salix caprea</i> L.	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	33.3
<i>Betula pendula</i> Roth	-	-	-	+	-	-	-	1	-	r	1	-	+	-	-	-	-	-	27.8
<i>Frangula alnus</i> Mill.	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	r	-	-	-	-	+	22.2
<i>Padus avium</i> Mill.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	22.2
<i>Salix aurita</i> L.	r	-	r	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	1	-	-	22.2
<i>Malus sylvestris</i> Mill.	-	-	-	-	-	-	r	+	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	16.7
<i>Padus maackii</i> (Rupr.) Kom.	+	-	-	-	-	-	-	-	r	+	-	-	-	-	-	-	-	-	16.7
<i>Betula</i> × <i>aurata</i> Borkh.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	11.1
<i>Juniperus communis</i> L.	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	11.1
<i>Lonicera xylosteum</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	11.1
<i>Rosa majalis</i> Herrm.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	+	-	-	-	-	11.1
<i>Salix phylicifolia</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	1						11.1
<i>Viburnum opulus</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	11.1
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1	5.6
<i>Corylus avellana</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Grossularia uva-crispa</i> (L.) Mill.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	5.6
<i>Quercus robur</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	5.6
<i>Salix bebbiana</i> Sarg.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	5.6
<i>Spiraea salicifolia</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	5.6
<i>Tilia cordata</i> Mill.	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	5.6
<i>Травяно-кустарничковый ярус</i>																			
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	2	3	-	2	1	1	+	-	1	1	+1	2	-	+	-	2	+	+	77.8
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	3	2	2	+	2	2	+	+	+	1	-	-	-	+	-	-	1	+	72.2
<i>Melampyrum pratense</i> L.	-	1	-	+	+	+	+	1	+	+	+	1	-	-	+	+	+	-	72.2
<i>Fragaria vesca</i> L.	1	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	1	1	+	+	+	+	-	66.7
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	61.1
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs	-	r	-	-	+	+	-	-	1	+	-	-	+	+	+	+	-	1	55.6
<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce	+	+	-	-	r	+	-	1	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	55.6
<i>Linnaea borealis</i> L.	+	-	-	+	2	+	+	-	+	-	-	+1	-	-	-	-	+	+	50.0
<i>Solidago virgaurea</i> L.	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	44.4
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	+	-	-	-	-	-	-	1	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	38.9
<i>Rubus saxatilis</i> L.	+	+	-	1	-	+	-	-	+	-	-	-	1	+	-	-	-	-	38.9
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	2	-	-	2	+	1	-	-	-	1	+	-	-	-	-	-	-	1	38.9
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	r	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	33.3
<i>Viola canina</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	r-1	+	-	-	+	+	-	-	33.3
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	27.8
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	27.8
<i>Trientalis europaea</i> L.	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	1	-	-	-	-	+	27.8
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	r	27.8

Название вида	Обилие видов по шкале Ж. Браун-Бланке на пробных площадках номер																		Постоянство вида, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<i>Vicia sepium</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	+	+	+	+	-	-	-	27.8
<i>Asarum europaeum</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	22.2
<i>Galium boreale</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	22.2
<i>Hypericum perforatum</i> L.	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	22.2
<i>Melica nutans</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	22.2
<i>Veronica officinalis</i> L.		1	1	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.2
<i>Viola selkirkii</i> Pursh ex Goldie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	r	-	-	+	+	-	-	22.2
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	1	+	-	-	-	-	-	-	16.7
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng.	-	+	-	-	-	-	-	1	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	16.7
<i>Galium mollugo</i> L. s. l.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	16.7
<i>Hieracium pilosella</i> L.	+		-	-	-	-	-	+	-		-	-	-	-	-	-	+	-	16.7
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	16.7
<i>Oxalis acetosella</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	+	+	-	-	-	-	16.7
<i>Pyrola chlorantha</i> Sw.	-	1	-	-	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	16.7
<i>Thalictrum minus</i> L. s. l.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	16.7
<i>Urtica galeopsifolia</i> Wierzb. ex Opiz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+		+	-	-	16.7
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2		1-2	-	-	11.1
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	11.1
<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W.Barton	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.1
<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A. Gray	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	11.1
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	r	-	-	11.1
<i>Epilobium collinum</i> C.C. Gmel.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	11.1
<i>Festuca rubra</i> L.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	11.1
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	11.1
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	11.1
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	11.1
<i>Lycopodium complanatum</i> L.	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.1
<i>Paris quadrifolia</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	r	-	-	-	11.1
<i>Poa palustris</i> L.	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.1
<i>Prunella vulgaris</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+		-	-	11.1
<i>Trifolium repens</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+-r	-	-	-	-	+	-	11.1
<i>Actaea spicata</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	5.6
<i>Ajuga reptans</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Astragalus arenarius</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	5.6
<i>Calamagrostis obtusata</i> Trin.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Campanula rotundifolia</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poir.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Carex leporina</i> L.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Carex rhizina</i> Blytt ex Lindbl.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r+	-	-	5.6
<i>Centaurea scabiosa</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Cerastium holosteoides</i> Fries	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6

Название вида	Обилие видов по шкале Ж. Браун-Бланке на пробных площадках номер																		Постоянство вида, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Chelidonium majus</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	5.6
<i>Convallaria majalis</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5.6
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Equisetum hyemale</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	5.6
<i>Erigeron acris</i> L. s. l.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5.6
<i>Galium palustre</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	5.6
<i>Geum rivale</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	5.6
<i>Hypericum maculatum</i> Crantz	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	5.6
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Lysimachia nummularia</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5.6
<i>Pimpinella saxifraga</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Plantago major</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5.6
<i>Poa nemoralis</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Potentilla argentea</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5.6
<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Pyrola media</i> Sw.	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Pyrola minor</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Ribes nigrum</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	5.6
<i>Rumex acetosella</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5.6
<i>Sambucus sibirica</i> Nakai	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	5.6
<i>Senecio vulgaris</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	5.6
<i>Silene nutans</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Stellaria graminea</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	5.6
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	5.6
<i>Trommsdorfia maculata</i> (L.) Bernh.	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Urtica dioica</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	5.6
<i>Veronica spicata</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Vicia cracca</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Viola mirabilis</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	5.6
<i>Viola</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	5.6
<i>Viscaria vulgaris</i> Bernh.	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6
<i>Мохово-лишайниковый ярус</i>																			
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	4	4	4	3	3	3	5	4	3	1	+	1	-	-	1	-	+	77.8	
<i>Dicranum polysetum</i> Sw.	-	1	-	+	1	+	1	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	38.9	
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	+	1	+	-	+	-	1	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	38.9	
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B. S. G.	-	1	1	1	-	-	1	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	33.3	
<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.	+	1	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.7	
<i>Brachythecium salebrosum</i> (Web. et Mohr) B.S.G.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	11.1	
<i>Hylocomiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Ochyra & Stebel	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	11.1	

Название вида	Обилие видов по шкале Ж. Браун-Бланке на пробных площадках номер																		Постоянство вида, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<i>Cirriphyllum piliferum</i> (Hedw.) Grout	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	5.6
<i>Climacium dendroides</i> (Hedw.) Web. et Mohr	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	5.6

По уровню постоянства виды подразделены на классы: I – вид встречается на 1–20% площадок; II – 21–40%; III – 41–60%; IV – 61–80%; V – 81–100% [Голованов, Абрамова, 2012]. На рисунке 1 отражено соотношение видов по уровню постоянства в разных ярусах сообщества. Из нижних ярусов лесного сообщества чрезвычайно высокое постоянство (V класс) характерно для *Picea × fennica* и *Amelanchier spicata*. В сухих местообитаниях *P. × fennica* относится к подлеску, а на более влажных, свежих и богатых почвах имеет потенциал выйти в древостой. *Amelanchier spicata* – чужеродный вид, в Пермском крае проникает во разнообразные типы местообитаний и известна в культуре с начала XX в. [Сюзев, 1912]. Часто совместно с наиболее распространенными инвазионными видами произрастают виды IV класса постоянства: *Betula pubescens*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Rubus idaeus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Calamagrostis arundinacea*, *Melampyrum pratense*, *Fragaria vesca*, *Luzula pilosa*, *Pleurozium schreberi*.

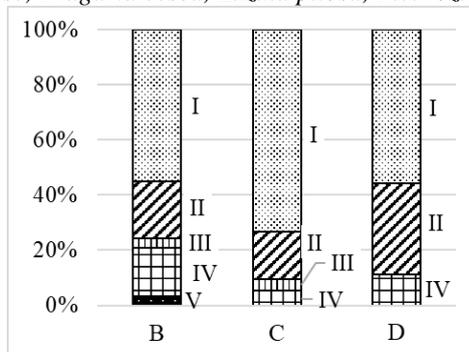


Рис. 1. Распределение видов по встречаемости в нижних ярусах сообществ: в подросте и подлеске (В), травяно-кустарничковом (С) и мохово-лишайниковом (D)

[Distribution of species by occurrence in the lower tiers of communities: in the forest and undergrowth (B), grass-shrub (C) and moss-lichen (D)]

На территории Закамского бора *Amelanchier spicata* и *Acer negundo* проникали в сосняки вейниково-брусничные, зеленомошные, неморальнотравные, кисличные и мелкопапоротниковые (табл. 2).

Таблица 2

**Инвазильные сообщества сосновых насаждений ООПТ Закамский бор**  
**[Invasive communities of pine communities of Zakamsky bor protected areas]**

Тип сообщества	Растительные ассоциации	Номера описаний, инвазионный вид
Вейниково-брусничный	<i>Pinus sylvestris</i> – <i>Sorbus aucuparia</i> – <i>Calamagrostis arundinacea</i> – <i>Pleurozium schreberi</i> ; <i>Pinus sylvestris</i> – <i>Sorbus aucuparia</i> – <i>Vaccinium vitis-idaea</i> + <i>Calamagrostis arundinacea</i> – <i>Pleurozium schreberi</i> ; <i>Pinus sylvestris</i> – <i>Sorbus aucuparia</i> – <i>Calamagrostis arundinacea</i> + <i>Linnaea borealis</i> – <i>Pleurozium schreberi</i>	1–3 ( <i>A. negundo</i> , <i>A. spicata</i> ), 4–6 ( <i>A. spicata</i> )
Зеленомошный	<i>Pinus sylvestris</i> – <i>Pleurozium schreberi</i> <i>Pinus sylvestris</i> – <i>Sorbus aucuparia</i> – <i>Brachythecium salebrosum</i>	7, 8 ( <i>A. spicata</i> ), 17 ( <i>A. negundo</i> , <i>A. spicata</i> )
Неморальнотравный	<i>Pinus sylvestris</i> – <i>Picea × fennica</i> – <i>Aegopodium podagraria</i> ; <i>Pinus sylvestris</i> – <i>Picea × fennica</i> – <i>Dryopteris dilatata</i> – <i>Pleurozium schreberi</i> ; <i>Pinus sylvestris</i> – <i>Rubus idaeus</i> + <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	14, 16 ( <i>A. negundo</i> , <i>A. spicata</i> ), 15 ( <i>A. negundo</i> , <i>A. spicata</i> )
Кисличный	<i>Pinus sylvestris</i> – <i>Sorbus aucuparia</i> – <i>Oxalis acetosella</i> – <i>Pleurozium schreberi</i>	9 ( <i>A. spicata</i> )
Мелкопапоротниковый	<i>Pinus sylvestris</i> – <i>Sorbus aucuparia</i> – <i>Dryopteris carthusiana</i> + <i>Vaccinium myrtillus</i> – <i>Pleurozium schreberi</i>	18 ( <i>A. spicata</i> )

По своеобразию видовых составов с учетом обилия видов [Василевич, 1969], инвазибельные сообщества довольно четко распались на 2 группы (рис. 2). В группу I попали сообщества с разреженным древостоем, расположенные на дюнном рельефе на территории северо-восточнее ул. Верхнекурьинская, произрастающие на сухих, бедных песчаных и супесчаных почвах. Там были представлены сосняки вейниково-зеленомошные, характерные для Пермского края. В эту же группу попали сильно нарушенные сообщества на границе лесных массивов или примыкающие к крупным полянам, с изреженным древостоем, обедненными почвами, имеющие в составе большую долю луговых видов. Это описания 7 и 8, представленные сосняками зеленомошными с низким общим проективным покрытием, и описание 9 с сосняком кисличным с *Picea × fennica* в подросте.

В группу II попали сосняки неморальнотравные (описания 14, 15, 16). Экосистемы на части из площадок (описания 10–13, 17) были сильно нарушенными, что проявлялось участием в травяно-кустарничковом ярусе опушечно-лугового разнотравья.

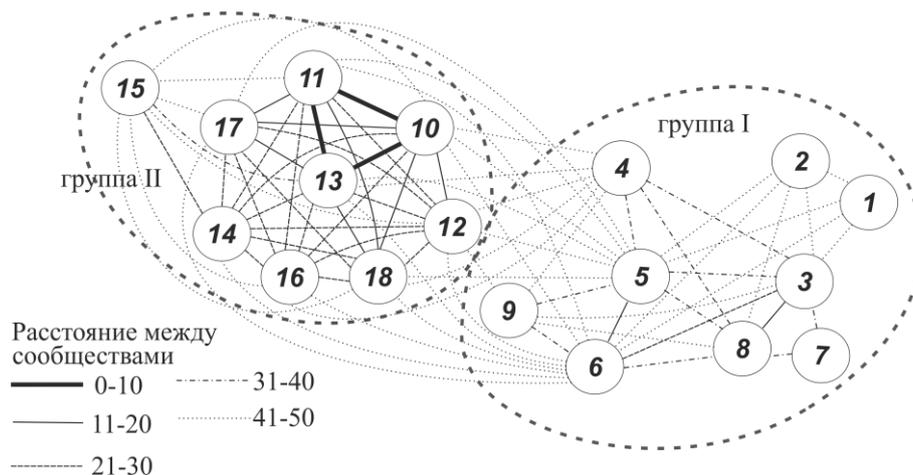


Рис. 2. Граф сходства инвазибельных сообществ по своеобразию видовых составов с учетом обилия видов [по В.И. Василевичу, 1969]

[Graph of the similarity of invasive communities by the originality of species compositions, taking into account the abundance of species, by V.I. Vasilevich, 1969]

Средние показатели по экологическим шкалам Д.Н. Цыганова [1983] с учетом обилия видов в изученных группах сообществ достоверно не отличаются (табл. 3). По шкале континентальности все сообщества характеризуются видами, имеющими центр диапазона толерантности в одной свите: материковая 2-я. Почва небогатая, о чем свидетельствует шкала солевого режима – все сообщества имеют видовой состав с центрами диапазонов толерантности в режиме небогатых почв (гликомезотрофная свита). Растения исследованных сообществ способны расти на бедных азотом почвах (геминитрофильная 1-я, геминитрофильная 2-я и субнитрофильная 1-я свиты). Растения, обнаруженные на пробных площадях, тяготеют к слабокислым и приближаются к кислым почвам (мезоацидофильная 2-я, субацидофильная 1-я свиты).

По уровню освещенности выявленные виды предпочитают светлые леса и тяготеют к полуоткрытым пространствам (светло-лесная и разреженнолесная свиты), кроме мелкопапоротникового сосняка (*Pinus sylvestris*–*Sorbus aucuparia*–*Dryopteris carthusiana*+*Vaccinium myrtillus*–*Pleurozium schreberi*), напочвенный покров которого попадает в густосветло-лесную свиту.

Обеспеченность растений водой устойчиво (константофильная 1-я и 2-я свиты) невысокая. Центры диапазонов толерантности по омброклиматической шкале – субгумидный режим и промежуточные к субаридному (семиаридная свита). Однако многие лесные виды напочвенного покрова могут расти при значительном увлажнении. Режимы увлажнения (Hd) по результатам анализа центров диапазонов толерантности влажно-лесолуговой и сыровато-лесолуговой. Данные режимы не характерны для сухих песчаных или супесчаных почв ООПТ Закамский бор. Это объясняется широкими диапазонами толерантности лесных видов, которые способны расти на сухих и сырых почвах. Средние величины верхних пределов диапазонов толерантности по пробным площадям с учетом обилия видов попадают в субболотную, болотную и болотно-лесолуговую свиты.

В изученных сообществах *Acer negundo* имеет невысокое обилие. Таким образом, можно сделать общий вывод, что бедные песчаные и супесчаные почвы ООПТ мало пригодны для массовых инвазий *Acer negundo*. Этот вид, благодаря широкой экологической пластичности [Морозова, Виноградова, 2018], в подобных условиях способен проникать только в сильно нарушенные экотонные сообщества (группа I),

но не может конкурировать с местными видами в глубине массивов Закамского бора. Чаще *Acer negundo* внедряется в средневозрастные или разновозрастные насаждения, в которых один элемент леса в возрасте 60–40 лет.

Таблица 3

**Типы экологических режимов и свит по шкалам Д.Н. Цыганова [1983] исследованных сообществ ООПТ Закамский бор**

[Types of ecological regimes and formations according to the scales of D.N. Tsyganov [1983] of the studied communities of the Zakamsky Bor protected area]

№ площадки	Свиты по экологическим шкалам									
	Tm	Kn	Om	Cr	Hd	Tr	Rc	Nt	fH	Lc
1	b+	M	E	N	f	M	c+	l	p+	M
2	b	M	E	N	f+	M	c+	k+	p+	M
3	b+	M	E	N	f	M	d	l	p+	g+
4	b	M	E	M+	f+	M	c+	l	p+	M
5	b	M	E	N	f+	M	c+	l	p+	M
6	b	M	E	N	f+	M	c+	l	p	M
7	b+	M	E	M+	f+	M	d	l	p	g+
8	b+	M	E	N	f	M	c+	l	p+	g+
9	b+	M	E	N	f+	M	c+	l	p	M
10	b	M	E	N	f+	M	c+	l	p	g+
11	b	M	E	M+	f	M	c+	l	p+	g+
12	b	M	E	N	f	M	c+	k+	p+	M
13	b	M	E	N	f+	M	c+	l	p+	g+
14	b+	M	E	N	f	M	d	l+	p+	g+
15	b+	M	E	N	f+	M	c+	l	p	M
16	b	M	E	N	f+	M	c+	l	p+	g+
17	b+	M	D+	N	f	M	d	l	p+	g+
18	b	M	E	N	f+	M	c+	l	p	M

Примечания: термоклиматическая шкала (Tm) суббореальная – b, бореонеморальная – b+; шкала континентальности (Kn) материковая 2-я – M; омброклиматическая (Om): субгумидная 1-я – E, семиаридная – D+; криоклиматическая (Cr): субкриотермальная 1-я – N, криотермальная 2-я – M+; шкала увлажнения почв (Hd): сыровато-лесолуговая – f+, влажно-лесолуговая – f; шкала солевого режима (Tr): гликомезотрофная – M; Шкала кислотности почв (Rc): мезоацидофильная 2-я – c+, субацидофильная 1-я – d; шкала богатства почв азотом (Nt): геминитрофильная 1-я – k+, геминитрофильная 2-я – l, субнитрофильная 1-я – l+; шкала переменности увлажнения почв (fH): константофильная 1-я – p, константофильная 2-я – p+; шкала освещенности-затенения (Lc): светло-лесная – M, разреженнолесная – g+.

*Amelanchier spicata* распространена в ООПТ более широко. Мешают распространению вида только заболоченные условия, а также высокая густота подроста и подлеска. В Северной Америке вид нередко произрастает в сосновых лесах на песках [Kabuce, Priede, 2010], поэтому в характерных для него местобитаниях способен глубоко заходить в лесные массивы и конкурировать там с видами подлеска (*Sorbus aucuparia*, *Betula pendula*, *Padus avium*, *Picea × fennica*).

### Заключение

*Amelanchier spicata* в Пермском крае на более богатых почвах может формировать отдельный ярус в сосняках и ельниках, образуя сосняки и ельники ирговые (*Pinus sylvestris–Amelanchier spicata*; *Picea × fennica–Amelanchier spicata*). Имеются данные, что подобные сообщества склонны к угнетению напочвенного покрова и формированию в конечном итоге мертвопокровных насаждений [Панасенко и др., 2012]. Однако *Amelanchier spicata* не способна конкурировать с лесообразующими видами в древостое в регионе, не создает угрозы для лесных насаждений Закамского бора. Кроме того, механическое удаление побегов может приводить к увеличению густоты *Amelanchier spicata* за счет порослевого размножения [Dobravolskaitė, 2010]. В связи с этим более рациональным будет не организовывать специальных мероприятий по регулированию численности вида, но вести наблюдения за лесонасаждениями с иргой.

В качестве мер борьбы с *Acer negundo* следует регулярно применять механические и химические методы уничтожения кленовников и отдельно стоящих плодоносящих экземпляров по внешним и внутренним опушкам лесных массивов. А впоследствии практиковать механическое истребление порослевых побегов на полянах, прогалинах в лесных массивах, на лесных дорогах. Регулярно опаживать минерализованные полосы, проводить прочистку лесных просек. По периферии лесного массива и вдоль крупных автомобильных дорог (дорога Дружбы и ул. Верхне-Курьинская) на полосе шириной 200 м производить корчевку и прополку растений *Acer negundo* вручную.

## Список источников

1. Балаканова А.Д. Оценка естественного возобновления сосновых насаждений рекреационного назначения ГНПП «Бурабай» // Вестник науки КАТУ им. С. Сейфуллина. 2016. № 2. С. 91–96.
2. Баранник Л.П., Заблоцкий В.И. Экологические проблемы восстановления ленточных боров после пожаров // Известия АлтГУ. 1999. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-vosstanovleniya-lentochnyh-borov-posle-pozharov> (дата обращения: 27.10.2022).
3. Белковская Т.П., Шарафутдинова А.Г., Гафиева Л.Ф. Состояние флоры и растительности памятника природы «Закамский бор» (по результатам инвентаризации 1991–1992 гг.) // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 1994. С. 66–80.
4. Валиулина Г.Ш. Песчаные покровы на территории Прикамья // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2007. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/peschanye-pokrovy-na-territorii-prikamya> (дата обращения: 27.10.2022).
5. Василевич В.И. Геоботанический анализ сосновых боров Европейской части СССР: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1962. 19 с.
6. Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. Л.: Наука, 1969. 232 с.
7. Генкель А.А., Пономарев А.Н. Ботанико-географические экскурсии в окрестностях г. Перми // Учен. зап. Перм. гос. пед. ин-та. 1940. Вып. 7. С. 3–102.
8. Голованов Я.М., Абрамова Л.М. Растительность города Салавата (Республика Башкортостан). II. Прибрежно-водная растительность (классы Phragmito-Magnocaricetea и Isoëto-Nanojuncetea) // Растительность России. 2012. № 20. С. 3–26.
9. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь, 2016. 252 с.
10. Иллюстрированный определитель растений Пермского края / под ред. С.А. Овеснова. Пермь: Кн. мир, 2007. 743 с.
11. Ипатов В.С., Мирин Д.М. Описание фитоценоза: метод. рекомендации. СПб., 2008. 71 с.
12. Козлова Н.Ю., Леонтьев Д.Ф. Геоботаническая характеристика подросто-подлесочного яруса в сосняках бассейна р. Олга // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 90. С. 88–97.
13. Корчагин А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 39–62.
14. Лесной план Пермского края на 2018–2027 годы (с изменениями по состоянию на 01.01.2021) (в ред. Указа губернатора Пермского края от 21.02.2022, № 18). Утвержден Указом губернатора Пермского края от 19.04.2018, № 36.
15. Методика полевых геоботанических исследований. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 216 с.
16. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.
17. Молганова Н.А., Овеснов С.А., Шабалин Г.А. Инвазионный процесс в лесных экосистемах ООПТ «Закамский бор» // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Пермь, 2022. С. 95–99.
18. Морозова О.В., Виноградова Ю.К. Асер negundo – Клен ясенелистный // Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. С. 72–78.
19. Об утверждении Лесохозяйственного регламента Пермского городского лесничества: Постановление Администрации г. Перми от 25 апр. 2022 г., № 312.
20. Особо охраняемые природные территории г. Перми / С.А. Бузмаков [и др.]. Пермь, 2012. 204 с.
21. Панасенко Н.Н. и др. Растения-трансформеры и их сообщества на территории Брянской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1–4. С. 1092–1095.
22. Понятовская В.М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 209–299.
23. Скворцов А.К. Гербарий: пособие по методике и технике. М.: Наука, 1977. 199 с.
24. Сукачев В.Н. История растительности СССР во время плейстоцена // Растительность СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. Т. 3. С. 183–234.
25. Сюзев П.В. Конспект флоры Урала в пределах Пермской губернии. М., 1912. 206 с.
26. Ткаченко М.Е. Задачи лесной политики на Севере // Сельское и лесное хозяйство Севера: доклад Совещанию по изуч. Севера при Рос. акад. наук в мае 1920 г. Петроград, 1923. С. 111–136.
27. Флора мхов России. Т. 2. Oedipodiales – Grimmiales / под ред. М.С. Игнатова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 560 с.
28. Флора мхов России. Т. 5. Hymenopterygiales – Hymeniales (Plagiotheciaceae – Brachytheciaceae) / под ред. М.С. Игнатова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2020. 600 с.
29. Флора мхов России. Т. 6. Hymeniales (Calliergonaceae – Amblystegiaceae) / под ред. М.С. Игнатова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2022. 472 с.
30. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 197 с.

31. Davis M.A., Grime J.P., Thompson K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility // *Journal of Ecology*. 2000. Vol. 88, Iss.3. P. 528–534.
32. Dobravolskaitė R. Distribution patterns and ecological effect of invasive alien species *Amelanchier spicata* on the semi-natural forest communities in Lithuania // XXIII Conference-Expedition of the Baltic Botanists. Abstracts & Excursion. Guides, 2010. P. 13.
33. Elton C.S. The ecology of invasions by animals and plants. Methuen; London, 1958. 181 p.
34. Kabuce N., Priede N. NOBANIS - Invasive Alien Species Fact Sheet - *Amelanchier spicata* // Online Database of the European Network on Invasive Alien Species - NOBANIS. 2010. URL: [www.nobanis.org](http://www.nobanis.org) (дата обращения: 06.07.2019).

## References

1. Balakanova A.D. [Assessment of the natural renewal of pine plantations for recreational purposes of the GNPP "Burbai"]. *Vestnik nauki KATU imeni S. Seifullina*. No 2 (2016): pp. 91-96. (In Russ.).
2. Barannik L.P., Zabolockij V.I. [Ecological problems of restoration of belt hogs after fires]. *Izvestija Alt-GU*. No 3 (1999). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-vosstanovleniya-lentochnyh-borov-posle-pozharov> (accessed 27.10.2022). (In Russ.).
3. Belkovskaya T.P., Sharafutdinova A.G., Gafieva L.F. [The state of flora and vegetation of the natural monument "Zakamsky Bor" (according to the results of the inventory of 1991-1992)]. *Voprosy fizičeskoj geografii i geoëkologii Urala* [Questions of physical geography and geoecology of the Urals]. Perm, 1994, pp. 66-80. (In Russ.).
4. Valiullina G.Sh. [Sandy covers on the territory of the Kama region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologija. Nauki o Zemle*. No 2 (2007). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/peschanye-pokrovy-na-territorii-prikamya> (accessed 27.10.2022). (In Russ.).
5. Vasilevich V.I. *Geobotaničeskij analiz sosnovykh borov Evropejskoj časti SSSR. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [Geobotanical analysis of pine forests of the European part of the USSR. Abstract Cand. Diss.]. Moscow, 1962. 19 p. (In Russ.).
6. Vasilevich V.I. *Statističeskie metody v geobotanike* [Statistical methods in geobotany]. Leningrad, Nauka Publ., 1969. 232 p. (In Russ.).
7. Genkel' A.A., Ponomarev A.N. [Botanical and geographical excursions in the vicinity of Perm]. *Učenyje zapiski Permskogo gosudarstvennogo pedagogičeskogo instituta*. Iss. 7 (1940): pp. 3-102. (In Russ.).
8. Golovanov Ja.M., Abramova L.M. [Vegetation of the city of Salavat (Republic of Bashkortostan). II. Coastal-aquatic vegetation (Phragmito-Madposagicetea and Isoëto-Nanojuncetea classes)]. *Rastitel'nost' Rossii*. No 20 (2012): pp. 3-26. (In Russ.).
9. Eremchenko O.Z., Shestakov I.E., Moskvina N.V. *Počvy i technogennye poverchnostnye obrazovanija urbanizirovannykh territorij Permskogo Priam'ja* [Soils and technogenic surface formations of urbanized territories of the Perm Kama region]. Perm, 2016. 252 p. (In Russ.).
10. Ovesnov S.A., ed. *Illjustrirovannyj opredelitel' rastenij Permskogo kraja* [Illustrated determinant of plants of the Perm Region]. Perm, Kniznyj mir Publ., 2007. 742 p. (In Russ.).
11. Ipatov V.S., Mirin D.M. *Opisanie fitocenoza* [Description of phytocenosis. Method. recommendations]. St-Peterburg, 2008. 71 p. (In Russ.).
12. Kozlova N.Ju., Leont'ev D.F. [Geobotanical characteristics of the adolescent-undergrowth layer in the pine forests of the Olkha River basin]. *Vestnik Irkutskoj gosudarstvennoj sel'skochozjajstvennoj akademii*. No 90 (2019): pp. 88-97. (In Russ.).
13. Korchagin A.A. [Species (floral) composition of plant communities and methods of its study]. *Polevaja geobotanika* [Field geobotany]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1964, V. 3, pp. 39-62. (In Russ.).
14. *Lesnoj plan Permskogo kraja na 2018-2027 gody* [Forest Plan of the Perm Region for 2018-2027 (with changes as of 01.01.2021) (ed. Decree of the Governor of the Perm Region dated 02/21/2022, No 18). Approved by the Decree of the Governor of the Perm Region dated 04/19/2018, No 36.]. (In Russ.).
15. *Metodika polevykh geobotaničeskich isskedovanij* [Methodology of field geobotanical research]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1938. 216 p. (In Russ.).
16. Mirkin B.M., Naumova L.G. *Nauka o rastitel'nosti* [Vegetation science (history and current state of the basic concepts)]. Ufa, Gilem Publ., 413 p. (In Russ.).
17. Molganova N.A., Ovesnov S.A., Shabalin G.A. [Invasive process in forest ecosystems of the protected area "Zakamsky Bor"]. *Agrotehnologii XXI veka. Strategii razvitiya, tehnologii i innovacii* [Agrotechnologies of the XXI century. Development strategy, technologies and innovations. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Perm, 2022, pp. 95-99. (In Russ.).
18. Morozova O.V., Vinogradova Ju.K. [Acer negundo – Ash maple]. *Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (TOP-100)* [The most dangerous invasive species in Russia (TOP 100)]. Moscow, RMR Publ., 2018, pp. 72-78. (In Russ.).
19. *Ob utverždenii Lesochozjajstvennogo reglamenta Permskogo gorodskogo lesničestva* [On the approval of the Forestry Regulations of the Perm City Forestry. Resolution of the Perm City Administration dated April 25, 2022, No 312]. (In Russ.).

20. Buzmakov S.A. et al. *Osobo ochranjaemye prirodnye territorii g. Permi* [Specially protected natural territories of the city of Perm]. Perm, 2012. 204 p. (In Russ.).
21. Panasenko N.N., Kharin A.V., Ivenkova I.M., Eliseenko E.P. [Transformer plants and their communities in the Bryansk region]. *Izvestija Samarskogo naučnogo centra RAN*. V. 14, No 1-4 (2012): pp. 1092-1095. (In Russ.).
22. Ponyatovskaya V.M. [Accounting for abundance and features of species placement in natural plant communities]. *Polevaja geobotanika* [Field geobotany]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1964, V. 3, pp. 209-299. (In Russ.).
23. Skvortsov A.K. *Gerbarij* [Herbarium. Manual of methodology and technique]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 199 p. (In Russ.).
24. Sukachev V.N. [The history of vegetation of the USSR during the Pleistocene]. *Rastitel'nost' SSSR* [Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1938, V. 3, pp. 183-234. (In Russ.).
25. Syuzev P.V. *Konspekt flory Urala v predelach Permskoj gubernii* [Summary of the flora of the Urals within the Perm province]. Moscow, 1912. 206 p. (In Russ.).
26. Tkachenko M.E. [Objectives of forest policy in the North]. *Sel'skoe i lesnoe chozjajstvo Severa* [Agriculture and forestry of the North. Report to the Study Meeting. Of the North at the Russian Academy of Sciences in May 1920.]. Petrograd, 1923, pp. 111-136. (In Russ.).
27. Ignatov M.S., ed. *Flora mchov Rossii* [Flora of mosses of Russia]. Moscow, KMK Publ., 2017. V. 2. Oedipodiales – Grimmiales. 560 p. (In Russ.).
28. Ignatov M.S., ed. *Flora mchov Rossii* [Flora of mosses of Russia]. Moscow, KMK Publ., 2020. V. 5. Hypopterygiales – Hypnales (Plagiotheciaceae – Brachytheciaceae). 600 p. (In Russ.).
29. Ignatov M.S., ed. *Flora mchov Rossii* [Flora of mosses of Russia]. Moscow, KMK Publ., 2017. V. 6. Hypnales (Calliergonaceae – Amblystegiaceae). 472 p. (In Russ.).
30. Tsyganov D.N. *Fitoindikacija ekologičeskich režimov v podzone chvojno-širokolistvennyh lesov* [Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-deciduous forests]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 197 p. (In Russ.).
31. Davis M.A., Grime J.P., Thompson K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility. *Journal of Ecology*. V. 88, Iss.3 (2000): pp. 528-534.
32. Dobravolskaitė R. Distribution patterns and ecological effect of invasive alien species *Amelanchier spicata* on the semi-natural forest communities in Lithuania. XXIII Conference-Expedition of the Baltic Botanists. Abstracts & Excursion. Guides, 2010, p. 13.
33. Elton C.S. The ecology of invasions by animals and plants. Methuen, London, 1958. 181 p.
34. Kabuce N., Priede N. NOBANIS - Invasive Alien Species Fact Sheet - *Amelanchier spicata*. Online Database of the European Network on Invasive Alien Species - NOBANIS. 2010. Available at: [www.nobanis.org](http://www.nobanis.org) (accessed 06.07.2019).

Статья поступила в редакцию 05.05.2023; одобрена после рецензирования 11.05.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 05.05.2023; approved after reviewing 11.05.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

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

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

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

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

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

#### **Вклад авторов:**

Молганова Н. А. – концепция исследования; полевые исследования; обработка материала; написание текста статьи; итоговые выводы.

Овеснов С. А. – концепция исследования; полевые исследования; редактирование текста статьи; итоговые выводы.

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

Molganova N. A. – research concept; field research; material processing; writing the text of the article; final conclusions.

Ovesnov S. A. – research concept; field research; editing of the text of the article; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

## БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.522.6:581.524.2:632.51

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-133-146

### Мониторинг миграционной активности растений между открытым и защищенным грунтом

Александр Николаевич Швецов<sup>1✉</sup>, Сергей Юрьевич Золкин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

<sup>1✉</sup> floramoscov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4018-8469>

<sup>2</sup> szolkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5180-8673>

**Аннотация.** В оранжерейных комплексах Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук, г. Москва (ГБС РАН) был организован с определенной периодичностью мониторинг миграционной активности спонтанно расселяющихся растений между открытым и защищенным грунтом. Актуальность этой работы заключается в идентификации видов, которые в силу своих адаптивных возможностей, агрессивного распространения и особенностей климата могут представлять потенциальную опасность как чужеродные таксоны. Всего вокруг всех оранжерей ГБС РАН (в пределах 15 м) было выявлено 174 вида из 123 родов растений открытого грунта, большинство из которых местные и адвентивные сорные растения. Только 32 вида из 28 родов растений открытого грунта были обнаружены на конструкциях оранжерей и ещё меньше попали в защищенный грунт – 24 вида из 22 родов. Только 4 вида растений защищенного грунта были обнаружены на наружных конструкциях оранжерей, причем 3 вида относятся к папоротникам. Единственное из них цветковое растение *Cymbalaria muralis* было многократно найдено как на наружных стенах и в щелях оранжерей, так и на расстоянии до 15 м от зданий оранжерей. В открытом грунте это растение образует популяции до нескольких десятков экземпляров, обильно цветет и завязывает плоды с жизнеспособными семенами, которые успешно перезимовывают в глубоких выемках стен или под пологом снега.

**Ключевые слова:** мониторинг, спонтанно расселяющиеся растения, чужеродные растения, сорняки, пространство, инвазия, оранжерея, открытый грунт, защищенный грунт, ботанический сад, флористический анализ, Москва

**Для цитирования:** Швецов А. Н., Золкин С. Ю. Мониторинг миграционной активности растений между открытым и защищенным грунтом // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 133–146. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-133-146>.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзадания ГБС РАН № 075-00745-22-01 по теме «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» (№ госрегистрации 122042700002-6) на базе УНУ «Фондовая оранжерея».

## BOTANY

Original article

### Monitoring of plant migration activity between open and protected ground

Alexander N. Shvetsov<sup>1✉</sup>, Sergei Yu. Zolkin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>1✉</sup> floramoscov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4018-8469>

<sup>2</sup> szolkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5180-8673>

**Abstract.** Monitoring of the migration activity of plants spontaneously dispersing between open and protected ground was organized with a certain frequency in greenhouse complexes of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS, Moscow). The relevance of this study is the identification of species that, due to their adaptive capabilities, aggressive distribution and climate warming, may pose a potential danger as alien taxa. A total of 174 species from 123 genera of open-ground plants were identified around all greenhouses of the MBG RAS (within 15 meters), most of which are local and alien weeds. Only 32 species from 28 genera of open-ground plants were found on the greenhouse basement and even fewer were found in the protected ground - 24 species from 22 genera. Only 4 species of plants of protected ground were found on the outside basement of greenhouses, and 3 species belong to ferns. The only flowering plant *Cymbalaria muralis*, was repeatedly found both on the outer walls and in the cracks of greenhouses, and at a distance of up to 15 meters from the greenhouse buildings. In the open

ground, this plant forms populations of up to several dozen specimens, blooms profusely and forms fruits with viable seeds that can successfully overwinter in deep recesses of walls, or under snow.

**Keywords:** monitoring, spontaneously dispersing plants, adventive plants, weeds, migration, invasion, greenhouse, open ground, protected ground, botanical garden, floristic analysis, Moscow

**For citation:** Shvetsov A. N., Zolkin S. Yu. [Monitoring of plant migration activity between open and protected ground]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 133-146. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-133-146>.

**Acknowledgments:** the work was carried out in accordance to Institutional research project № 122042700002-6 at the Unique Scientific Installation Fund Greenhouse.

## Введение

Изучение миграционной активности спонтанно расселяющихся растений между открытым и защищенным грунтом – это новая и перспективная задача. С одной стороны, выходят многочисленные научные работы, преимущественно флористического направления, по описанию чужеродных видов растений в естественных сообществах и урбанизированных территориях европейской части России, прежде всего с целью выявления наиболее агрессивных инвазионных таксонов [Виноградова, Майоров, Хорун, 2010; Сухоруков, Васюков, Кушунина, 2015]. С другой стороны, есть часть исследований, посвященных выявлению активно распространяющихся в защищенном грунте тропических и субтропических сорняков [Коломейцева, Цавкелова, Колобов, 2013]. И совсем мало работ, посвященных изучению возможности проникновения и приживаемости видов открытого грунта в защищенном грунте, и наоборот, возможности «бегства» оранжерейно-тепличных растений наружу в открытый грунт.

По-видимому, первое исследование по этому вопросу было проведено на базе оранжерей ботанического сада г. Лодзь (Польша), где было обнаружено 72 вида сорных сосудистых растений из 24 семейств, преимущественно попавших из открытого грунта и принадлежащих в основном к семейству *Asteraceae* [Wiśniewski, Asprou, 1974]. Более подробное исследование было проведено позже, через 25 лет, в пригороде Варшавы – Повсине, в теплицах ботанического сада Польской академии наук – центра по сохранению биологического разнообразия. Авторами работы [Galera, Ratynska, 1999] было отмечено 243 вида сосудистых сорных растений в 12 отделениях оранжереи, из которых большинство (147 видов) попали из открытого грунта, и только 89 видов – спонтанно расселяющиеся растения защищенного грунта. Такое обилие сорных видов открытого грунта авторы объясняют прежде всего непосредственным примыканием снаружи к теплицам многочисленных коллекций растений в ботаническом саду. Также авторы отмечают, что в теплицах размножают многие растения открытого грунта, и на зимний сезон также заносятся более теплолюбивые растения. Эти выводы частично подтверждаются и нашими исследованиями 2019–2020 гг. в Фондовой оранжерее и Фитотроне ГБС РАН [Золкин, Швецов, 2020a]. Из 24 видов открытого грунта, обнаруженных в оранжереях, больше всего – 21 вид – найдены в Фитотроне, поскольку в отличие от Фондовой оранжереи туда целенаправленно передаются растения с улицы для их доращивания, перезимовки и размножения. Поэтому многие сорные растения открытого грунта туда попадали с грунтом. Напротив, в теплицы Фондовой оранжереи с более строгим санитарным контролем, выявленные растения открытого грунта попадали в основном через открытые двери и фрамуги и выбраковывались раньше, чем мы могли это заметить. Поэтому в Фондовой оранжерее в малодоступных местах прорастали главным образом растения, переносимые ветром.

Следует отметить, что за последние десятилетия возросло число «южных» видов, постепенно акклиматизировавшихся в более холодных условиях. Например, ранее считавшиеся комнатными растениями *Duchesnea indica* (Andrews) Focke (сем. Rosaceae) и *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. (сем. Hydrangeaceae), были преднамеренно перенесены в цветники и сады, и с общим потеплением климата теперь стали нередки в открытом грунте Московской обл. (Золкин, Швецов, 2020a). Однако эти растения пока не являются инвазионными, в отличие от *Wolffia arrhiza*, активно размножающейся вегетативно и в последние 10–15 лет распространившейся в водоемах Москвы и Подмоскovie [Швецов, 2006; Завадский и др., 2008; Золкин, Швецов, 2020b]. Конечно, глобальное потепление климата влияет на способность в продвижении на север тропических и субтропических растений, но немалая роль в этом принадлежит и деятельности производственных организаций, связанных с импортом декоративных растений. Не столько сами растения, сколько семена и споры спонтанно расселяющихся более теплолюбивых таксонов проникают с грунтом. Некоторые из них, например, *Cardamine hirsuta*, за последние двадцать лет активно распространились как в защищенном грунте, так и в открытом.

Играют ли теплицы или оранжереи ботанических садов заметную роль в проникновении более теплолюбивых растений в открытый грунт? Тут мы имеем в виду не преднамеренный, а скорее спонтанный, случайный характер перенесения диаспор оранжерейных растений в силу их разных морфологических и экологических особенностей. И какие растения открытого грунта наиболее часто попадают в закрытый грунт? Также важным является вопрос – какие температурно-влажностные условия оранжерей более подходят для выживания и распространения в них растений открытого грунта?

Нами была поставлена цель организации мониторинга видового состава спонтанно расселяющихся растений между защищенным и открытым грунтом, динамики распространения и приживаемости таксонов в течение года и определение преимущественных направлений векторов распространения растений.

Были поставлены следующие задачи:

1. Фиксация видов открытого грунта, найденных в теплицах и оранжереях ГБС РАН, с указанием особенностей их расселения и прикрепления, обилия и встречаемости;
2. Фиксация видов открытого и защищенного грунта, найденных на внешних конструкциях оранжерей;
3. Флористический анализ разнообразия видов сосудистых растений открытого грунта в непосредственной близости от теплиц (до 15 м);
4. Выяснение способов переноса диаспор растений из/в оранжереи.

## Материалы и методы исследований

Исследования по выявлению спонтанно расселяющихся растений в защищенном грунте были проведены во всех действующих отделениях старой и новой фондовых оранжерей ГБС РАН, относящихся к лаборатории тропических растений (суммарная площадь под растениями 9 502 м<sup>2</sup>), в фитотроне лаборатории биотехнологии ГБС РАН (общая площадь под растениями 920 м<sup>2</sup>) и теплицах лаборатории декоративных растений (общая площадь под растениями 650 м<sup>2</sup>). В открытом грунте на расстоянии до 15 м от оранжерей и теплиц были отмечены все виды сосудистых растений – местные и заносные, в том числе попавшие из отделений оранжерей. В течение четырех лет (2019–2022) начиная с ранней весны (конец марта-начало апреля) и до поздней осени (середина ноября) осуществлялся поиск спонтанно расселяющихся растений защищенного грунта в открытом грунте. Соответственно, в оранжереях и теплицах поиск спонтанно расселяющихся растений, в том числе попавших из открытого грунта, осуществлялся в течение всего года, в том числе зимой. В коллекционных и производственных отделениях оранжерей на наличие спонтанно расселяющихся растений исследовались грунт под культивируемыми видами, горшки, стеллажное и подстеллажное пространство, основания откосов окон и подоконное пространство, стены и щели в бетонном полу, отдаленные периферийные углы.

Особое внимание было уделено осмотру различного рода углублений, щелей и трещин в кирпичной кладке, а также оснований оранжерей снаружи, чтобы не пропустить возможные убежища потенциальных видов защищенного грунта. Найденные спонтанно расселяющиеся растения были определены, сфотографированы, инвентаризированы по отделениям, названия таксонов проверены по международным базам данных [The Plant List; The International Plant Name Index]. Природные ареалы видов и их экология произрастания были уточнены по электронному источнику [GRIN Taxonomy for Plants]. Возможный инвазионный статус таксона проверен по международной обновляемой базе [Global Invasive Species Database].

Для целей исследования важным и не всегда однозначным считался вопрос о самопроизвольности произрастания или культивировании в прошлом ряда разросшихся в настоящее время видов растений. Это можно было выяснить по уточненным спискам видов растений в этих отделениях по картотекам или электронным базам данных, планом посадок в экспозиционных отделениях, а также опросом кураторов коллекций.

## Результаты и их обсуждение

Внутри оранжерей и теплиц всего было обнаружено 24 вида растений открытого грунта, относящихся к 22 родам из 16 семейств (табл. 1). Растений с одревесневающим стеблем найдено 4 вида. Апофит *Betula pendula* Roth. является наиболее активно спонтанно расселяющимся древесным растением. Её всходы и молодые растения найдены как в горшках, так и на стеллажах, в щелях пола и около фрамуг в оранжереях. Также ветром были принесены летучие семена осины *Populus tremula* L., которые проросли рядом с фрамугами в нескольких отделениях оранжерей. Единичный ювенильный экземпляр *Quercus robur* L., который пророс в горшке с представителем семейства *Orchidaceae*, попал в оранжерею с грунтом, собранным в лесу, или вместе со щепой. Из числа лесных древесных растений именно роща из дуба черешчатого ближе всего примыкает к одной из сторон здания фондовой оранжереи, с той же стороны иногда временно складывается привезенный грунт. В одном из отделений фитотрона найден единичный экземпляр *Parthenocissus inserta* (A. Kerner) Fritsch. Он рос на грунте, скопившемся в основании стен оранжереи – возможно, он попал туда через боковые щели здания.

Из травянистых растений открытого грунта больше всего в теплицах обнаружено представителей семейства *Asteraceae* – 5 видов, из которых три однолетника-двулетника – *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav., *Lapsana communis* L., *Sonchus oleraceus* L., и два многолетника – *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F.H. Wigg. (рис. 1) и *Tussilago farfara* L. В основном они попадают в оранжерею посредством прилета семян-летучек в теплое время года через фрамуги и открытые для лучшего проветривания двери. Тем не менее, наиболее распространенным спонтанно расселяющимся растением в теплицах является предста-

витель Brassicaceae – *Cardamine hirsuta* L., который активно расселяется как в тропических, так и субтропических теплицах. Это растение также было найдено на конструкциях оранжерей и снаружи в пределах 15 м от теплиц, но не в таких количествах, как внутри. Мы считаем, что в научных оранжереях миграция этого растения с помощью мелких рассеиваемых семян в настоящее время осуществляется в обоих направлениях (открытый грунт – теплица, и наоборот), но не так интенсивно, как в теплицах производственных компаний. Скорее всего, это растение первоначально попало в оранжереи через грунт с приобретенными для пополнения коллекции другими растениями. Из других травянистых растений открытого грунта обнаружены в горшках и на стеллажах 2 вида *Oxalis* L. – *O. debilis* Kunth var. *corymbosa* (DC.) Lourteig 'Aureoreticulata' и *O. stricta* L. Но число экземпляров этих видов значительно меньше, чем *Oxalis corniculata* L., спонтанно расселяющегося растения во всех отделениях оранжерей. Этот вид, происходящий из тропических и субтропических районов Юго-Восточной Азии, в настоящее время распространен по всему миру, в том числе, и в тепло-умеренных областях Европы [Verloove, 2006]. Отмечен этот вид и в открытом грунте в Москве и Московской обл. [Швецов, 2008]. Его появление, а главное, распространение, связано с активным завозом импортного посадочного материала. Продолжительность существования выявленных мест его произрастания невелика – от одного до нескольких сезонов. В настоящем исследовании этот вид нами был отмечен только внутри оранжерей, не замечен на наружных конструкциях зданий и вокруг них. Следующие три вида – *Epilobium pseudorubescens* A.K. Skvorts. (*Onagraceae*), *Chelidonium majus* L. (*Papaveraceae*), *Urtica dioica* L. (*Urticaceae*), так же, как и упомянутые выше представители *Asteraceae*, найдены не только в труднодоступных местах теплиц, но и в горшках. В оранжереях лаборатории декоративных растений нами были обнаружены два вида *Campanula* L – *C. alliarifolia* Willd. и *C. poscharskyana* Degen, которые вместе с третьим видом – *C. carpatica* Jacq. – культивировались в открытом грунте между теплицами.

Таблица 1

**Список сосудистых растений открытого грунта, найденных на расстоянии до 15 м от оранжерей, на их наружных конструкциях и в защищенном грунте (сортировка по семействам)**

**[List of vascular plants originating from open ground sites, found outside up to 15 meters from greenhouses, on their external structures, and in protected ground (sorted by families)]**

Вид	Семейство	До 15 м от оранж.	Констр. оранж.	Внутри оранж.*
<i>Sambucus nigra</i> L.	Adoxaceae	x	–	–
<i>Viburnum opulus</i> L.	Adoxaceae	x	–	–
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amaranthaceae	x	–	–
<i>Atriplex patula</i> L.	Amaranthaceae	x	–	–
<i>Chenopodium album</i> L.	Amaranthaceae	x	–	x (фит)
<i>Chenopodium polyspermum</i> L.	Amaranthaceae	x	–	–
<i>Chenopodium rubrum</i> L.	Amaranthaceae	x	–	–
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	Apiaceae	x	–	–
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	Apiaceae	x	–	–
<i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.	Apiaceae	x	x	–
<i>Lemna minor</i> L.	Araceae	–	–	x (фон.)
<i>Achillea millefolium</i> L.	Asteraceae	x	x	–
<i>Arctium tomentosum</i> Mill.	Asteraceae	x	–	–
<i>Artemisia absinthium</i> L.	Asteraceae	x	–	–
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Asteraceae	x	x	–
<i>Bellis perennis</i> L.	Asteraceae	x	–	–
<i>Bidens frondosa</i> L.	Asteraceae	x	–	–
<i>Cichorium intybus</i> L.	Asteraceae	x	–	–
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Asteraceae	x	–	–
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	Asteraceae	x	–	–
<i>Erigeron canadensis</i> L.	Asteraceae	x	–	–
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Asteraceae	x	–	–
<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	Asteraceae	x	–	x (фон., фит)
<i>Inula helenium</i> L.	Asteraceae	x	–	–
<i>Lactuca serriola</i> L.	Asteraceae	x	–	–

Вид	Семейство	До 15 м от оранж.	Констр. оранж.	Внутри оранж.*
<i>Lapsana communis</i> L.	Asteraceae	x	x	x (дек)
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	Asteraceae	x	—	—
<i>Matricaria matricarioides</i> (Less.) Porter	Asteraceae	x	—	—
<i>Matricaria perforata</i> Merat	Asteraceae	x	—	—
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort.	Asteraceae	x	—	—
<i>Pilosella officinarum</i> Vaill.	Asteraceae	x	x	—
<i>Senecio viscosus</i> L.	Asteraceae	x	—	—
<i>Senecio vulgaris</i> L.	Asteraceae	x	—	—
<i>Solidago canadensis</i> L.	Asteraceae	x	—	—
<i>Solidago serotinoidea</i> A. et D. Love	Asteraceae	x	—	—
<i>Sonchus arvensis</i> L.	Asteraceae	x	—	—
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Asteraceae	x	—	—
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Asteraceae	x	x	x (фит)
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	Asteraceae	x	x	x (фон., фит)
<i>Tussilago farfara</i> L.	Asteraceae	x	x	x (фон.)
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	Athyriaceae	x	—	—
<i>Impatiens parviflora</i> DC.	Balsaminaceae	x	x	—
<i>Betula pendula</i> Roth	Betulaceae	x	x	x (фон., фит)
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	Betulaceae	—	x	—
<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	Boraginaceae	x	—	—
<i>Myosotis sparsiflora</i> Pohl	Boraginaceae	x	x	—
<i>Alliaria petiolata</i> Cavara et Grande	Brassicaceae	x	—	—
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	Brassicaceae	x	—	—
<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.	Brassicaceae	x	—	—
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	Brassicaceae	x	—	—
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Brassicaceae	x	—	—
<i>Cardamine hirsuta</i> L.	Brassicaceae	x	x	x (фон., фит, дек)
<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	Brassicaceae	x	—	x (дек)
<i>Rorippa palustris</i> (L.) Bess.	Brassicaceae	x	—	—
<i>Sisymbrium officinale</i> (L.) Scop.	Brassicaceae	x	—	—
<i>Thlaspi arvense</i> L.	Brassicaceae	x	—	—
<i>Campanula rapunculoides</i> L.	Campanulaceae	x	—	—
<i>Campanula trachelium</i> L.	Campanulaceae	x	—	—
<i>Campanula alliarifolia</i> Willd.	Campanulaceae	x	x	x (дек)
<i>Campanula carpatica</i> Jacq.	Campanulaceae	x	x	—
<i>Campanula poscharskyana</i> Degen	Campanulaceae	x	x	x (дек)
<i>Humulus lupulus</i> L.	Cannabaceae	x	x	—
<i>Lonicera tatarica</i> L.	Caprifoliaceae	x	x	—
<i>Cerastium holosteoides</i> Fries	Caryophyllaceae	x	—	—
<i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv.	Caryophyllaceae	x	—	—
<i>Myosoton aquaticum</i> (L.) Moench	Caryophyllaceae	x	—	x (фит)
<i>Sagina procumbens</i> L.	Caryophyllaceae	x	—	—
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Caryophyllaceae	x	—	x (фит)
<i>Celastrus orbiculata</i> Thunb.	Celastraceae	x	—	—
<i>Euonymus europaea</i> L.	Celastraceae	x	—	—
<i>Tradescantia virginiana</i> L.	Commelinaceae	x	—	—
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	x	—	—
<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz	Cornaceae	x	—	—
<i>Sedum sexangulare</i> L.	Crassulaceae	x	—	—
<i>Sedum stoloniferum</i> S.G. Gmel.	Crassulaceae	x	—	—
<i>Sedum hispanicum</i> L.	Crassulaceae	x	—	—

Продолжение табл. 1

Вид	Семейство	До 15 м от оранж.	Констр. оранж.	Внутри оранж.*
<i>Sedum aizoon</i> L.	Crassulaceae	x	–	–
<i>Carex contigua</i> Hoppe	Cyperaceae	x	x	–
<i>Carex hirta</i> L.	Cyperaceae	x	–	–
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	Dryopteridaceae	x	x	–
<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. et Kit.	Euphorbiaceae	x	–	–
<i>Medicago lupulina</i> L.	Fabaceae	x	–	–
<i>Trifolium pratense</i> L.	Fabaceae	x	–	–
<i>Trifolium repens</i> L.	Fabaceae	x	–	–
<i>Vicia cracca</i> L.	Fabaceae	x	–	–
<i>Vicia hirsuta</i> (L.) S.F. Gray	Fabaceae	x	–	–
<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb.	Fabaceae	x	–	–
<i>Quercus robur</i> L.	Fagaceae	x	–	x (фон.)
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Hypericaceae	x	–	–
<i>Ajuga reptans</i> L.	Lamiaceae	x	–	–
<i>Galeopsis bifida</i> Boenn.	Lamiaceae	x	–	–
<i>Glechoma hederacea</i> L.	Lamiaceae	x	–	x (фит, дек)
<i>Lamium album</i> L.	Lamiaceae	x	–	–
<i>Lamium purpureum</i> L.	Lamiaceae	x	–	–
<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds.	Lamiaceae	x	x	–
<i>Origanum vulgare</i> L.	Lamiaceae	x	–	–
<i>Prunella vulgaris</i> L.	Lamiaceae	x	–	–
<i>Lythrum salicaria</i> L.	Lythraceae	x	–	–
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh.	Oleaceae	x	–	–
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Oleaceae	x	–	–
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	Onagraceae	x	x	–
<i>Circaea lutetiana</i> L.	Onagraceae	x	–	–
<i>Epilobium hirsutum</i> L.	Onagraceae	x	–	–
<i>Epilobium pseudorubescens</i> A. Skvorts.	Onagraceae	x	x	x (фит, дек)
<i>Oxalis debilis</i> var. <i>corymbosa</i> 'Aureoreticulata' Kunth (DC.) Lourteig	Oxalidaceae	–	–	x (фон.)
<i>Oxalis stricta</i> L.	Oxalidaceae	x	–	x (фон.)
<i>Chelidonium majus</i> L.	Papaveraceae	x	x	x (фит, дек)
<i>Fumaria officinalis</i> L.	Papaveraceae	x	–	–
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pinaceae	x	–	–
<i>Plantago major</i> L.	Plantaginaceae	x	–	–
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	Plantaginaceae	x	–	–
<i>Veronica filiformis</i> Smith	Plantaginaceae	x	–	–
<i>Veronica longifolia</i> L.	Plantaginaceae	x	–	–
<i>Veronica serpyllifolia</i> L.	Plantaginaceae	x	–	–
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Poaceae	x	–	–
<i>Bromus inermis</i> Leyss.	Poaceae	x	–	–
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	Poaceae	x	x	–
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	Poaceae	x	–	–
<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.	Poaceae	x	–	–
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	Poaceae	x	x	–
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	Poaceae	x	–	–
<i>Festuca rubra</i> L.	Poaceae	x	–	–
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert	Poaceae	x	–	–
<i>Phleum pratense</i> L.	Poaceae	x	–	–
<i>Poa annua</i> L.	Poaceae	x	–	x (фит)
<i>Poa compressa</i> L.	Poaceae	x	x	–
<i>Poa nemoralis</i> L.	Poaceae	x	–	–

Вид	Семейство	До 15 м от оранж.	Констр. оранж.	Внутри оранж.*
<i>Poa palustris</i> L.	Poaceae	x	–	–
<i>Poa pratensis</i> L.	Poaceae	x	–	–
<i>Poa trivialis</i> L.	Poaceae	x	–	–
<i>Polygonum convolvulus</i> L.	Polygonaceae	x	–	–
<i>Polygonum lapathifolium</i> L.	Polygonaceae	x	–	–
<i>Rumex crispus</i> L.	Polygonaceae	x	–	–
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	Polygonaceae	x	–	–
<i>Lysimachia nummularia</i> L.	Primulaceae	x	–	–
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	Primulaceae	x	–	–
<i>Actaea spicata</i> L.	Ranunculaceae	x	–	–
<i>Ficaria verna</i> Huds.	Ranunculaceae	x	–	–
<i>Ranunculus cassubicus</i> L.	Ranunculaceae	x	–	–
<i>Ranunculus repens</i> L.	Ranunculaceae	x	–	–
<i>Rhamnus cathartica</i> L.	Rhamnaceae	x	–	–
<i>Alchemilla vulgaris</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	Rosaceae	x	–	–
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	Rosaceae	x	–	–
<i>Fragaria vesca</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Geum macrophyllum</i> Willd.	Rosaceae	x	–	–
<i>Geum urbanum</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	Rosaceae	x	–	–
<i>Malus domestica</i> Borkh.	Rosaceae	x	–	–
<i>Padus avium</i> Mill.	Rosaceae	x	–	–
<i>Potentilla intermedia</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Potentilla norvegica</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Potentilla reptans</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Potentilla supina</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Rosa canina</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Rubus caesius</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Rubus idaeus</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Rosaceae	x	–	–
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	Rubiaceae	x	–	–
<i>Populus alba</i> L.	Salicaceae	x	–	–
<i>Populus laurifolia</i> Ledeb.	Salicaceae	x	x	–
<i>Populus tremula</i> L.	Salicaceae	x	–	x (фон., фит)
<i>Salix alba</i> L.	Salicaceae	x	–	–
<i>Salix caprea</i> L.	Salicaceae	x	x	–
<i>Salix cinerea</i> L.	Salicaceae	x	–	–
<i>Acer campestre</i> L.	Sapindaceae	x	–	–
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	Sapindaceae	x	–	–
<i>Acer negundo</i> L.	Sapindaceae	x	x	–
<i>Acer platanoides</i> L.	Sapindaceae	x	x	–
<i>Scrophularia nodosa</i> L.	Scrophulariaceae	x	–	–
<i>Verbascum thapsus</i> L.	Scrophulariaceae	x	–	–
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	Ulmaceae	x	–	–
<i>Urtica dioica</i> L.	Urticaceae	x	x	x (фон., фит)
<i>Viola odorata</i> L.	Violaceae	x	–	–
<i>Viola sororia</i> Willd.	Violaceae	x	–	–
<i>Parthenocissus inserta</i> Fritsch	Vitaceae	x	–	x (фит)
<i>Vitis amurensis</i> Rupr.	Vitaceae	x	–	–

Примечание. \* Растения открытого грунта, найденные в защищенном грунте оранжерей и теплиц ГБС РАН: фон. – старой и новой фондовой оранжереи лаборатории тропических растений, фит – фитотрона лаборатории биотехнологии, дек – теплиц лаборатории декоративных растений.



Рис. 1. *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F.H. Wigg. прорастает снаружи (А) и внутри (Б) оранжереи [*Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F.H. Wigg. grows outside (A) and inside (B) the greenhouse]

Среди растений защищенного грунта нами были выявлены таксоны, которые более активно, по сравнению с другими видами, спонтанно расселяются с помощью спор, семян или вегетативно. Всего мы идентифицировали 24 таких вида, относящихся к 19 родам из 18 семейств (табл. 2). Происходят они из тропиков, субтропиков и/или теплоумеренных областей земного шара. Согласно выдвинутой нами ранее классификации [Золкин, Швецов, 2020a], спонтанно расселяющиеся виды растений защищенного грунта могут быть отнесены к одной из трех групп по активности распространения, адаптации к условиям культивирования и способности к образованию устойчивых популяций. Растения, относимые нами к третьей группе, имеют ограниченное спонтанное расселение на небольшой площади в пределах 1–2 оранжерей с определенным режимом культивирования (тропический/субтропический), растущие на небольшом числе поверхностей и субстратов, имеющие ограниченное распространение и часто не образующие устойчивых новых популяций [Золкин, Швецов, 2020б]. В этом исследовании растения из третьей группы нами не были замечены в «поиске выхода из оранжерей». Из спонтанно расселяющихся растений второй группы, которые приспособлены в основном к одному режиму культивирования (тропический/субтропический), мы в этом исследовании отмечаем только те виды, которые распространяются дальше соседних горшков и стеллажей, и замечены на поверхностях, примыкающих к остеклению, фрамугам или дверям оранжерей. К этой группе мы отнесли 11 видов растений, относящихся к 9 родам из 7 семейств (табл. 2). Из них почти половина, т.е. 5 видов, относятся к папоротникам, и выявлено их активное расселение спорами (*Asplenium scolopendrium* L., *A. trichomanes* L.), в основном вегетативно (*Nephrolepis cordifolia* (L.) C. Presl, *N. exaltata* (L.) Schott.), либо вегетативно и спорами (*Pteris vittata* L.). Из цветковых растений второй группы активное расселение осуществляется благодаря вегетативному размножению (*Chlorophytum comosum* Jacq., *Ficus pumila* L., *Saxifraga stolonifera* Curtis), семенами (*Phyllanthus tenellus* Roxb.) или семенами и вегетативным путем (*Dorstenia contrayerva* L.). К первой группе нами отнесены самые активно спонтанно расселяющиеся растения защищенного грунта и образующие устойчивые популяции как в тропическом, так и в субтропическом режиме культивирования, способные расти на разных субстратах. Всего нами идентифицировано 13 видов растений из этой группы, относящихся к 11 родам и 10 семействам (табл. 2). В первой группе почти треть видов – это папоротники, остальные – цветковые растения. Виды папоротников из этой группы – *Adiantum capillus-veneris* L., *Cyclosorus parasiticus* (L.) Farw. *Cyrtomium falcatum* (L.f.) C. Presl и *Pteris cretica* L. благодаря активному размножению спорами быстро разносятся из первоначальных горшков, в которых росли, и заселяют почву соседних горшков, попадают и прорастают в трещинах пола, стен и рядом с остекленными поверхностями. Одни цветковые растения из первой группы предпочитают в основном активное расселение с помощью семян (например, *Oxalis corniculata* L., *Cardamine hirsuta* L., *Cymbalaria muralis* P. Gaertn., B. Mey et Scherb.), другие распространяются в основном вегетативным способом (*Soleirolia soleirolia* Dandy, *Pilea inaequalis* Wedd., *P. microphylla* (L.) Lyebm., *Ruellia carolinensis* Steud., *Tradescantia fluminensis* Vell.).

Всего на наружных конструкциях оранжерей было обнаружено 36 видов растений из 31 рода, относящихся к 20 семействам. Таксонов открытого грунта – 32 вида (табл. 1), из защищенного грунта – 4 вида (табл. 2). Среди последних, наиболее распространенное растение, занимающее большинство углублений и щелей в кирпичной кладке, а также нередко поселяющееся между отдельными стеклами – *Cymbalaria muralis* (*Plantaginaceae*), относимое нами к первой группе наиболее активно расселяющихся в защищенном грунте. Это растение, происходящее из тепло-умеренных горных областей Центральной Европы, в настоящее время распространилось по всему земному шару, считается инвазионным в США, Австралии, Новой Зеландии и Японии. Благодаря быстро растущим ползучим укореняющимся побегам,

оно активно начинает завоевывать пространство в конце весны – в начале лета. Нами было отмечено, что цветение этого растения на конструкциях оранжерей имеет более продолжительный период, чем было отмечено раньше (с мая по сентябрь) – с конца апреля по начало ноября (рис. 2). Завязывание плодов происходит быстро, и рассеивание многочисленных мелких семян начинается не позже, чем через месяц после цветения. Известно, что это растение обладает необычным геотропизмом – цветонос изначально положительно фототропен и движется к свету. После оплодотворения становится отрицательно фототропным и удаляется от света. Это приводит к тому, что семена могут попадать в самые темные и укромные места в кладке стен, где они с большей вероятностью прорастут.

Таблица 2

**Миграция наиболее активно спонтанно распространяющихся сосудистых растений защищенного грунта (сортировка по видам)**

**[Migration of the most active spontaneously spreading protected ground vascular plants (sorted by species)]**

Вид	Семейство	Группа	Способы расселения	Найдены на наружных констр. оранжерей	Найдены в открытом грунте
<i>Acalypha australis</i> L.	Euphorbiaceae	2	семена	–	–
<i>Adiantum capillus-veneris</i> L.	Adiantaceae	1	вегетативно, споры	–	–
<i>Asplenium scolopendrium</i> L.	Aspleniaceae	2	споры	х	–
<i>Asplenium trichomanes</i> L.	Aspleniaceae	2	споры	х	–
<i>Cardamine hirsuta</i> L.	Brassicaceae	1	семена	–	–
<i>Chlorophytum comosum</i> Jacq.	Asparagaceae	2	вегетативно	–	–
<i>Cyclosorus parasiticus</i> (L.) Farw.	Thelypteridaceae	1	споры	–	–
<i>Cymbalaria muralis</i> P. Gaertn., B. Mey et Scherb.	Plantaginaceae	1	вегетативно, семена	х	х
<i>Cyrtomium falcatum</i> (L.f.) C.Presl.	Dryopteridaceae	1	вегетативно, споры	х	–
<i>Dorstenia contrayerva</i> L.	Moraceae	2	вегетативно, семена	–	–
<i>Ficus pumila</i> L.	Moraceae	2	вегетативно	–	–
<i>Nephrolepis cordifolia</i> (L.) K.Presl.	Nephrolepidaceae	2	вегетативно	–	–
<i>Nephrolepis exaltata</i> (L.) Schott.	Nephrolepidaceae	2	вегетативно	–	–
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalidaceae	1	вегетативно, семена	–	–
<i>Oxalis corniculata</i> L. var. <i>atropurpurea</i> Planch.	Oxalidaceae	1	вегетативно, семена	–	–
<i>Phyllanthus tenellus</i> Roxb.	Phyllanthaceae	2	семена	–	–
<i>Pilea inaequalis</i> Wedd. ( <i>Pilea repens</i> (Sw.) Liebm.)	Urticaceae	1	вегетативно, семена	–	–
<i>Pilea microphylla</i> (L.) Liebm.	Urticaceae	1	вегетативно	–	–
<i>Pteris cretica</i> L.	Pteridaceae	1	вегетативно, споры	–	–
<i>Pteris vittata</i> L.	Pteridaceae	2	вегетативно, споры	–	–
<i>Ruellia caroliniensis</i> (J.F. Gmel.) Steud.	Acanthaceae	1	вегетативно, семена	–	–
<i>Saxifraga stolonifera</i> Curtis	Saxifragaceae	2	вегетативно	–	–
<i>Soleirolia soleirolii</i> (Req.) Dandy	Urticaceae	1	вегетативно	–	–
<i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	Commelinaceae	1	вегетативно	–	–

Остальные 3 вида растений защищенного грунта, выходящие наружу, – это папоротники *Asplenium scolopendrium* L., *A. trichomanes* L. (оба – *Aspleniaceae*) из второй группы, и *Cyrtomium falcatum* (L.f.) C. Presl (*Dryopteridaceae*) из первой. Все они являются активными спонтанно расселяющимися растениями в оранжереях и размножаются с помощью спор, которые вылетают через открытые фрамуги. Тем не менее, эти папоротники были обнаружены только в незначительном числе (не более 10 экз.) в кирпичной кладке наружных оснований оранжерей.



Рис. 2. *Cymbalaria muralis* P. Gaertn., B. Mey et Scherb «убегает» из оранжереи. Отмечено цветение в ноябре (03.11.2020) в условиях средней полосы России, что не описывалось ранее

[*Cymbalaria muralis* P. Gaertn., B. Mey et Scherb escapes from the greenhouse. Flowering was noted in November (03/11/2020) in the conditions of central Russia, which was not described earlier]

На внешних конструкциях оранжерей и теплиц было обнаружено 7 видов древесных растений, относящихся к 5 родам. Как внутри оранжереи, так и снаружи в щелях стекол и в пустотах кирпичной кладки на почвоподобных субстратах поселяется *Betula pendula* Roth. В тех же местах, рядом с открытыми фрамугами, были найдены *Betula pubescens* Ehrh. (*Betulaceae*), *Salix caprea* L. и *Populus laurifolia* Ledeb (оба – *Salicaceae*). Первые два вида местные, растут в лесопарковой полосе рядом с оранжереями, *P. laurifolia* – культивируемый вид тополя, встречается лишь в окрестностях. В щелях между стеклами и кирпичным основанием теплиц обнаружены проростки и ювенильные экземпляры двух видов *Acer* L. (*Sapindaceae*), один из которых – *A. platanodes* L. – аборигенный вид, широко распространенный в лесопарковой части ГБС РАН, а второй – *A. negundo* L. – чужеродный и инвазионный вид. Весьма необычным является обнаружение одного ювенильного экземпляра *Lonicera tatarica* L. (*Caprifoliaceae*) в кирпичной кладке.

Из травянистых растений, не попавших внутрь оранжерей, но найденных в большом числе на конструкциях, стоит отметить ряд агрессивных растений – лиану *Humulus lupulus* L. (*Cannabaceae*), трудноискоренимого инвазионного многолетника *Heracleum sosnowskyi* Manden. (*Apiaceae*) и однолетника *Impatiens parviflora* DC. (*Balsaminaceae*). Также многочисленны представители семейства *Poaceae* – *Elymus repens* (L.) Gould, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Poa compressa* L., и *Asteraceae* – *Achillea millefolium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Pilosella officinarum* Vaill. Также отмечены *Myosotis sparsiflora* J.C. Mikan ex Pohl (*Boraginaceae*), *Carex contigua* Hoppe (*Cyperaceae*), *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. (*Onagraceae*) и папоротник *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott (*Dryopteridaceae*).

В пятнадцати метрах от зданий оранжерей и теплиц выявлено 174 видов из 123 родов растений открытого грунта, относящихся к 44 семействам (табл. 1). Преобладают представители семейств *Asteraceae* (29 видов и 21 род), *Rosaceae* (17 видов и 11 родов), *Poaceae* (16 видов и 10 родов) и *Brassicaceae* (10 видов и 10 родов). Менее разнообразно представлены семейства *Lamiaceae* (8 видов и 7 родов), *Fabaceae* (6 видов и 3 рода), *Plantaginaceae* (6 видов и 3 рода), *Salicaceae* (6 видов и 2 рода), *Caryophyllaceae* (5 видов и 5 родов), *Amaranthaceae* (5 видов и 3 рода), *Campanulaceae* (5 видов и 1 род), *Ranunculaceae* (4 вида и 3 рода), *Onagraceae* (4 вида и 3 рода), *Polygonaceae* (4 вида и 2 рода).

Несмотря на то, что территория вокруг оранжерей почти ежегодно очищается от древесной растительности, таких растений оказалось много – 32 вида из 23 родов, относящихся к 14 семействам. Большинство из них были представлены ювенильными экземплярами, выросшими из семян, попавших с ветром или перенесенных животными. Нами выявлено 4 вида *Acer* (*Sapindaceae*), что довольно необычно. Помимо распространенных видов *A. platanodes* L. и *A. negundo* L., найдены экземпляры *A. campestre* L. и *A. ginnala* Maxim. По-видимому, они занесены из посадок деревьев, культивируемых на расстоянии до 50 м от оранжерей. Вероятно, такое же происхождение имеют *Fraxinus pensylvanica* Marsch., *Ligustrum*

*vulgare* L. (*Oleaceae*), *Euonymus europaeus* L., *Celastrus orbiculatus* Thunb. (*Celastraceae*), *Rhamnus cathartica* L. (*Rhamnaceae*), *Sambucus nigra* L. (*Adoxaceae*), *Parthenocissus inserta* (A. Kerner) Fritsch, *Vitis amurensis* Rupr. (*Vitaceae*). Местные виды – апофиты *Pinus silvestris* L. (*Pinaceae*), *Quercus robur* L. (*Fagaceae*), *Prunus padus* L., *Rosa canina* L., *Rubus idaeus* L., *Sorbus aucuparia* L. (*Rosaceae*), *Salix caprea* L., *Salix alba* L. (*Salicaceae*), *Viburnum opulus* L. (*Adoxaceae*), *Ulmus laevis* Pall. (*Ulmaceae*), вероятно, выросли в 15-метровой исследуемой области вокруг оранжерей из семян, перенесенных ветром или животными из лесопарка рядом.

Флористическое исследование вокруг всех оранжерей и теплиц ГБС РАН позволило собрать и идентифицировать 143 видов травянистых растений, относимых к 101 роду из 33 семейств. Менее разнообразен видовой состав трав на участках, где ранее высаживался газон. Например, со всех сторон новой фондовой оранжереи газон был посеян в 2008–2009 гг. после окончания строительства тропического блока, и в 2015–2016 гг. – после сдачи субтропического блока. Вокруг старой фондовой оранжереи остатки старого газона сохранились лишь частично с торцов этого комплекса, и активно зарастают. Поэтому именно здесь выявлено больше всего видов травянистых растений. Это, в основном, местные луговые, полевые растения, многие из которых являются рудеральными и сеgetальными. Прежде всего, к ним относятся многолетние представители семейства *Asteraceae* – *Achillea millefolium* L., *Arctium tomentosum* Mill., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Sonchus arvensis* L., *Tussilago farfara* L., *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F.H. Wigg и др., *Fabaceae* – *Trifolium pratense* L., *T. repens* L., *Vicia cracca* L., *Rosaceae* – *Potentilla intermedia* L., *P. reptans* L., *Polygonaceae* – *Rumex crispus* L., *R. obtusifolius* L., *Papaveraceae* – *Chelidonium majus* L., *Plantaginaceae* – *Plantago major* L., *Convolvulaceae* – *Convolvulus arvensis* L., *Ranunculaceae* – *Ranunculus repens* L. и др. Много и местных сорных однолетников, принадлежащих к семействам *Asteraceae* – *Matricaria matricarioides* (Less.) Porter, *Senecio viscosus* L., *Sonchus asper* (L.) Hill, *S. oleraceus* L. *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.; *Brassicaceae* – *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., *Sisymbrium officinale* L., *Thlaspi arvense* L.; *Chenopodiaceae* – *Atriplex patula* L., *Chenopodium album* L., *Ch. polyspermum* L.; *Boraginaceae* – *Myosotis arvensis* (L.) Hill (одно-двулетник); *Caryophyllaceae* – *Cerastium holosteoides* Fr., *Stellaria media* (L.) Vill.; *Fabaceae* – *Vicia hirsuta* (L.) Gray, *V. tetrasperma* (L.) Schreb. и др. Многолетних и однолетних представителей семейства *Poaceae* по числу найденных видов, хотя и меньше, чем *Asteraceae*, но они господствуют в травянистом покрове вокруг оранжерей. Много и чужеродных инвазионных видов из семейств *Asteraceae* – *Bidens frondosa* L., *Erigeron canadensis* L., *Solidago canadensis* L., *Solidago gigantea* Aiton; *Apiaceae* – *Heracleum sosnowskyi* Manden.; *Onagraceae* – *Epilobium pseudorubescens* A. Skvorts.; *Oxalidaceae* – *Oxalis stricta* L. Также были выявлены и адвентивные виды, “сбежавшие” из культуры. Это *Viola sororia* Willd. (*Violaceae*), *Tradescantia virginiana* L. (*Commelinaceae*), *Duchesnea indica* (Andr.) Focke (*Rosaceae*), *Sedum aizoon* L. и *S. hispanicum* L. (*Crassulaceae*). Как уже было отмечено выше, три чужеродных, но декоративных вида *Campanula* L. специально разводятся между теплицами декоративных растений, и два из них – *C. alliarifolia* Willd. и *C. poscharskyana* Degen – уже попали внутрь и выживают по краям дорожек. Как правило, рудеральные и адвентивные виды чаще встречались вокруг теплиц. Но отмечены были также обычные лесные и луговые травянистые растения, например, папоротники *Athyrium filix-femina* (L.) Roth (*Athyriaceae*), *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott (*Dryopteridaceae*), цветковые *Lysimachia nummularia* L., *L. vulgaris* L. (*Primulaceae*), *Galium odoratum* (L.) Scop. (*Rubiaceae*), *Campanula trachelium* L. (*Campanulaceae*), *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (*Rosaceae*), *Circaea lutetiana* L. (*Onagraceae*).

Из видов защищенного грунта на расстоянии до 15 м от зданий оранжерей был обнаружен только один вид – *Symbalaria muralis* P. Gaertn., B. Mey et Scherb. (табл. 2). Причем здесь он формировал однородные популяции до сотни растений. Следует отметить, что если на конструкциях оранжерей это растение «пряталось» в щелях кирпичной кладки, то дальше от зданий появлялось на оголенном грунте или слабо задернованных участках, что, возможно, свидетельствует об успешной акклиматизации *S. muralis* в условиях Москвы (рис. 3). Вероятно, этот факт является результатом потепления климата.

## Заключение

Оранжереи и теплицы (в особенности, их наружные стены, конструкции и фрамуги) являются местом экспансии видов открытого грунта. Всего из выявленных нами 174 видов из 123 родов растений открытого грунта на расстоянии 15 м от теплиц, 32 вида из 28 родов были обнаружены на конструкциях оранжерей, а 24 вида из 22 родов попали в защищенный грунт.

Растения открытого грунта, которые смогли попасть на конструкции оранжерей, а затем внутрь и закрепиться, представляли собой в основном анемохорные однолетние и многолетние травы, реже деревья, как местные, так и адвентивные. Виды, культивируемые вблизи оранжерей, также могут попадать внутрь через щели в конструкциях или с перенесенным грунтом.

Для каждой индивидуальной оранжереи или теплицы список обнаруженных видов открытого грунта зависит от следующих причин:

– создаваемого внутри климата, прежде всего температуры и влажности. Таким образом, в зданиях, где поддерживается субтропический режим климата (пониженные температуры зимой, меньшая влажность воздуха) больше шансов выжить растениям умеренной полосы, нежели они попадут в теплицы с тропическим режимом климата;

– обилие спонтанно расселяющихся видов зависит от санитарного состояния оранжерей, степени ухода за коллекционными растениями;

– в летнее время больше видов открытого грунта можно найти в теплицах, так как в этот сезон года открыты фрамуги, двери, заносится и перемешивается новый грунт, а высокая температура воздуха и обилие света помогают быстрее прорасти семенам и спорам или развиваться новым побегам при вегетативном размножении растений;

– индивидуальный состав видов, проникающих внутрь оранжерей, зависит от типов естественной растительности вокруг оранжерей или теплиц или культивируемых поблизости растений. Например, если рядом лесные участки или некошенный луг, то больше вероятность проникновения оттуда диаспор растений. Чем больше рядом культивируется декоративных растений, тем больше вероятность их найти и внутри оранжерей;

– особенностей функционирования. Если теплицы служат местом перезимовки более теплолюбивых растений открытого грунта, или местом размножения растений, это также сильно увеличивает вероятность распространения видов, попавших снаружи.



Рис. 3. *Cymbalaria muralis* P. Gaertn., B. Mey et Scherb, растение защищенного грунта, образует популяции в открытом грунте на расстоянии до 15 м от старой фондовой оранжереи ГБС РАН

[*Cymbalaria muralis* P. Gaertn., B. Mey et Scherb, a protected ground plant, forms populations in open ground at a distance of up to 15 meters from the greenhouses of Main Botanical Garden RAS]

Внутри оранжерей и теплиц происходят процессы спонтанного расселения части коллекционных видов и оранжерейных «сорняков», с тенденцией выхода некоторых из них в открытый грунт. Всего мы идентифицировали 24 вида, относящихся к 19 родам из 18 семейств, которые наиболее активно расселяются в оранжереях. Из них только 4 вида растений защищенного грунта были обнаружены на наружных конструкциях оранжерей, причем 3 вида – это папоротники. Тем не менее, только единственное цветковое растение *Cymbalaria muralis* было многократно найдено как на наружных стенах и уступах оранжерей, так и на расстоянии до 15 м от зданий оранжерей.

Вид *Cymbalaria muralis* в открытом грунте обильно цветет и образует плоды с жизнеспособными семенами, которые успешно перезимовывают в глубоких выемках стен или под пологом снега.

#### Список источников

1. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.
2. Завадский А.С. и др. Опыт комплексной природной инвентаризации особо охраняемой природной

территории (на примере Стругинской поймы г. Москвы) // Бюллетень ГБС. 2008. Т. 194. С. 110–140.

3. Золкин С.Ю., Швецов А.Н. Исследование флористического разнообразия и способности к активному распространению спонтанно расселяющихся сосудистых растений из оранжерей ГБС РАН // Бюллетень ГБС. 2020а. Т. 206, № 4. С. 21–33.

4. Золкин С.Ю., Швецов А.Н. Спонтанно расселяющиеся сосудистые растения защищенного грунта с ограниченным распространением // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2020б. Вып. 4. С. 257–263.

5. Коломейцева Г.Л., Цавкелова Е.А., Колобов Е.С. Оранжерейные биоценозы в экспозициях тропических и субтропических растений // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2013. № 31. С. 133–142.

6. Сухоруков А.П., Васюков В.М., Кушунина М.А. Дополнения к адвентивной флоре Средней России // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2015. Т. 9, № 3. С. 101–111.

7. Швецов А.Н. Адвентивная флора большого города (на примере Москвы) // Адвентивная и синантропная флора России и стран ближнего зарубежья: состояние и перспективы: материалы III междунар. науч. конф. Ижевск, 2006. С. 116–117.

8. Швецов А.Н. Дикорастущая флора города Москвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 23 с.

9. Galera H., Ratynska H. Greenhouse weeds in the botanical garden of PAS in Warsaw-Powsin // Acta Societatis botanicorum poloniae. 1999. Vol. 68, № 3. P. 227–236.

10. Global Invasive Species Database // Information project of Invasive Species Specialist Group (ISSG). URL: <http://www.iucngisd.org> (дата обращения: 30.10.2022).

11. GRIN Taxonomy for Plants // U.S. National Plant Germplasm System. URL: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomybrowse.aspx> (дата обращения: 30.10.2022).

12. The International Plant Name Index // Information project of Royal Botanic Gardens (Kew), Harvard University Herbaria, Australian National Botanic Gardens. URL: <http://www.ipni.org> (дата обращения: 30.10.2022).

13. The Plant List. A working list of all plant species // Information project of Royal Botanic Gardens (Kew) and Missouri Botanical Garden. URL: <http://www.theplantlist.org> (дата обращения: 30.10.2022).

14. Verloove F. Catalogue of neophytes in Belgium (1800–2005) // Scripta Botanica Belgica. 2006. Vol. 39. P. 1–89.

15. Wiśniewski J., Asprou V. Chwasty w uprawach szklarniowych m. Łodzi // Zeszyty naukowe Uniwersytetu Łódzkiego. 1974. Ser. 2, № 54. P. 47–57.

## References

1. Vinogradova Ju.K., Majorov S.R., Horun L.V. *Černaja kniga flory Srednej Rossii* [Black book of the flora of Central Russia: alien plant species in the ecosystems of Central Russia]. Moscow, GEOS Publ., 2010. 512 p. (In Russ.).

2. Zavadsky A.S., Zaitsev A.S., Mosalov A.A., Surkov V.V., Shvetsov A.N. [Experience of complex natural inventory of specially protected natural territory (on the example of the Stroginsky plain, Moscow)]. *Bjulleten' glavnogo botaničeskogo sada*. V. 194 (2008): pp. 110–140. (In Russ.).

3. Zolkin S.Yu., Shvetsov A.N. [The study of floristic diversity and ability to active migration of spontaneously dispersing vascular plants from greenhouses of the Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Science]. *Bjulleten' glavnogo botaničeskogo sada*. V. 206, No 4 (2020a): pp. 21–33. (In Russ.).

4. Zolkin S.Yu., Shvetsov A.N. [Spontaneously dispersing vascular plants of protected ground with limited migration]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 4 (2020b): pp. 257–263. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2020-4-257-263.

5. Kolomeitseva G.L., Tsavkelova E.A., Kolobov E.S. [Greenhouse biocenoses in expositions of tropical and subtropical plants]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Biologija i ekologija*. V. 31, No 23 (2013): pp. 133–142. (In Russ.).

6. Sukhorukov A.P., Vasjukov V.M., Kushunina M.A. [Contributions to the alien flora of European Russia]. *Fitoraznoobrazie vostočnoj Evropy*. V.9, No 3 (2015): pp. 103–111. (In Russ.).

7. Shvetsov A.N. [Adventive flora of a big city (on the example of Moscow)]. *Adventivnaja i sinantropnaja flora Rossii i stran bližnego zarubežja: sostojanie i perspektivy*. [Alien and synanthropic flora of Russia and neighboring countries: state and prospects. Proceedings of the III International Scientific Conference]. Izhevsk, 2006, pp. 116–117. (In Russ.).

8. Shvetsov A.N. *Dikorastuščaja flora goroda Moskvy. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [Native flora of the city of Moscow. Abstract Cand. Diss.]. Moscow, 2008. 23 p. (In Russ.).

9. Galera H., Ratynska H. Greenhouse weeds in the botanical garden of PAS in Warsaw-Powsin. *Acta Societatis botanicorum poloniae*. V. 68, No 3 (1999): pp. 227–236.

10. Global Invasive Species Database. Information project of Invasive Species Specialist Group. (ISSG) [Electronic resource]. Available at: <https://www.iucngisd.org> (accessed 30.10.2022).

11. GRIN Taxonomy for Plants. U.S. National Plant Germplasm System [Electronic resource]. Available at: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomybrowse.aspx> (accessed 30.10.2022).

12. The International Plant Name Index. Information project of Royal Botanic Gardens (Kew), Harvard University Herbaria, Australian National Botanic Gardens [Electronic resource]. Available at: <https://www.ipni.org> (accessed 30.10.2022).

13. The Plant List. A working list of all plant species. Information project of Royal Botanic Gardens (Kew) and Missouri Botanical Garden. [Electronic resource]. Available at: <https://www.theplantlist.org> (accessed 30.10.2022).

14. Verloove F. Catalogue of neophytes in Belgium (1800-2005). *Scripta Botanica Belgica*. V. 39 (2006): pp. 1-89.

15. Wiśniewski J., Asprou V. [Weeds in the Lodz greenhouse]. *Zeszyty naukowe Uniwersytetu Łódzkiego*. Ser. 2, No 54 (1974): pp. 47-57. (in Pol.)

Статья поступила в редакцию 22.03.2023; одобрена после рецензирования 24.04.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 22.03.2023; approved after reviewing 24.04.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

А. Н. Швецов – канд. биол. наук, заведующий лабораторией природной флоры;

С. Ю. Золкин – канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории тропических растений.

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

A. N. Schvetsov – candidate of biological sciences, head of the laboratory of natural flora;

S. Yu. Zolkin – candidate of biological sciences, senior researcher of the laboratory of tropical plants.

#### **Вклад авторов:**

Швецов А. Н. – концепция исследования; идентификация видов растений открытого грунта; обработка результатов; доработка текста; итоговые выводы.

Золкин С. Ю. – идентификация видов растений защищенного грунта, обработка результатов; написание исходного текста; итоговые выводы.

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

Schvetsov A. N. – the concept of the study; identification of open ground plant species; processing results; revision of the text; final conclusions.

Zolkin S. Yu. – identification of protected ground plant species; processing results; writing the original text; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

**ЗООЛОГИЯ**

Научная статья

УДК 595.142.34:57.06:543.424

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-147-157

**Исследование различий ИК-спектров дождевых червей как  
возможный способ их таксономической идентификации**

**С. Ю. Князев<sup>1</sup>, К. А. Бабий<sup>1</sup>, Е. В. Голованова<sup>1</sup>, Д. В. Соломатин<sup>1</sup>,  
Е. А. Сарф<sup>1</sup>, Л. В. Бельская<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Станислав Юрьевич Князев, labinvert@omgpu.ru

**Аннотация.** Цель данного исследования – оценка принципиальной возможности таксономической идентификации дождевых червей на основании изучения функционально-группового состава их тел методом ИК-Фурье спектроскопии. Объектами исследования послужили дождевые черви 7 видов из 5 родов: *Aporrectodea caliginosa*, *Eisenia fetida*, *E. nordenskioldi*, *E. ventripapillata*, *Lumbricus rubellus*, *Rhiphaeodrilus diplozetathecus*, *Octolasion lacteum*. ИК-спектры поглощения регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре «ФТ-801» в диапазоне 500–4 000 см<sup>-1</sup>. На всех спектрах определены положение, интенсивность и площадь полос поглощения, установлены максимальные различия между отдельными видами по интенсивности и положению полос поглощения белков и нуклеиновых кислот. Метод главных компонент показал, что в основе классификации лежат характеристики полос поглощения валентных и деформационных колебаний метильных и метиленовых групп, а также амидных групп в структуре червей. При этом разделение дождевых червей на подгруппы с близкими спектральными характеристиками может быть объяснено несколькими причинами: их происхождением, родством и влиянием среды. Полученные в ходе исследования данные подтверждают возможность использования ИК-спектроскопии для идентификации дождевых червей.

**Ключевые слова:** дождевые черви, таксономическая идентификация, ИК-Фурье спектроскопия

**Для цитирования:** Исследование различий ИК-спектров дождевых червей как возможный способ их таксономической идентификации / С. Ю. Князев, К. А. Бабий, Е. В. Голованова, Д. В. Соломатин, Е. А. Сарф, Л. В. Бельская // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 147–157. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-147-157>.

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-14-20034) и Минпрома Омской области (грант № 32-С от 22.06.2022).

**ZOOLOGY**

Original article

**Investigation of differences in the IR spectra of earthworms  
as a possible way of their taxonomic identification**

**S. Yu. Kniazev<sup>1</sup>, K. A. Babiy<sup>1</sup>, E. V. Golovanova<sup>1</sup>, D. V. Solomatin<sup>1</sup>, E. A. Sarf<sup>1</sup>,  
L. V. Bel'skaya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia

Corresponding author: Stanislav Yu. Kniazev, labinvert@omgpu.ru

**Abstract.** IR spectrometry is successfully used for the taxonomic identification of various groups of invertebrates: butterflies, flies, grasshoppers, mosquitoes, weevils, and termites. Therefore, the purpose of this study was to assess the fundamental possibility of taxonomic identification of earthworms based on the study of the functional-group composition of their bodies by the method of IR-Fourier spectroscopy. Seven species of earthworms from five genera were the objects of the study: *Aporrectodea caliginosa*, *Eisenia fetida*, *Eisenia nordenskioldi*, *Lumbricus rubellus*, *Rhiphaeodrilus diplozetathecus*, *Octolasion lacteum*, *Eisenia ventripapillata*. IR absorption spectra were registered on an FT-801 IR-Fourier spectrometer in the range of 500–4000 cm<sup>-1</sup>. The position, intensity, and area of the absorption bands were determined on all spectra. The maximum differences between individual species in intensity and position of protein and nucleic acid absorption bands were established. Using the principal component method, it was shown that the classification was based on the characteris-

tics of the absorption bands of stretching and bending vibrations of methyl and methylene groups, as well as amide groups in the structure of worms. At the same time, the division of earthworms into subgroups with similar spectral characteristics could be explained by several reasons: their origin, kinship, and the influence of the environment. The data obtained during the study confirm the possibility of using IR spectrometry for the identification of earthworms.

**Keywords:** earthworms, taxonomic identification, FT-IR spectroscopy

**For citation:** Kniazev S. Yu., Babiy K. A., Golovanova E. V., Solomatin D. V., Sarf E. A., Bel'skaya L. V. [Investigation of differences in the IR spectra of earthworms as a possible way of their taxonomic identification]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 147-157. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-147-157>.

**Acknowledgments** this research was funded by the Russian Science Foundation (grant No. 22-14-20034) and the Ministry of Industry and Scientific and Technical Development of the Omsk Region (grant No. 32-C dated 22.06.2022).

## Введение

Дождевые черви являются ключевыми “инженерами”, управляющими рядом экосистемных функций почвы, такими как круговорот питательных веществ [Lavelle et al., 2016], разложение опада [Blouin et al., 2013] и эмиссия парниковых газов [Lubbers et al., 2013]. Чтобы оценить влияние дождевых червей на обеспечение этих функций, необходима их таксономическая идентификация, которая традиционно основана на морфологических особенностях, однако она трудоемка и требует определенной квалификации. А определение неполовозрелых и поврежденных особей часто невозможно, из-за чего они не используются в исследованиях [Richard et al., 2010]. Поэтому молекулярные подходы, такие, как анализ ДНК, стали использоваться как альтернативный инструмент для идентификации дождевых червей [Shekhovtsov et al., 2017] или разделения морфологически схожих видов [Shekhovtsov et al., 2016]. Несмотря на технологическое развитие и снижение стоимости оборудования и реактивов для проведения секвенирования [Gautier et al., 2018; Srivathsan et al., 2019], анализ ДНК редко применяется в исследованиях из-за высокой стоимости, поэтому существует необходимость использовать недорогие и доступные методы идентификации таксонов (видов) дождевых червей с помощью более дешевых альтернативных молекулярных подходов [Vaupel, Hommel, Beule, 2022] или метабомики, которая основана на методах аналитической химии, анализирующей глобальный метаболический профиль объекта [Rodríguez-Fernández et al., 2010]. Одним из самых дешевых, надежных и почти мгновенных методов является инфракрасная (ИК) спектроскопия [Raupach et al., 2016].

Возможности использования ИК-спектроскопии для таксономической идентификации установлены в различных областях [Rodríguez-Fernández et al., 2010; Vance et al., 2016], в том числе для бабочек [Tao et al., 2018], мух-дрозофил [Aw, Dowell, Ballard, 2012], прямокрылых [Da Silva, Gutjahr, De Moraes, 2018], комаров [Sikulu, 2014], долгоносиков [Johnson, 2022] и термитов [Jouquet et al., 2018]. Поэтому целью данного исследования являлось изучение химического состава тел дождевых червей разных родов и видов методом инфракрасной спектроскопии для установления возможности его использования в таксономической идентификации дождевых червей.

## Материал и методы исследования

### Сбор дождевых червей

Объектами исследования послужили дождевые черви 7 видов из 5 родов: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), *Eisenia nordenskioldi* (Eisen, 1879), *Eisenia ventripapillata* Perel, 1985, *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843, *Rhiphaeodrilus diplotetrathecus* (Perel, 1967), *Octolasion lacteum* (Orley, 1885). Дождевые черви были собраны на 4 участках: в окрестностях с. Чернолучье (Омский р-н, Омская обл., N 55°16'33.6", E 73°02'35.3"); на исследовательском полевом стационаре Омского государственного педагогического университета (г. Омск, N 55°02'38.9", E 73°22'52.4"); на территории Парка культуры и отдыха им. 30-летия Победы (г. Омск, N 54°57', E 73°21' ); в окрестностях д. Хомутовки (городской округ Первоуральск, Свердловская обл., N 56°51'37.7", E 59°46'02.8").

### Инкубационный эксперимент. Подготовка образцов

Для изучения состава тела дождевых червей мы поместили их в 14 двухлитровых пластиковых контейнеров с перфорированными крышками, по два микрокосма на каждый вид. Микрокосмы были заполнены 1.5 л почвы, очищенной от макрофауны с помощью сит с диаметром ячейки 4 мм. Во всех микрокосмах в качестве подстилки использовалась сухая листва *Populus tremula* L. по  $9.00 \pm 0.05$  г. Таким образом мы нивелировали влияние типа почвы и опада на состав тела червей. Почву в микрокосмах поли-

вали одинаковым количеством дистиллированной воды, чтобы поддерживать влажность на уровне 50%. В каждый микрокосм добавляли по 8 особей дождевых червей. В микрокосмах дождевые черви содержались в течение 90 сут., и каждые 30 дней производилась замена почвы. Затем их промывали дистиллированной водой. Для очистки кишечника содержали пять суток в отдельных контейнерах по 2 особи на фильтровальной бумаге, которую меняли по мере загрязнения. После этого их замораживали на 24 ч., заранее удалив последние сегменты тела, так как они часто содержали остатки почвы. Далее червей высушивали при температуре 60°C в течение 48 ч. и потом измельчали в порошок. Всего было подготовлено по 6 образцов каждого вида по 2–3 особи на один образец.

### Метод получения и предварительной обработки ИК-спектров

Порошки исследовали в таблетках, спрессованных в смеси с бромистым калием (соотношение 1:100, диаметр 3.5 мм). В качестве опорного использован спектр чистого бромистого калия, предварительного высушенного при температуре ~600°C в течение 6 ч. ИК-спектры поглощения регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре «ФТ-801» (СИМЕКС) в диапазоне 500–4000  $\text{см}^{-1}$  (число сканов 32, разрешение 4  $\text{см}^{-1}$ ). Коррекция базовой линии и нормализация спектров произведены с использованием программного обеспечения ZaIR 3.5 (СИМЭКС). На всех спектрах определяли положение, интенсивность и площадь полос поглощения (ПП).

Статистический анализ полученных данных выполнен при помощи программ Statistica 10.0 (StatSoft) непараметрическим методом с использованием в зависимых группах критерия Вилкоксона, в независимых группах – U-критерия Манна-Уитни. Описание выборки производили с помощью подсчета медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го перцентилей [LQ; UQ]. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0.05$ . Для определения видовой близости состава тела дождевых червей использовали метод Уорда для построения кластерной древовидной диаграммы с евклидовой мерой сходства. Анализ методом главных компонент (PCA) был выполнен в программном пакете R (package “FactoMinerR”) [Le, Josse, Husson, 2008].

### Результаты и их обсуждение

Типичный ИК-спектр червя приведен на рис. 1. Показано, что в его структуре присутствуют функциональные группы белков (1 315–1 638  $\text{см}^{-1}$ ), липидов (2 873–2 960  $\text{см}^{-1}$ ) и нуклеиновых кислот (617–1 233  $\text{см}^{-1}$ ). Детальная расшифровка ИК-спектров приведена в табл. 1. В целом по функционально-групповому составу исследуемые виды близки, основные отличия наблюдаются для ПП 617  $\text{см}^{-1}$ , 1 053–1 080  $\text{см}^{-1}$  и 1 619–1 638  $\text{см}^{-1}$  (рис. 2). ПП 1 053  $\text{см}^{-1}$ , которая появляется дополнительно на ИК спектрах червей вида *R. diplotetrathecus* и *E. ventripapillata*, соответствует колебаниям  $\nu\text{C-O}$  и  $\delta\text{C-O}$  углеводов. Некоторая сходность исследуемых видов по функционально-групповому составу может быть объяснена сходством среды обитания, так как червей перед анализом содержали 90 дней в лабораторных условиях в одинаковой почве и на одинаковой подстилке для нивелирования разницы в контрастности условий обитания, так как ранее для термитов [Jouquet et al., 2018] и дождевых червей [Pham et al., 2021] была установлена зависимость функционально-группового состава ИК-спектров от среды обитания и типа почвы. В то же время копролиты дождевого червя *Andiodrilus pachoensis* (Michaelsen, 1900) существенно различались по характеристикам ИК-спектров в зависимости от расположения участка и состава растительного покрова [Velasquez et al., 2007].

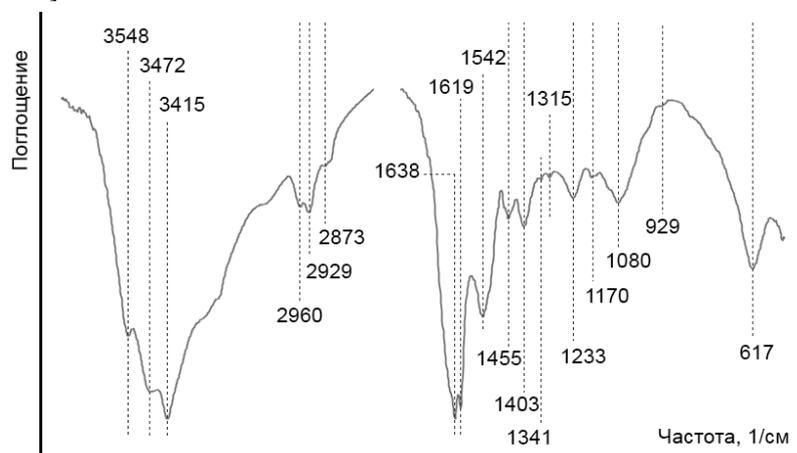


Рис. 1. Типичный ИК-спектр дождевого червя

[Typical IR-spectrum of an earthworm]

Основные ПП на ИК-спектрах дождевых червей  
 [Main absorption bands in the IR spectra of earthworms]

ПП, см <sup>-1</sup>	Расшифровка	ПП, см <sup>-1</sup>	Расшифровка
617	Кольцевая деформация фенила	1 542	$\delta$ N-H, $\nu$ C-N (Амид II)
929	Левосторонняя спираль ДНК (Z-форма)	1 619	$\nu$ C=O (Амид I) $\beta$ -pleated sheets
1 080	$\nu$ PO <sub>2</sub> (коллаген и фосфолипидные группы нуклеиновых кислот)	1 638	$\nu$ C=O (Амид I) $\alpha$ -helical protein
1 170 (1 156)	$\nu$ C-O of proteins and carbohydrates	2 873	$\nu_s$ CH <sub>3</sub> (липиды)
1 233	$\delta$ N-H, $\nu$ C-N (Амид III) $\nu_{as}$ PO <sub>2</sub> (нуклеиновые кислоты)	2 929	$\nu_{as}$ CH <sub>2</sub> (липиды)
1 315	Амид III (белки, коллаген)	2 960	$\nu_{as}$ CH <sub>3</sub> (липиды, ДНК, белки)
1 341	CH <sub>2</sub> wagging (коллаген)	3 415	Stretching O-H asymmetric
1 403	$\nu$ C-N, $\delta$ N-H, $\delta$ C-H	3 472	Stretching O-H asymmetric
1 455	$\delta_{as}$ CH <sub>3</sub> , $\delta$ CH <sub>2</sub>	3 548	Stretching O-H

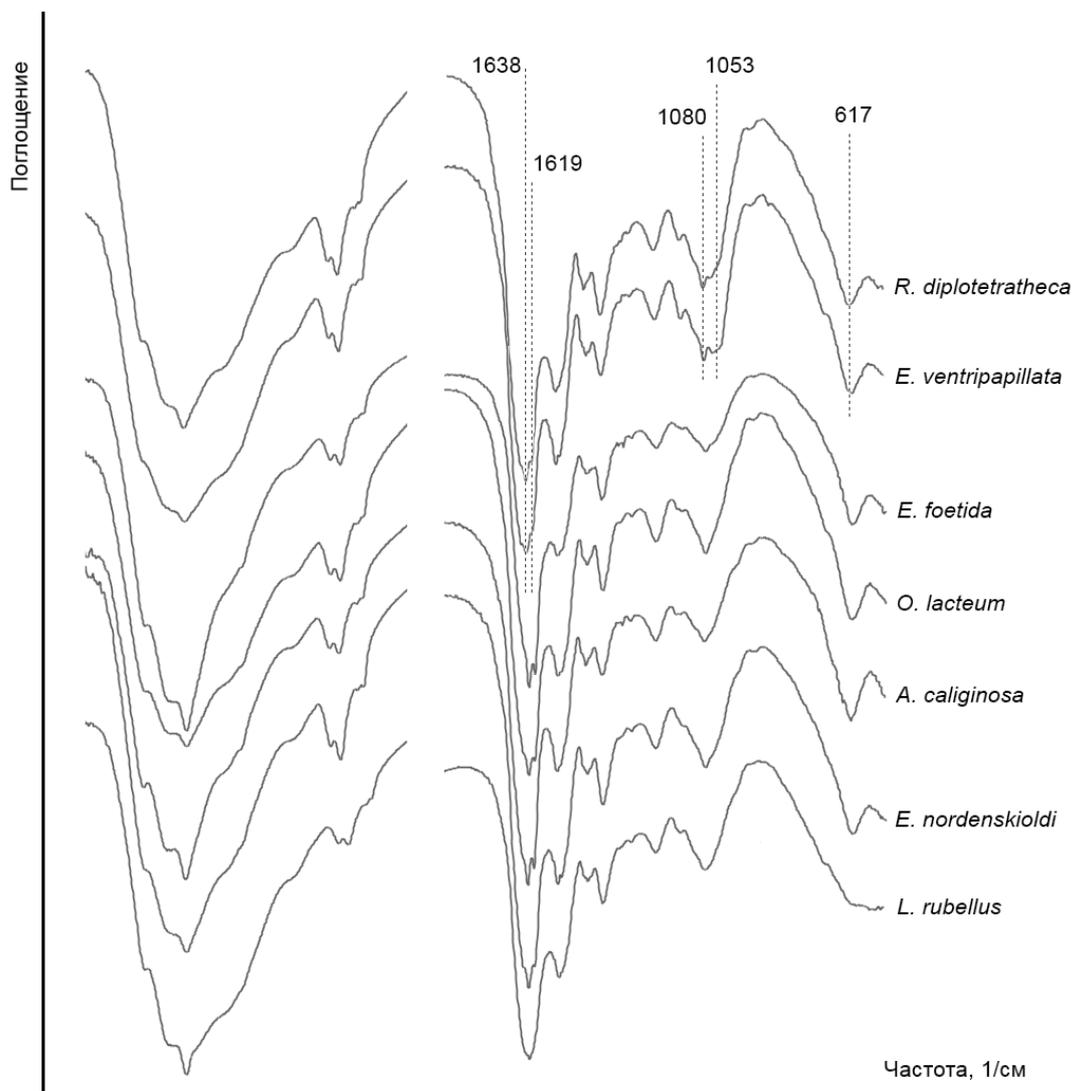


Рис. 2. Примеры ИК-спектров разных видов дождевых червей  
 [Examples of IR spectra of different species of earthworms]

Выявлено, что частота встречаемости ПП на ИК-спектрах червей различных видов неодинакова (табл. 2). Так, ПП 930 и 1338  $\text{см}^{-1}$  не обнаружены для вида *L. rubellus*, ПП 1355  $\text{см}^{-1}$  для вида *E. ventripapillata*. ПП 1053  $\text{см}^{-1}$  характерна для видов *R. diplotetrathecus* и *E. ventripapillata* и т.д. (табл. 2). В исследовании Фама с соавторами [Pham et al., 2021] виды червей *Lumbricus terrestris* Linnaeus, 1758, *Allolobophora chlorotica* (Savigny, 1826), *A. caliginosa* и *Aporrectodea icterica* (Savigny, 1826) также различались между собой по полосам поглощения в основном в областях 3 500–3 000 и <1 800  $\text{см}^{-1}$ .

Таблица 2

**Частота встречаемости ПП на ИК-спектрах дождевых червей различных видов**  
**[Frequency of occurrence of absorption bands in the IR spectra of earthworms of different species]**

ПП, $\text{см}^{-1}$	<i>A. caliginosa</i>	<i>E. fetida</i>	<i>E. nordenskioldi</i>	<i>L. rubellus</i>	<i>R. diplotetrathecus</i>	<i>O. lacteum</i>	<i>E. ventripapillata</i>
614	100	50	33	67	100	100	50
930	33	100	100	0	100	100	100
1053	0	0	0	0	100	0	100
1080	100	100	100	100	100	100	100
1156	100	100	100	100	100	100	100
1236	100	100	100	100	100	100	100
1315	100	100	50	100	100	100	100
1338	100	100	33	0	67	33	83
1355	33	100	83	50	50	67	0
1407	100	100	100	100	100	100	100
1455	100	100	100	100	100	100	100
1547	100	100	100	100	100	100	100
1620	33	50	0	0	33	33	0
1640	100	100	100	100	100	100	100
2874	67	0	0	0	50	67	50
2929	100	100	100	100	100	100	100
2960	100	100	100	100	100	100	100
3418	100	50	33	100	100	100	100
3469	33	33	0	0	17	0	0
3546	83	17	0	0	17	0	0

Характеристики ПП, которые идентифицированы на ИК-спектрах всех изученных видов дождевых червей, приведены в открытом доступе на Figshare по адресу <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21855450.v1>

С целью выявления сходств и различий между ИК спектрами разных видов червей проведен кластерный анализ (рис. 3).

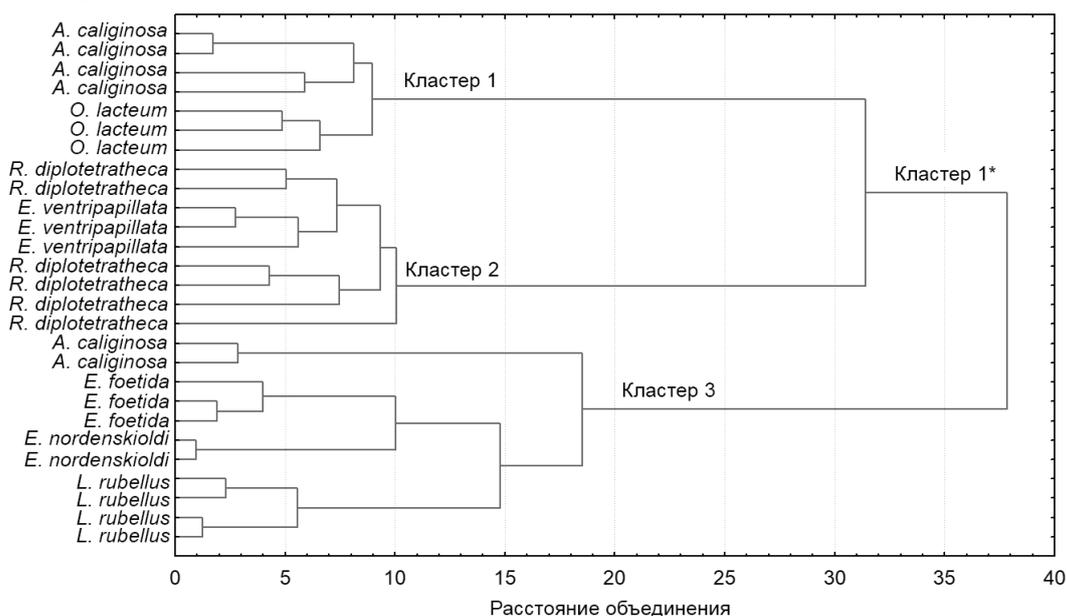


Рис. 3. Результаты кластерного анализа  
 [Results of cluster analysis]

Только для вида *A. caliginosa* отмечено попадание в разные кластеры, остальные виды показали четкое разделение: *A. caliginosa* + *O. lacteum* (кластер 1), *R. diplotetrathecus* + *E. ventripapillata* (кластер 2), *E. fetida* + *E. nordenskioldi* + *L. rubellus* (кластер 3) (рис.3). При укрупненном рассмотрении все виды кластеров 1 и 2 формируют единый кластер (кластер 1\*).

Разделение дождевых червей на кластеры (рис. 3 и рис. 4) может быть объяснено несколькими причинами: их происхождением, родством и влиянием среды. *A. caliginosa* и *O. lacteum* являются европейскими по происхождению дождевыми червями, которые обитают и питаются непосредственно в почве [Tiunov et al., 2006]. *E. fetida* и *E. nordenskioldi* – филогенетически близкие друг к другу виды [Latif, Malek, Csuzdi, 2017], а некоторая их обособленность может быть вызвана разницей в происхождении. Согласно данным С. Csuzdi, J. Koo, Y. Hong [2022] род *Eisenia* формирует два субклада: один европейский, куда входит *E. fetida*, другой состоит из азиатских таксонов, включая *E. nordenskioldi*. Поэтому объединение этих четырех видов в два кластера видится закономерным. Попадание *L. rubellus* в кластер к *E. fetida* + *E. nordenskioldi* можно объяснить активным потреблением опада осины всеми тремя видами.

Объединение двух горных эндемиков *R. diplotetrathecus* [Перель, 1979; Vorobeichik et al., 2021] и *E. ventripapillata* [Перель, 1985] в один кластер можно объяснить сходными условиями обитания в горной местности при формировании видовых особенностей.

Попадание *A. caliginosa* (рис. 3) в два разных кластера может быть обусловлено тем, что некоторые особи могли потреблять больше подстилки, чем другие, так как отмечена его способность переходить к активному потреблению подстилки в лабораторных условиях, подобно подстилочным видам [van Groenigen et al., 2019].

Близкие результаты получены при многомерной оценке полученных данных методом главных компонент (PCA) (рис. 4).

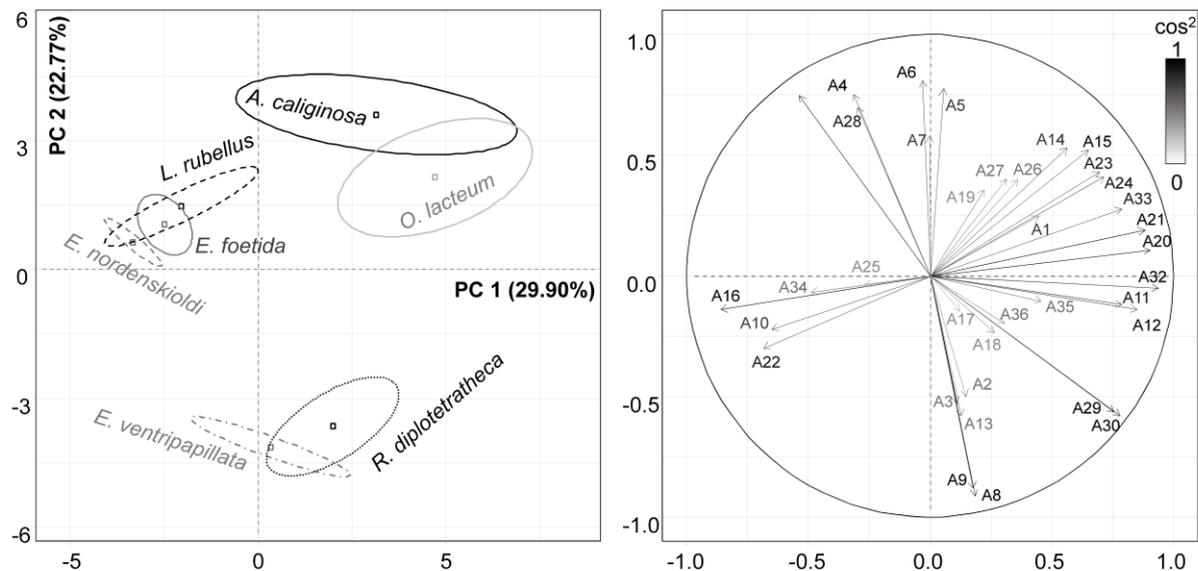


Рис. 4. Факторные карты образцов (А) и переменных (Б).

A1 – X 617, A2 – H 617, A3 – S 617, A4 – X 1080, A5 – H 1080, A6 – S 1080, A7 – X 1156, A8 – H 1156, A9 – S 1156, A10 – X 1236, A11 – H 1236, A12 – S 1236, A13 – X 1315, A14 – H 1315, A15 – S 1315, A16 – X 1407, A17 – H 1407, A18 – S 1407, A19 – X 1455, A20 – H 1455, A21 – S 1455, A22 – X 1547, A23 – H 1547, A24 – S 1547, A25 – X 1640, A26 – H 1640, A27 – S 1640, A28 – X 2929, A29 – H 2929, A30 – S 2929, A31 – X 2960, A32 – H 2960, A33 – S 2960, A34 – X 3418, A35 – H 3418, A36 – S 3418. X – положение ПП, H – высота ПП, S – площадь ПП

[Factor map of samples (A) and factor map of variables (B). X is the position of the absorption band, H is the height of the absorption band, S is the area of the absorption band]

Показано, что вся выборка разделяется на 3 подгруппы: *A. caliginosa* + *O. lacteum*, *R. diplotetrathecus* + *E. ventripapillata*, *E. fetida* + *E. nordenskioldi* + *L. rubellus* (рис. 4а). Первые два компонента выражают 52.66% общей инерции набора данных. Первая главная компонента разделяет группы относительно вертикальной оси, вторая главная компонента – относительно горизонтальной оси. Вклад характеристик ИК-спектров в разделение подгрупп показан в табл. 3. Максимальный вклад в разделение подгрупп *A. caliginosa* + *O. lacteum* и *R. diplotetrathecus* + *E. ventripapillata* от *E. fetida* + *E. nordenskioldi* + *L. rubellus* вносят ПП 2960, 2929, 1547, 1455, 1407, 1355 и 1236 см<sup>-1</sup>, при этом положительные коэффициенты кор-

реляции отмечены с высотой и площадью соответствующих ПП, тогда как отрицательные – с положением ПП (табл. 3).

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции характеристик ПП**  
[Correlation coefficients of characteristics of absorption bands]

PC1		PC2			
Характеристика ПП		Коэффициент корреляции	Характеристика ПП		Коэффициент корреляции
A32	H 2960	0.9384	A6	S 1080	0.8095
A20	H 1455	0.9047	A5	H 1080	0.7742
A21	S 1455	0.8819	A4	X 1080	0.7520
A12	S 1236	0.8517	A31	X 2960	0.7473
A33	S 2960	0.7870	A28	X 2929	0.6979
A11	H 1236	0.7864	A7	X 1156	0.5804
A30	S 2929	0.7801	A14	H 1315	0.5294
A29	H 2929	0.7552	A15	S 1315	0.5205
A24	S 1547	0.7150	A3	S 617	-0.5285
A23	H 1547	0.6954	A29	H 2929	-0.5632
A15	S 1315	0.6498	A30	S 2929	-0.5786
A14	H 1315	0.5625	A13	X 1315	-0.5805
A31	X 2960	-0.5385	A9	S 1156	-0.8805
A10	X 1236	-0.6526	A8	H 1156	-0.9128
A22	X 1547	-0.6858	A16	X 1407	-0.8610

Максимальный вклад в разделение вносят характеристики ПП валентных и деформационных колебаний метильных и метиленовых групп в структуре червей (2 960, 2 929 и 1 455  $\text{cm}^{-1}$ ) и амидных групп (1 547, 1 407, 1 315 и 1 236  $\text{cm}^{-1}$ ). Разделение подгрупп *A. caliginosa* + *O. lacteum* *E. fetida* + *E. nordenskioldi* + *L. rubellus* и от *R. diplozetathecus* + *E. ventripapillata* определяется ПП 2 960, 2 929, 1 315, 1 156, 1 080 и 617  $\text{cm}^{-1}$ , причем здесь отмечена противоположная тенденция: положительные коэффициенты корреляции выявлены для положения ПП, отрицательные – для высот и площадей ПП. Помимо ПП валентных и деформационных колебаний метильных и метиленовых групп в разделение вносят вклад ПП коллагена и фосфодиэфирных групп нуклеиновых кислот (1 156, 1 080 и 617  $\text{cm}^{-1}$ ).

Можно было предположить, что дождевые черви могли бы разделиться согласно принадлежности к экологическим группам в соответствии с классификацией экологических категорий Буше [Bouche, 1972], как это произошло в исследовании Фама с соавторами [Pham et al., 2021], когда эпианекический *L. terrestris* был отделен от двух эндогейных видов (*A. caliginosa* и *A. icterica*) и промежуточного вида *A. chlorotica* по первой дискриминантной функции. В нашем исследовании такого разделения закономерно не произошло (см. рис. 4), так как при разработке экологической классификации дождевых червей Буше учитывал морфо-анатомические признаки и экологию [Botinelli et al., 2020] и не учитывал сложный химический состав тела. Таким же образом, экологические категории не отражают влияния дождевых червей на показатели почвы [van Groenigen et al., 2019; Bottinelli, Capowiez, 2021] или же состав производимых ими копролитов [Babiy et al., 2021].

### Заключение

В настоящем исследовании показана принципиальная возможность таксономической идентификации дождевых червей на основании изучения функционально-группового состава их тел методом ИК-Фурье спектроскопии. Основные отличия наблюдаются для ПП 617  $\text{cm}^{-1}$ , 1 053–1 080  $\text{cm}^{-1}$  и 1 619–1 638  $\text{cm}^{-1}$ . ПП 1 053  $\text{cm}^{-1}$ , которая появляется дополнительно на ИК-спектрах червей видов *R. diplozetathecus* и *E. ventripapillata*, соответствует колебаниям  $\nu\text{C-O}$  и  $\delta\text{C-O}$  углеводов. При этом для увеличения точности определения видовой принадлежности данным методом необходимо выявить специфические особенности для каждого вида дождевого червя, что планируется сделать на следующем этапе исследования. Для достижения этой цели имеет смысл увеличить размер выборки для получения более точных маркерных характеристик. При этом, возможно, стоит анализировать червей с разных почв и на разных подстилках, чтобы получить надежные маркеры. Другой возможный вариант предполагает выявление специфической части тела дождевого червя, анализ которой даст более четкие видовые признаки и не потребует анализа

всего дождевого червя в целом. Например, если функционально-групповой состав кожно-мускульного мешка будет более видоспецифичным, то это позволит улучшить качество таксономической идентификации.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. М.: Наука, 1979. 272 с.
2. Перель Т.С. Особенности фауны дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) в Алтайских рефугиумах неморальной растительности // Доклады Академии наук СССР. 1985. Т. 283, № 3. С. 752–756.
3. Aw W.C., Dowell F.E., Ballard J.W. Using near-infrared spectroscopy to resolve the species, gender, age, and the presence of Wolbachia infection in laboratory-reared *Drosophila* // G3 (Bethesda). 2012. Vol. 2, № 9. P. 1057–1065. DOI: 10.1534/g3.112.003103.
4. Babiy K.A. et al. What determines ion content of lumbricid casts: soil type, species, or ecological group? // Polish Journal of Ecology. 2021. Vol. 69, № 2. P. 96–110. DOI: 10.3161/15052249PJE2021.69.2.003.
5. Blouin M. et al. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services: earthworm impact on ecosystem services // European Journal of Soil Science. 2013. Vol. 64. P. 161–182. DOI: 10.1111/ejss.12025.
6. Bottinelli N. et al. An explicit definition of earthworm ecological categories - Marcel Bouché's triangle revisited // Geoderma. 2020. Vol. 372. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114361.
7. Bottinelli N., Capowiez Y. Earthworm ecological categories are not functional groups // Biology and Fertility of Soils. 2021. Vol. 57. P. 329–331. DOI: 10.1007/s00374-020-01517-1.
8. Bouché M. Lombriciens de France. Ecologie et Systematique. Paris: INRA, 1972. 671 p.
9. Csuzdi C., Koo J., Hong Y. The complete mitochondrial DNA sequences of two sibling species of lumbricid earthworms, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) (Annelida, Crassicitellata): comparison of mitogenomes and phylogenetic positioning // ZooKeys. 2022. Vol. 1097. P. 167–181. DOI: 10.3897/zookeys.1097.80216.
10. Da Silva R., Gutjahr A., De Morais J. Solving taxonomic Orthoptera problems by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): The case of *Aganacris* Walker, 1871 (Tettigoniidae: Phaneropterinae; Scudderini) // Zootaxa. 2018. Vol. 4461. P. 445–450. DOI: 10.11646/zootaxa.4464.3.10.
11. de Azevedo R.A. et al. Discrimination of termite species using near-infrared spectroscopy (NIRS) // European Journal of Soil Biology. 2019. Vol. 93. 103084. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2019.04.002.
12. Gautier M. et al. The genomic basis of color pattern polymorphism in the harlequin ladybird // Current Biology. 2018. Vol. 28. e3297. DOI: 10.1016/j.cub.2018.08.023.
13. Johnson J.B. Discrimination of Gonipterini weevil genera using near infrared spectroscopy // Journal of Near Infrared Spectroscopy. 2022. Vol. 30, № 5. P. 264–269. DOI: 10.1177/09670335221117300.
14. Jouquet P. et al. Potential of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for identifying termite species // European Journal of Soil Biology. 2014. Vol. 60. P. 49–52. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2013.11.004.
15. Jouquet P. et al. Evidence from mid-infrared spectroscopy (MIRS) that the biochemical fingerprints of *Odontotermes obesus* colonies change according to their geographical location and age // Insectes Sociaux. 2018. Vol. 65. P. 77–84. DOI: 10.1007/s00040-017-0589-0.
16. Latif R., Malek R., Csuzdi C. When morphology and DNA are discordant: Integrated taxonomic studies on the *Eisenia fetida/andrei* complex from different parts of Iran (Annelida, Clitellata: Megadrili) // European Journal of Soil Biology. 2017. Vol. 81. P. 55–63. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2017.06.007.
17. Lavelle P. et al. Ecosystem engineers in a self-organized soil: A review of concepts and future research questions // Soil Science. 2016. Vol. 181, № 3–4. P. 91–109. DOI: 10.1097/SS.000000000000155.
18. Lê S., Josse J., Husson F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis // Journal of Statistical Software. 2008. Vol. 25, № 1. P. 1–18. DOI: 10.18637/jss.v025.i01.
19. Lubbers I.M. et al. Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms // Nature Climate Change. 2013. Vol. 3. P. 187–194. DOI: 10.1038/nclimate1692.
20. Movasaghi Z., Rehman S., ur Rehman I. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues // Applied Spectroscopy Reviews. 2008. Vol. 43, № 2. P. 134–179. DOI: 10.1080/05704920701829043.
21. Pham T. et al. Mid-infrared spectroscopy of earthworm bodies to investigate their species belonging and their relationship with the soil they inhabit // Applied Soil Ecology. 2021. Vol. 162. 103894. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103894
22. Raupach M.J. et al. The application of “-omics” technologies for the classification and identification of animals // Organisms Diversity & Evolution. 2016. Vol. 16. P. 1–12. DOI: 10.1007/s13127-015-0234-6.
23. Richard B. et al. Reintegrating earthworm juveniles into soil biodiversity studies: species identification through DNA barcoding // Molecular Ecology Resources. 2010. Vol. 10. P. 606–614. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2009.02822.x.
24. Rodríguez-Fernández J.I. et al. Barcoding without DNA? Species identification using near infrared spectroscopy // Zootaxa. 2010. Vol. 2933. P. 46–54. DOI: 10.11646/zootaxa.2933.1.3.

25. Shekhovtsov S.V. et al. Cryptic genetic lineages in *Eisenia nordenskioldi pallida* (Oligochaeta, Lumbricidae) // *European Journal of Soil Biology*. 2016. Vol. 75. P. 151–156. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2016.06.004.
26. Shekhovtsov S.V. et al. DNA barcoding: how many earthworm species are there in the south of West Siberia? // *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017. Vol. 7, № 1. P. 57–62. DOI: 10.1134/S2079059717010130.
27. Sikulu M.T. Non-destructive near infrared spectroscopy for simultaneous prediction of age and species of two major African malaria vectors: *An. gambiae* and *An. Arabiensis* // *NIR News*. 2014. Vol. 25, № 5. P. 4–6. DOI: 10.1255/nirn.1455.
28. Srivathsan A. et al. 1D MinION Sequencing for large-scale species discovery: 7000 scuttle flies (Diptera: Phoridae) from one site in Kibale national park (Uganda) revealed to belong to > 650 species // *bioRxiv*. 2019. 622365. DOI: 10.1101/622365.
29. Tao D. et al. Accurate identification of the sex and species of silkworm pupae using near infrared spectroscopy // *Journal of Applied Spectroscopy*. 2018. Vol. 85. P. 949–952. DOI: 10.1007/s10812-018-0744-z.
30. Tiunov A.V. et al. Invasion patterns of Lumbricidae into the previously earthworm-free areas of north-eastern Europe and the western Great Lakes region of North America // *Biological Invasions*. 2006. Vol. 8. P. 1223–1234. DOI: 10.1007/s10530-006-9018-4.
31. van Groenigen J.W. et al. How fertile are earthworm casts? A meta-analysis // *Geoderma*. 2019. Vol. 338. P. 525–535. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.11.001.
32. Vance C.K. et al. Near infrared spectroscopy in wildlife and biodiversity // *Journal of near Infrared Spectroscopy*. 2016. Vol. 24. P. 1–25. DOI: 10.1255/jnirs.1199.
33. Vaupel A., Hommel B., Beule L. High-resolution melting (HRM) curve analysis as a potential tool for the identification of earthworm species and haplotypes // *PeerJ*. 2022. Vol. 10. e13661. DOI: 10.7717/peerj.13661.
34. Velasquez E. et al. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates // *Pedobiologia*. Vol. 51, № 1. 2007. P. 75–87. DOI: 10.1016/j.pedobi.2007.01.002.
35. Vorobeichik E. et al. Long-term dynamics of the abundance of earthworms and enchytraeids (Annelida, Clitellata: Lumbricidae, Enchytraeidae) in forests of the Central Urals, Russia // *Biodiversity Data Journal*. 2021. Vol. 9. e75466. DOI: 10.3897/BDJ.9.e75466.

## References

1. Perel T.S. *Rasprostranenie i zakonomernosti raspredeleniya dozdevnykh červej fauny SSSR* [Range and distribution of earthworms of the USSR fauna]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 272 p. (In Russ.).
2. Perel T.S. [Specific Features of the Earthworm Fauna (Oligochaeta, Lumbricidae) in Altai Refugia of Nemoral Vegetation]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. V. 283(3) (1985): pp 752-756. (In Russ.).
3. Aw W.C., Dowell F.E., Ballard J.W. Using near-infrared spectroscopy to resolve the species, gender, age, and the presence of Wolbachia infection in laboratory-reared *Drosophila*. *G3 (Bethesda)*. V. 2(9) (2012): pp. 1057-1065. DOI: 10.1534/g3.112.003103.
4. Babiy K.A., Kniazev S.Yu., Golovanova E.V., Solomatin D.V., Bel'skaya L.V. What determines ion content of lumbricid casts: soil type, species, or ecological group? *Polish Journal of Ecology*. V. 69(2) (2021): pp. 96-110. DOI: 10.3161/15052249PJE2021.69.2.003.
5. Blouin M., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R. et al. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services: earthworm impact on ecosystem services. *European Journal of Soil Science*. V. 64 (2013): pp. 161-182. DOI: 10.1111/ejss.12025
6. Bottinelli N., Hedde M., Jouquet P., Capowiez Y. An explicit definition of earthworm ecological categories - Marcel Bouché's triangle revisited. *Geoderma*. V. 372 (2020): 114361. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114361.
7. Bottinelli N., Capowiez Y. Earthworm ecological categories are not functional groups. *Biology and Fertility of Soils*. V. 57 (2021): pp. 329-331. DOI: 10.1007/s00374-020-01517-1.
8. Bouché, M. *Lombriciens de France. Ecologie et Systematique*. Paris: INRA, 1972. 671 p.
9. Csuzdi C., Koo J., Hong Y. The complete mitochondrial DNA sequences of two sibling species of lumbricid earthworms, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) (Annelida, Crassielitellata): comparison of mitogenomes and phylogenetic positioning. *ZooKeys*. V. 1097 (2022): pp. 167-181. DOI: 10.3897/zookeys.1097.80216.
10. Da Silva R., Gutjahr A., De Morais J. Solving taxonomic Orthoptera problems by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): The case of *Aganacris* Walker, 1871 (Tettigoniidae: Phaneropterinae; Scudderini). *Zootaxa*. V. 4461 (2018): pp. 445-450. DOI: 10.11646/zootaxa.4464.3.10.
11. de Azevedo R.A., de Morais J.W., Lang C., de Sales Dambros C. Discrimination of termite species using near-infrared spectroscopy (NIRS). *European Journal of Soil Biology*. V. 93 (2019): 103084. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2019.04.002.

12. Gautier M., Yamaguchi J., Foucaud J., Loiseau A., Ausset A., Facon B. et al. The genomic basis of color pattern polymorphism in the harlequin ladybird. *Current Biology*. V. 28(3296–3302) (2018): e3297. DOI: 10.1016/j.cub.2018.08.023.
13. Johnson J.B. Discrimination of Gonipterini weevil genera using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. V. 30(5) (2022): pp. 264-269. DOI: 10.1177/09670335221117300.
14. Jouquet P., Capowiez Y., Bottinelli N., Traoré S. Potential of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for identifying termite species. *European Journal of Soil Biology*. V. 60 (2014): pp. 49-52. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2013.11.004.
15. Jouquet P., Pando A., Aroui H., Harit A., Capowiez Y., Bottinelli N. Evidence from mid-infrared spectroscopy (MIRS) that the biochemical fingerprints of *Odontotermes obesus* colonies change according to their geographical location and age e. *Insectes Sociaux*. V. 65 (2018): pp. 77-84. DOI: 10.1007/s00040-017-0589-0.
16. Latif R., Malek M., Csuzdi C. When morphology and DNA are discordant: Integrated taxonomic studies on the *Eisenia fetida/andrei* complex from different parts of Iran (Annelida, Clitellata: Megadrili). *European Journal of Soil Biology*. V. 81 (2017): pp. 55-63. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2017.06.007.
17. Lavelle P., Spain A., Blouin M., Brown G., Decaëns T., Grimaldi M., Jiménez J.J., McKey D., Mathieu J., Velasquez E., Zangerlé A. Ecosystem engineers in a self-organized soil: A review of concepts and future research questions. *Soil Science*. V. 181(3-4) (2016): pp. 91-109. DOI: 10.1097/SS.000000000000155.
18. Lê S., Josse J., Husson F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*. V. 25(1) (2008): pp. 1-18. DOI: 10.18637/jss.v025.i01.
19. Lubbers I.M., van Groenigen K.J., Fonte S.J., Six J., Brussaard L., van Groenigen J.W. Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms. *Nature Climate Change*. V. 3 (2013): pp. 187-194. DOI: 10.1038/nclimate1692
20. Movasaghi Z., Rehman S., ur Rehman I. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. *Applied Spectroscopy Reviews*. V. 43(2) (2008): pp. 134-179. DOI: 10.1080/05704920701829043.
21. Pham T., Rumpel C., Capowiez Y., Jouquet P., Pelosi C., Pando A., Boukbida H.A., Bottinelli N. Mid-infrared spectroscopy of earthworm bodies to investigate their species belonging and their relationship with the soil they inhabit. *Applied Soil Ecology*. V. 162 (2021): 103894. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103894
22. Raupach M.J., Amann R., Wheeler Q.D., Roos C. The application of “-omics” technologies for the classification and identification of animals. *Organisms Diversity & Evolution*. V. 16 (2016): pp. 1-12. DOI: 10.1007/s13127-015-0234-6.
23. Richard B., Decaëns T., Rougerie R., James S.W., Porco D., Hebert P.D.N. Reintegrating earthworm juveniles into soil biodiversity studies: species identification through DNA barcoding. *Molecular Ecology Resources*. V. 10 (2010): pp. 606-614. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2009.02822.x.
24. Rodríguez-Fernández J.I., de Carvalho C.J., Pasquini C., de Lima M.G., Moura M.O., Arízaga G.G.C. Barcoding without DNA? Species identification using near infrared spectroscopy. *Zootaxa*. V. 2933 (2010): pp. 46-54. DOI: 10.11646/zootaxa.2933.1.3.
25. Shekhovtsov S.V., Berman D.I., Bazarova N.E., Bulakhova N.A., Porco D., Peltek S.E. Cryptic genetic lineages in *Eisenia nordenskioldi pallida* (Oligochaeta, Lumbricidae). *European Journal of Soil Biology*. V. 75 (2016): pp. 151-156. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2016.06.004.
26. Shekhovtsov S.V., Bazarova N.E., Berman D.I., Bulakhova N.A., Golovanova E.V., Konyaev S.V., Krugova T.M., Lyubechanskii I.I., Peltek S.E. DNA barcoding: how many earthworm species are there in the south of West Siberia? *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. V. 7(1) (2017): pp. 57-62. DOI: 10.1134/S2079059717010130.
27. Sikulu M.T. Non-destructive near infrared spectroscopy for simultaneous prediction of age and species of two major African malaria vectors: *An. gambiae* and *An. Arabiensis*. *NIR News*. V. 25(5) (2014): pp. 4-6. DOI: 10.1255/nirn.1455.
28. Srivathsan A., Hartop E., Puniamoorthy J., Lee W.T., Kutty S.N., Kurina O., Meier R. 1D MinION Sequencing for large-scale species discovery: 7000 scuttle flies (Diptera: Phoridae) from one site in Kibale national park (Uganda) revealed to belong to > 650 species. *bioRxiv*. (2019): 622365. DOI: 10.1101/622365.
29. Tao D., Wang Z., Li G., Qiu G. Accurate identification of the sex and species of silkworm pupae using near infrared spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy*. V. 85 (2018): pp. 949-952. DOI: 10.1007/s10812-018-0744-z.
30. Tiunov A.V., Hale C.M., Holdsworth A.R., Vsevolodova-Perel T.S. Invasion patterns of Lumbricidae into the previously earthworm-free areas of northeastern Europe and the western Great Lakes region of North America. *Biological Invasions*. V. 8 (2006): pp. 1223-1234. DOI: 10.1007/s10530-006-9018-4.
31. van Groenigen J.W., van Groenigen K.J., Koopmans G.F., Stokkermans L., Vos H.M.J., Lubbers I.M. How fertile are earthworm casts? A meta-analysis. *Geoderma*. V. 338 (2019): pp. 525-535. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.11.001.
32. Vance C.K., Tolleson D.R., Kinoshita K., Rodriguez J., Foley W.J. Near infrared spectroscopy in wildlife and biodiversity. *Journal of near Infrared Spectroscopy*. V. 24 (2016): pp. 1-25. DOI: 10.1255/jnirs.1199.

33. Vaupel A., Hommel B., Beule L. High-resolution melting (HRM) curve analysis as a potential tool for the identification of earthworm species and haplotypes. *PeerJ*. V. 10 (2022): e13661. DOI: 10.7717/peerj.13661.

34. Velasquez E., Pelosi C., Brunet D., Grimaldi M., Martins M., Carolina Rendeiro A., Barrios E., Lavelle P. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. *Pedobiologia*. V. 51(1) (2007): pp. 75-87. DOI: 10.1016/j.pedobi.2007.01.002.

35. Vorobeichik E., Nesterkov A., Golovanova E., Nesterkova D., Ermakov A., Grebennikov M. Long-term dynamics of the abundance of earthworms and enchytraeids (Annelida, Clitellata: Lumbricidae, Enchytraeidae) in forests of the Central Urals, Russia. *Biodiversity Data Journal*. V. 9 (2021): e75466. DOI: 10.3897/BDJ.9.e75466.

Статья поступила в редакцию 30.01.2023; одобрена после рецензирования 28.02.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 30.01.2023; approved after reviewing 28.02.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

Станислав Юрьевич Князев – [labinvert@omgpu.ru](mailto:labinvert@omgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0031-0618>, научный сотрудник, лаборатория систематики и экологии беспозвоночных;

Кирилл Анатольевич Бабий – [kirillbabiy55@gmail.com](mailto:kirillbabiy55@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7735-9052>, младший научный сотрудник, лаборатория систематики и экологии беспозвоночных;

Елена Васильевна Голованова – [nilseb@omgpu.ru](mailto:nilseb@omgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0871-9274>, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория систематики и экологии беспозвоночных;

Денис Владимирович Соломатин – [solomatin\\_dv@omgpu.ru](mailto:solomatin_dv@omgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9356-9890>, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математики и методики обучения математике;

Елена Александровна Сарф – [nemcha@mail.ru](mailto:nemcha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4918-6937>, научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория биохимии;

Людмила Владимировна Бельская – [LudaB2005@mail.ru](mailto:LudaB2005@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6147-4854>, канд. хим. наук, зав. научно-исследовательской лабораторией биохимии.

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

Stanislav Yu. Kniazev – [labinvert@omgpu.ru](mailto:labinvert@omgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0031-0618>, research associate at Research laboratory of systematics and ecology of invertebrates;

Kirill A. Babiy – [kirillbabiy55@gmail.com](mailto:kirillbabiy55@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7735-9052>, junior researcher at Research laboratory of systematics and ecology of invertebrates;

Elena V. Golovanova – [nilseb@omgpu.ru](mailto:nilseb@omgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0871-9274>, candidate of Biological Sciences, senior researcher at Research laboratory of systematics and ecology of invertebrates;

Denis V. Solomatin – [solomatin\\_dv@omgpu.ru](mailto:solomatin_dv@omgpu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9356-9890>, candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor of the Department of mathematics and methods of teaching mathematics;

Elena A. Sarf – [nemcha@mail.ru](mailto:nemcha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4918-6937>, research associate of biochemistry research laboratory;

Ludmila V. Bel'skaya – [LudaB2005@mail.ru](mailto:LudaB2005@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6147-4854>, candidate of Chemical Sciences, head of biochemistry research laboratory.

#### **Вклад авторов:**

Князев С. Ю. – концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы, сбор дождевых червей.

Бабий К. А. – сбор дождевых червей; лабораторный анализ материала; доработка текста.

Голованова Е. В. – сбор и определение дождевых червей; доработка текста.

Соломатин Д. В. – статистическая обработка материала.

Сарф Е. А. – лабораторный анализ материала.

Бельская Л. В. – научное консультирование; написание исходного текста; статистическая обработка материала.

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

Kniazev S. Yu. – research concept; writing the source text; scientific conclusion; collection of earthworms.

Babiy K. A. – collection of earthworms; laboratory analysis of the material; follow on revision of the text.

Golovanova E. V. – collection and identification of earthworms; follow on revision of the text.

Solomatin D. V. – statistical processing of the material.

Sarf E. A. – laboratory analysis of the material.

Bel'skaya L. V. – scientific consultation; writing the source text; statistical processing of the material.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

ЗООЛОГИЯ

Научная статья

УДК 574.587

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-158-165

**Фауна и сообщества донных беспозвоночных ручьёв и  
родников Айтуарской степи (Оренбургский государственный  
степной заповедник)**

**Татьяна Сергеевна Крайнева<sup>1✉</sup>, Николай Николаевич Паньков<sup>2</sup>**

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

<sup>1✉</sup> silhouette@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9538-7348>

<sup>2</sup> hydropsych@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2322-2215>

**Аннотация.** В составе зообентоса ручьёв и родников Айтуарской степи выявлено 49 видов и форм. Наиболее разнообразно представлены хирономиды (11). Богаты видами подёнки (10), ручейники (7) и веснянки (5). Среди прочих беспозвоночных зарегистрированы нехирономидные двукрылые (8), моллюски (3), малощетинковые черви (1), бокоплавы (1), вислокрылки (1), клопы (1) и жуки (1). Специфику фауны определяет присутствие генетически сибирского вида *M. borealis*. Негативной чертой является отсутствие ручейников *Beraea*, *Crunoecia* и *Parachiona*. В ручьях выявлено пять типов зообентоценозов. Наиболее характерен зообентоценоз валунно-галечных грунтов. Его численность составляет 7.19 тыс. экз./м<sup>2</sup> при биомассе 17.75 г/м<sup>2</sup>. Второй тип зообентоценозов приурочен к песчано-гравийно-галечным грунтам (20.28 тыс. экз./м<sup>2</sup> при биомассе 27.48 г/м<sup>2</sup>). Зообентоценозы валунных грунтов с моховыми обрастаниями, песчаных грунтов и илов имеют меньшее распространение. В родниках установлено два типа зообентоценозов. На валунно-галечных грунтах формируется сообщество, численность и биомасса которого составляют 6.80 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 10.88 г/м<sup>2</sup> соответственно. На песчаных грунтах с примесью грубого детрита складывается сообщество с умеренным уровнем развития (численность 3.80 тыс. экз./м<sup>2</sup> при биомассе 6.44 г/м<sup>2</sup>).

**Ключевые слова:** зообентос, ручьи и родники, Айтуарская степь

**Для цитирования:** Крайнева Т. С., Паньков Н. Н. Фауна и сообщества донных беспозвоночных ручьёв и родников Айтуарской степи (Оренбургский государственный степной заповедник) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 158–165. [На англ.]. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-158-165>.

**Благодарности:** авторы благодарят Сергея Леонидовича Есюнина за предоставление сборов имаго амфибиотических насекомых.

ZOOLOGY

Original article

**Fauna and benthic communities of invertebrates of the springs  
and streams within the Aituar steppe (Orenburg state  
nature reserve)**

**Tatyana S. Krajneva<sup>1✉</sup>, Nikolay N. Pan'kov<sup>2</sup>**

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

<sup>1✉</sup> silhouette@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9538-7348>

<sup>2</sup> hydropsych@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2322-2215>

**Abstract.** The benthic (invertebrate) community of streams and springs in the Aituar steppe includes 49 taxon. Chironomids are the most diverse (11). Mayflies (10), caddisflies (7) and stoneflies (5) are rich in species. Among other invertebrates, non-chironomid dipterans (8), mollusks (3), oligochaetes (1), amphipods (1), alder flies (1), bugs (1) and beetles (1) were recorded. The specificity of the fauna is determined by the presence of the genetically Siberian species *M. borealis*. Its negative feature is the absence of such wide-spread European taxa as the caddisflies of the genera *Beraea*, *Crunoecia*, and *Parachiona*, as well as genetically Siberian elements, the mollusks *Parasphaerium rectidens* (Starobogatov et Streletzkaja, 1967), stoneflies *Arcynopteryx compacta* (McLachlan, 1872), and *Nemoura arctica* Esben-Petersen, 1910, may-flies *Cinygma lyriformis* (McDunnough, 1924) and *Ephemerella aurivillii* Bengtsson, 1908, caddisflies *Asynarchus lapponicus* Zetterstedt, 1840 and *Apa-*

*tania stigmatella* (Zetterstedt, 1840), common in the northern regions of the Urals and Cis-Urals. Were identified groups of invertebrates that are characteristic of both spring-fed water bodies and elements of the benthic fauna of warm-water streams. Five types of zoobenthocenoses were identified in streams. The zoobenthocenosis of cobbled (boulder-pebble) substratum is the most typical. Its abundance is 7.19 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 17.75 g/m<sup>2</sup>. The second type is the sand-gravel and pebble zoobenthocenoses (20.28 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 27.48 g/m<sup>2</sup>). Zoobenthocenoses of boulder substratum with moss fouling, sandy substratum and silts are less widespread. Two types of zoobenthocenoses are found in springs. A community with the abundance and biomass of 6.8 thousand ind./m<sup>2</sup> and 10.88 g/m<sup>2</sup> respectively develops on boulder-pebble substratum, and on sandy substratum with coarse CPOM a community with a moderate level of development (number 3.80 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 6.44 g/m<sup>2</sup>) is observed.

**Keywords:** zoobenthos, streams, springs, Aituar steppe

**For citation:** Krajneva T. S., Pan'kov N. N. Fauna and benthic communities of invertebrates of the springs within Aituar steppe (Orenburg state nature reserve). *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 158-165. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-158-165>.

**Acknowledgments:** the authors would like to thank Sergey L. Esyunin for providing collections of adult amphibiotic insects.

## Introduction

The Orenburg National Nature Reserve was established on May 12, 1989 with the aim of preserving and restoring the steppe landscapes of the Southern Urals and adjacent territories [Chibilev, 1996]. Currently, the structure of the reserve includes five sections (Fig. 1).

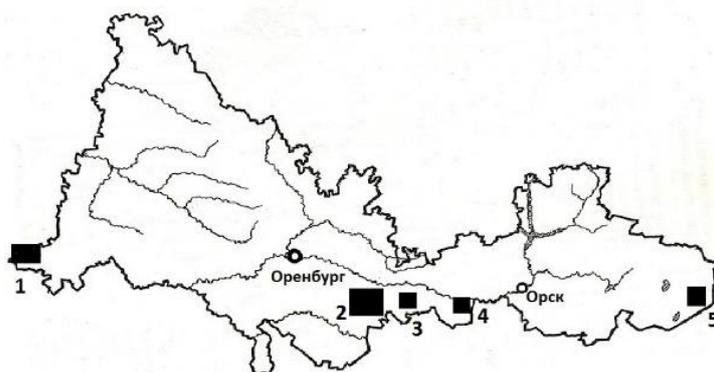


Fig. 1. Orenburg region. The black rectangles indicate the following areas of the Orenburg Reserve:

1 - Talovskaya steppe; 2 - Cis-Ural steppe; 3 - Burtinskaya steppe; 4 - Aytuarskaya steppe; 5 - Ashchisai steppe

The Aytuarskaya steppe (Aituar steppe) is a part of the Orenburg Reserve, its area is about 6300 ha [Chibilev, 1996]. It is located on the left bank of the Ural River, near the village of Aituarka in the Kuvandyk municipal district, on the border between Russia and Kazakhstan. There are several small rivers (streams or brooks) within this territory, the largest of them are Tashkak, Shinbutak and Aituarka.

Despite more than thirty years of history of the reserve, accompanied by an active study of the reference steppes, its streams and springs were beyond the attention of specialists. Meanwhile, water bodies are an integral component of steppe landscapes, and without studying them our understanding of the nature in this unique region will be incomplete.

## Natural conditions

According to the scheme of physical-geographical zoning [Chibilev, 1987], the Aituar steppe belongs to the Guberlin lowland and hill region of the South Ural low-mountain steppe province of the Ural Mountains. This section of the reserve differs from its other territories in the most dissected and severe topography. In the distant past, from the end of the Triassic period through the Paleogene, this section laid within the vast penepplain, which developed on the site of the ancient Urals, subjected to erosion. Subsequently, due to the general elevation of the lands, watercourses eroded deep and narrow valleys, so, as a result, the so-called lowland and hill region was formed. Only a small plateau has survived to the present day – the remains of the ancient and heavily destroyed penepplain, rising two hundred meters above the Ural river [Chibilev, 1996].

The Aituar steppe is formed by elevated watershed areas with steppe vegetation, deeply incised ravines and ridges separating them from stony steppe, as well as small hills with rock outcrops. Against this background,

individual thickets of steppe shrubs stand out including birch and aspen groves, willows in marshy and low lands, and black alder brushes along streams [Chibilev, 1996].

Elevated areas and terrains with steep slopes are characterized by thin, discontinuous soils with frequent rock outcrops. Residual-calcareous low-humus black soils (chernozems), common for fescue-feather grass vegetation of the southern part of the steppe zone, are confined to watershed spaces and glacis of valleys. In some places, there are soils with chloride-sulfate salinization. Meadow-chernozem soils with an average content of humus and a heavy mechanical composition are developed along the bottoms of the ravines. Meadow-marsh soils are common mostly along the hollows [Chibilev, 1996].

The climate of the Aituar steppe is continental. The average long-term temperature of the warmest month, July, is +20 ... +21°C, the coldest, January, -15.6°C. An important feature of natural conditions is insufficient moisture (388 mm of precipitation per year) [Chibilev, 1996].

Characteristic elements of the Aituar steppe landscape are deep ravines with watercourses confined to their bottoms. These are small rivers or brooks, the length of which does not exceed 10 km. They are characterized by cobbled soils containing boulders and pebbles, sometimes with thick moss fouling, less often – sand and gravel-pebble soils, sandy and silty with varying proportions of coarse plant detritus. The water temperature in July, according to our observations, varied within 6.5-12.5°C. There are also numerous springs in this area.

Information on the chemical composition of the water of streams and springs of the Aituar steppe is not available in the literature.

## Materials and methods

This report is based on the results of processing 12 quantitative zoobenthos samples taken by T.S. Krajneva in July 2017. The material was sampled on the territory of the Federal State Budgetary Institution “National Nature Reserve Orenburgsky” within the “Aituar Steppe” site (near the village of Aytuar (Fig. 2). The studies covered the tributaries of the Ural River - small rivers Aytuar, Karagashta, Shinbutak and Tashkak, as well as three nameless springs.

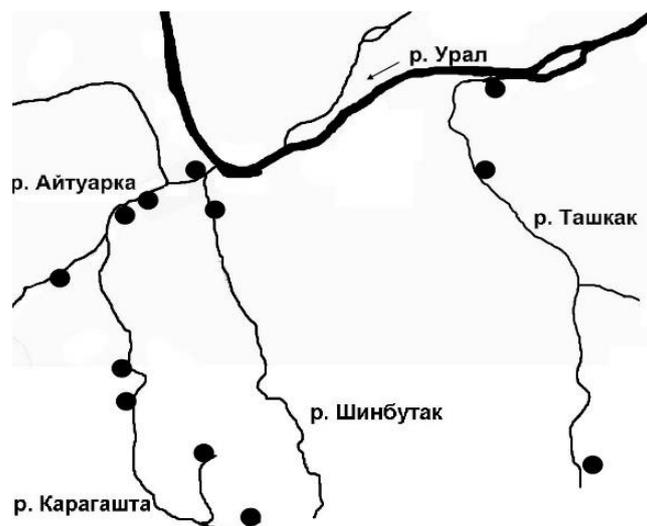


Fig. 2. Area of investigations. The circles indicate the places of hydrobiological sampling and adult amphibious insects

Quantitative samples of zoobenthos were taken by means of a surber sampler designed by V.V. Bogatov [1994] and a hydrobiological scraper. The material was processed according to the standard method [Methodika..., 1975].

To clarify the taxonomic affiliation of the larvae of amphibiotic insects living in the springs and streams, their imagoes were caught on stones and coastal vegetation, manually and with the help of an entomological net. The original materials are supplemented by collections made by S.L. Yesyunin in April and May 1997 and 2000. The total volume of the material contains 29 collections of imagoes.

Animal identification was carried out according to O.A. Chernova [1964], L.A. Zhiltsova [1964, 2003], O.L. Kachalova (1987), P. Ashe & P.S.Cranston [1990], D.R. Oliver, M.E. Dillon & P.S. Cranston [1990]. N.Yu. Kluge [1997], E.A. Makarchenko [1999], V.D. Ivanova et al. [2001], P.H. Langton & L.C.V. Pinder [2007], V.A. Teslenko and L.A. Zhiltsova [2009], P. Ashe & J.P. O'Connor [2009, 2012], Mayflies, stoneflies and caddisflies were identified by N.N. Pan'kov.

## Taxonomic composition

In the zoobenthos of streams and springs of the Aytuar steppe, 49 species and forms of benthic animals were identified.

Diptera larvae are the most diverse, numbering 19 species and forms, of which the Chironomidae family is especially rich in species.

When identifying adult chironomids, 11 taxa were identified: *Thienemannimyia lentiginosa* (Fries, 1823) from the subfamily Tanypodinae, *Corynoneura lobata* Edwards, 1924, *Cricotopus bicinctus* (Meigen, 1818), *Cricotopus rufiventris* (Meigen, 1830), *Limnophyes minimus* (Meigen, 1818), *Limnophyes natalensis* (Kieffer, 1914), *Paraphaenocladus impensus* (Walker, 1856), *Rheocricotopus chalybeatus* (Edwards, 1929), *Tvetenia* sp. from Orthoclaadiinae, *Nilothauma brayi* (Goetghebuer, 1921) and *Paratendipes albimanus* (Meigen, 1818) from Chironominae.

In the non-chironomid Diptera larvae, the following were recorded: larvae of Simuliidae, Limoniidae (*Dicranota* sp.), Tipulidae, Tabanidae horseflies, Empididae, Ceratopogonidae, Dixidae, and Psychodidae moth flies.

The fauna of mayflies (Ephemeroptera) includes 10 species and forms belonging to 5 families: *Metretopus borealis* (Eaton, 1871) from Ametropodidae, *Baetis niger* (Linnaeus, 1761), *Baetis rhodani* (Pictet, 1845), and *Cloeon bifidum* Bengtsson, 1912 from Baetidae, *Ecdyonurus aurantiacus* (Burmeister, 1839), *Heptagenia coeruleans* (Rostock, 1878) and *Heptagenia sulphurea* (Mueller, 1776) from Heptageniidae, *Ephemera lineata* (Eaton, 1870) and *Ephemera vulgata* (Linnaeus, 1758) from Ephemeridae and *Leptophlebia submarginata* (Stephens, 1835) from Leptophlebiidae.

Among the caddisflies (Trichoptera), 7 species from 5 families were recorded: *Rhyacophila nubila* (Zetterstedt, 1840) from Rhyacophilidae, *Plectrocnemia conspersa* (Curtis, 1834) and *Polycentropus flavomaculatus* (Pictet, 1834) from Polycentropodidae, *Brachycentrus subnubilus* (Curtis, 1834) from Brachycentridae, *Apatania crymophila* (McLachlan, 1880) from Apataniidae, *Limnephilus* sp. and *Potamophylax latipennis* (Curtis, 1834) from the Limnephilidae.

Plecoptera are represented by 5 species from two families: *Amphinemura borealis* (Morton, 1894), *Nemoura cinerea* (Retzius, 1783), *Nemoura flexuosa* Aubert, 1949 and *Protonemura intricata* (Ris, 1902) from Nemouridae, and *Leuctra hippopus* (Kempny, 1899) from Leuctridae.

Two Bivalvia were identified: *Euglesa supina* (Schmidt, 1850) and *Sphaerium rivicola* (Lamarck, 1818) from Sphaeriidae. Gastropoda are represented by *Galba truncatula* freshwater snails (O.F. Muller, 1774).

Among other invertebrates, we recorded *Nais elinguis* (O.F. Mueller, 1773) from Naididae, *Gammarus lacustris* (Sars, 1863), *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841) from Gammaridae, *Sialis fuliginosa* (Pictet, 1836), *Aphelocheirus aestivalis* (Fabricius, 1803) from Aphelocheiridae, and *Elmis* sp. from Elmiidae.

In our collections, the discovery of *M. borealis* is of particular interest. Being mostly distributed in Eastern Siberia, those insects penetrate into Europe along its northern regions up to Scandinavia. The upper reaches of the Pechora river serve as the southern boundary of their continuous distribution in the Urals.

Apparently, like some other Siberian-Northern European species, *M. borealis* has an extensive disjunction within the low mountains of the Middle Urals, demonstrating an example of the boreal-alpine distribution in Europe, which is so characteristic for representatives of the Siberian faunal complex [Pan'kov, 2000].

The zoobenthos of springs and streams of the Aytuarskaya steppe contains species typical of spring-fed water bodies. These are larvae of *Dicranota* sp., caddisflies of the *Apatania* genus, mayflies *B. rhodani*, and stoneflies *N. pictetii*. These invertebrates are among the most common representatives of the benthic fauna of springs and spring streams of the East European Plain [Ivanovsky, 2010; Chertoprud, 2011], including the Middle Volga region [Chuzhekova, 2015], as well as the Urals and Cis-Urals within the Perm Kama region [Pan'kov, Krashennnikov, 2012].

Among the representatives of the benthic fauna of the springs and streams in the Aytuar steppe, there are typical inhabitants of small cold-water rivers in Europe. These are *A. borealis*, *S. fuliginosa*, *R. nubila*, *P. conspersa*, and *P. latipennis*. The same species form the main background of the zoobenthos in the streams and rivers of the Perm Kama region [Pan'kov, 2000].

At the same time, the watercourses of the Aytuar steppe, contain forms that are unusual for hydrological objects of this type. These include bivalve mollusks *S. rivicola*, mayflies *E. lineata*, bugs *A. aestivalis*, and caddisflies *B. subnubilus*, which are common for relatively large, temperate warm watercourses of plains and foothills. Perhaps this is due to the close vicinity of the Ural River, which provides a certain "demographic pressure" in the populations of these species, and the corresponding fund of migrants.

In comparison with most other regions of Europe, the specificity of the taxonomic composition of the benthic fauna in the springs and streams of the Aytuar steppe is determined by the presence of the genetically Siberian species *M. borealis*, which is partly due to the borderline position of the Urals between Europe and Siberia, and partly due to its role as a unique faunistic corridor, which ensures penetration of relatively cold-loving representatives of the Siberian faunistic complex into low latitudes.

It should be noted, however, that in comparison with the northern Perm Kama region, the participation of genetically Siberian elements in the composition of the Aytuar steppe hydrofauna is relatively small. Thus, neither

molluscs *Parasphaerium rectidens* (Starobogatov et Streletzkaia, 1967), nor stoneflies *Arcynopteryx compacta* (McLachlan, 1872) and *Nemoura arctica* Esben-Petersen, 1910, nor mayflies *Cinygma lyriformis* (McDunough, 1924) and *Ephemerella aurivillii* Bengtsson, 1908, nor caddisflies *Asynarchus lapponicus* Zetterstedt, 1840 and *Apatania stigmatella* (Zetterstedt, 1840) found in similar water bodies in Perm region [Pankov and Krasheninnikov, 2012]. On the whole, this corresponds to the general zoogeographical rule— the gradual decrease of genetically Siberian elements in Europe as one moves to low latitudes [Pan'kov, 2000].

Among other negative features of the fauna of the springs and streams in the Aytuar steppe, common to the entire Urals and Cis-Urals, is the absence of such widespread European taxa as caddisflies genera *Beraea*, *Cru-noecia* and *Parachiona*, which are characteristic for the central regions of European Russia [Ivanovsky, 2010; Chertoprud, 2011]. However, the last two taxa were not found in the spring streams of the Middle Volga basin either [Chuzhekova, 2015].

Apparently, this is explained by the faunogenetic processes that took place in the late Pleistocene and Holocene and consisted in filling a kind of "ecological vacuum" - a habitable, but uninhabited territory, recently abandoned by glaciers. Taxa, leaving European refuges, distributed and reached different borders, and not all of them were able to reach the Urals. As a result, we observe a trend towards depletion of the European fauna of amphibiotic insects in the direction from south to north and from west to east [Pan'kov, 2000].

It is noteworthy that 85% of the taxonomic diversity of the zoobenthos in the springs and streams of the Aytuar steppe is provided by amphibiotic insects capable of flight in the adult stage. Similar figures are given by M.V. Chertoprud [2006] for springs near Moscow (91%), and N.N. Pan'kov and A.B. Krasheninnikov [2012] for Perm region along the Kama river (88%).

This once again confirms the proposition of the island theory of biogeography, according to which the terminal sections of the river network are similar to islands [Chertoprud, 2006]. These are small bodies of water, separated by more or less extensive areas of land. Although they are connected with each other within the same river system, the watercourses connecting them are not suitable for the habitation of specialized cold-water forms and therefore are effective obstacles to settling. Therefore, like any other insular fauna, the population of the terminal sections of the river network is characterized by the predominance of vagil forms capable of overcoming barriers (in this case, watershed spaces) and being carried by the wind over considerable distances.

### Communities of zoobenthos

Based on biotopic features and differences in structural characteristics, the entire population of benthic animals in the streams of the Aytuar steppe is divided into five types of zoobenthocenoses.

The most typical one for these watercourses is the zoobenthocenosis of boulder-pebble substratum, which covers most of the area of stream channels. This is a rather diverse and productive community: 22 taxa were identified in its composition, and the abundance is 7.19 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 17.75 g/m<sup>2</sup> (Table 1).

Caddisflies *B. subnubilus*, *P. conspersa*, *P. latipennis*, *P. flavomaculatus*, and *R. nubila* and mayflies *B. rhodani* form the core of the community. They are accompanied by non-chironomid Diptera, mainly Limoniidae (*Dicranota sp.*) and chironomid larvae. Amphipods *G. lacustris* are also represented. Among other invertebrates, Oligochaeta (*N. elinguis*), *L. fusca*, and *A. aestivalis* are recorded, as well.

Table 1

**Population structure, abundance (N, thousand ind./m<sup>2</sup>) and biomass (B, g/m<sup>2</sup>) of zoobenthocenoses in streams of the Aytuar steppe**

Species, groups	Substratum type									
	Boulder-pebble		Sand and gravel-pebble		Boulder-pebble with moss fouling		Sand		Silt	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Trichoptera	0.24	5.50	0.24	12.88	0.04	3.36	0.20	1.84	0	0
Ephemeroptera	0.69	3.45	1.68	2.44	1.24	5.20	0	0	0.36	0.80
Diptera (except Chironomidae)	0.57	2.99	1.08	4.68	0.04	0.04	3.52	1.92	2.40	4.40
Chironomidae	4.71	2.93	15.16	3.16	3.12	0.80	1.36	0.60	1.68	1.04
Gammaridae	0.23	1.32	0	0	0.04	0.12	0	0	0.44	5.76
Oligochaeta	0.11	0.72	0.08	0.04	0.72	12.64	0	0	0	0
Plecoptera	0.55	0.51	1.72	2.24	0	0	1.52	1.00	0.28	0.16
Hemiptera	0.01	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0
Megaloptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	1.04
Gastropoda	0	0	0.20	1.20	0	0	0	0	0	0
Bivalvia	0	0	0.08	0.84	0	0	0.08	0.44	0	0
Total	7.11	17.62	20.24	27.48	5.20	22.16	6.68	5.80	5.20	13.20

The second most common type of zoobenthocenosis refers to sand-gravel and pebble substratum with varying degrees of siltation. It includes 12 taxa. This is the richest community in quantitative terms: its abundance reaches 20.28 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 27.48 g/m<sup>2</sup>.

The most significant contribution to the biomass of zoobenthocenosis (up to 47%) is made by caddisflies *R. nubila*. Along with them, the role of larvae of Limoniidae, Chironomidae, *E. vulgata*, *N. flexuosa* and *A. borealis* is relatively significant. Associated forms include *G. truncatula* and *S. rivicola*. Chironomid larvae constitute the basis of the population of benthic animals (75%). Along with them, mayflies and stoneflies significantly contribute in this indicator.

Among fairly common habitats of benthic fauna are boulder-pebble soils with moss fouling; a community that is relatively depauperate in terms of quality (only 7 taxa) were formed there, which, however, achieves impressive quantitative indicators (Table 1). More than half of the biomass (57%) is provided by oligochaetes. Mayflies *B. rhodani* and caddisflies *P. latipennis* make a significant contribution to the formation of zoobenthocenosis. They are accompanied by larvae of Dixidae, Chironomidae, as well as *G. lacustris*.

Sandy substratum are quite widely represented in the Tashkak stream. A qualitatively and quantitatively depauperated zoobenthocenosis is formed here, which is dominated by non-chironomid Diptera Limoniidae, Tabanidae, and Tipulidae and caddisflies *Limnephilus sp.* They are accompanied by *N. flexuosa*, chironomid larvae, and bivalves *E. supina*.

A relatively rare type of substratum is silt with an admixture of coarse plant CPOM. In particular, this kind of substratum is noted in the Shinbutak stream. A qualitatively scanty community is formed in this biotope, which is based on *G. lacustris* and Limoniidae, Tabanidae, and Tipulidae. *S. fuliginosa*, chironomid larvae, and *B. rhodani* play a significant part in the biomass composition. Stoneflies *A. borealis* were found there among other invertebrates, but they do not play a significant role in the community. The abundance and biomass of zoobenthocenosis are relatively moderate: 5.24 thousand ind./m<sup>2</sup> and 13.24 g/m<sup>2</sup>, respectively.

In springs of the Aituar steppe, two types of benthic animal communities were identified. On boulder-pebble substratum with moss fouling, a quantitatively rich zoobenthocenosis is formed; that community is dominated by stoneflies *N. flexuosa* and *A. borealis*, mayflies *E. vulgata*, *B. niger* and *B. rhodani*. They are accompanied by larvae of Chironomidae and bivalves *Euglesa sp.* Along with them, larvae of Limoniidae, Tipulidae, *P. latipennis* and *A. crymophila*, and oligochaetes were recorded in the community, but their role in the composition of the zoobenthos structure is relatively insignificant. The abundance and biomass of benthic fauna amounted to 6800 ind./m<sup>2</sup> and 10.88 g/m<sup>2</sup>, respectively (Table 2).

Table 2

**Population structure, abundance (N, thousand ind./m<sup>2</sup>) and biomass (B, g/m<sup>2</sup>) of zoobenthocenoses in springs of the Aituar steppe**

Species, groups	Substratum type			
	Boulder-pebble		Sand	
	N	B	N	B
Plecoptera	2.26	3.80	0.08	1.24
Ephemeroptera	0.22	3.28	0.04	0.32
Chironomidae	3.74	1.52	0.12	0.10
Bivalvia	0.08	1.10	0	0
Diptera (except Chironomidae)	0.50	0.74	3.56	4.88
Trichoptera	0.14	0.34	0	0
Oligochaeta	0.02	0.30	0	0
Total	6.96	11.08	3.80	6.54

A community with a moderate level of development gets formed on sandy substratum with an admixture of coarse plant CPOM; its abundance is 3800 ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 6.44 g/m<sup>2</sup> (Table 2). The core of the community is formed by Psychodidae larvae; they account for over 90% of the population and 70% of the total biomass of benthic animals. Along with them, *N. flexuosa* and *P. intricata*, as well as *B. rhodani* and larvae of chironomids and Tipulidae play a significant role in the zoobenthos composition.

Thus, the abundance of zoobenthos in the streams and springs of the Aituar steppe was in the range of 3.80–20.28 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 5.80–27.48 g/m<sup>2</sup>.

Similar parameters of the development of benthic fauna in streams and springs are also given in the literature. For instance, for small streams of plains and foothills of the Perm Kama region, comparable in size and temperature conditions with streams of the Aituar steppe, N.N. Pan'kov [2000] gives the abundance and biomass values in the range of 1.39–84.1 thousand ind./m<sup>2</sup> and 1.28–33.513.9 thousand ind./m<sup>2</sup> and 8.7–19.9 g/m<sup>2</sup>, respectively.

In springs of the Urals and Cis-Urals within the Perm region, the biomass of benthic animals varied within 8.5–32.9 g/m<sup>2</sup> [Pan'kov and Krashennnikov, 2012]. T.A. Chuzhekova [2015] indicates that the biomass of zoo-

benthos in spring streams of the Middle Volga basin varied within a very wide range, but in most cases was in the range of 20–30 g/m<sup>2</sup> at a population of 0.8–40.0 thousand ind./m<sup>2</sup>.

## Conclusions

1. The zoobenthos composition of streams and springs of the Aituar steppe numbers 49 taxa of benthic animals. Chironomids are the most diverse (11). Mayflies (10), caddisflies (7) and stoneflies (5) are rich in species. Among other invertebrates, non-chironomid dipterans (8), mollusks (3), oligochaetes (1), amphipods (1), Alder flies (1), bugs (1) and beetles (1) were recorded.

2. The groups that are characteristic for spring-fed reservoirs, inhabitants of small cold-water rivers, and elements of the benthic fauna of relatively large warm-water streams are identified in the ecological structure of the population of streams and springs.

3. The specificity of the taxonomic composition of the benthic fauna in springs and streams of the Aituar steppe is determined by the presence of the genetically Siberian species *M. borealis*. A negative feature of the fauna is the absence of such widespread European taxa as caddisflies *Beraea*, *Crunoecia* and *Parachiona*, as well as genetically Siberian elements, the mollusks *Parasphaerium rectidens* (Starobogatov et Streletzkaja, 1967), stoneflies *Arcynopteryx compacta* (McLachlan, 1872), and *Nemoura arctica* Esben-Petersen, 1910, mayflies *Cinygma lyriformis* (McDunnough, 1924) and *Ephemerella aurivillii* Bengtsson, 1908, caddisflies *Asynarchus lapponicus* Zetterstedt, 1840 and *Apatania stigmatella* (Zetterstedt, 1840), common in the northern regions of the Urals and Cis-Urals.

4. Five types of zoobenthocenoses are identified in streams of the Aituar steppe. The most characteristic is the zoobenthocenosis of boulder-pebble substratum. Its abundance is 7.19 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 17.75 g/m<sup>2</sup>. The second most common type of zoobenthocenoses is confined to sand-gravel and pebble substratum (20.28 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 27.48 g/m<sup>2</sup>). Zoobenthocenoses of boulder substratum with moss fouling, sandy substratum and silts are less common.

5. Two types of zoobenthocenoses are found in Aituar springs. The community with the abundance and biomass of 6800 ind./m<sup>2</sup> and 10.88 g/m<sup>2</sup> respectively develops on boulder-pebble substratum, and on sandy substratum with coarse CPOM the community with a moderate level of development (number 3.80 thousand ind./m<sup>2</sup> with a biomass of 6.44 g/m<sup>2</sup>) is observed.

## References

1. Ashe P., Cranston P.S. Family Chironomidae. In: Catalogue of Palaearctic Diptera. Budapest, Akademia Kiado, 1990, V. 2. Psychodidae – Chironomidae, pp. 113-355.
2. Ashe P, O'Connor J.P. A World Catalogue of Chironomidae (Diptera). Dublin, Irish Biogeographical Society and National Museum of Ireland, 2009. P. 1. 445 p.
3. Ashe P, O'Connor J.P. A World Catalogue of Chironomidae (Diptera). Dublin, Irish Biogeographical Society and National Museum of Ireland, 2012. P. 2. 968 p.
4. Bogatov V.V. *Ėkologija rečnych soobščestv Rossijskogo Dal'nego Vostoka* [Ecology of river communities in the Russian Far East]. Vladivostok, 1994. 209 p. (In Russ.).
5. Chernova O.A. [Ephemeroptera order - mayflies]. *Opredelitel' nasekomych Evropejskoj časti SSSR* [Determinant of the insects of the European part of the USSR]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1964, V. 1. p. 110-136. (In Russ.).
6. Chertoprud M.V. [Spring communities of macrobenthos in the Moscow region] *Žurnal obščey biologii*. V. 67, No 5 (2006): pp. 376-384. (In Russ.).
7. Chertoprud M.V. [Diversity and classification of rheophilic communities of macrobenthos in the middle zone of European Russia] *Žurnal obščey biologii*. V. 72 (2011): pp. 51-73. (In Russ.).
8. Chibilev A.A. *Reka Ural* [Ural River: Historical, Geographical and Ecological Essays on the Ural River Basin]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987. 168 p. (In Russ.).
9. Chibilev A.A. *Prirodnoe nasledie Orenburgskoj oblasti* [The natural heritage of the Orenburg region]. Orenburg, Knižnoe izdatel'stvo Publ., 1996. 197 p. (In Russ.).
10. Chužekova T.A. [Structural and functional properties of macrobenthos communities in spring streams of the Middle Volga basin]. St.-spb., 2015. 242 p. (In Russ.).
11. Ivanov V.D., Grigorenko V.N., Arephina T.I. [Trichoptera caddisflies]. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonočnykh Rossii i sopredel'nykh territorij* [Determinant of freshwater invertebrates of Russia and neighborhood territories]. St-Peterburg, 2001, V. 5. Higher insects, pp. 7-72. (In Russ.).
12. Ivanovskij A.A. *Ecologija i zoogeografija rodnikovogo makrozoobentosa vostočnoj Evropy*. Avtoref. diss. kand. nauk [Ecology and zoogeography of spring macrozoobenthos in Eastern Europe. Abstract Cand. Diss.]. Moscow, 2010. 22 p. (In Russ.).

13. Kachalova O.L. [Trichoptera order - caddisflies]. *Opredelitel' nasekomykh Evropeiskoy časti SSSR* [Determinant of the insects of the European part of the USSR]. St-Peterburg, Nauka Publ., 1987, V. 4. Megaloptera, serpent flies, neuropterous, scorpion flies and caddisflies, pp. 107-193. (In Russ.).
14. Kluge N.Yu. [Mayflies (Ephemeroptera)] *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonočnykh Rossii i sopredel'nykh territorij* [Determinant of freshwater invertebrates of Russia and neighborhood territories]. St-Peterburg, 1997, V. 3. Arachnids. Lower insects, pp. 175-220. (In Russ.).
15. Langton P.H. et Pinder L.C.V. Keys to the adult male Chironomidae of Britain and Ireland. 2007. V. 1. 227 p., V. 2 168 p.
16. Makarchenko E.A. [Chironomidae chironomids] *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonočnykh Rossii i sopredel'nykh territorij* [Determinant of freshwater invertebrates of Russia and neighborhood territories]. St-Peterburg, 1999, V. 4. Higher insects. Diptera, pp. 210-295. (In Russ.).
17. Morduchay-Boltovskoy F.D., ed. *Metodika izučeniya biocenozov vnutrennich vodoemov* [Methodology for studying biogeocenoses of inland water bodies]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 240 p. (In Russ.).
18. Oliver D.R., Dillon M.E., Cranston P.S. A catalog of Nearctic Chironomidae. Research Branch Agriculture Canada, 1990. 89 p.
19. Pan'kov N.N. *Zoobentos tekučich vod Prikam'ja* [Zoobenthos of running waters of Prikamie]. Perm, Garmonia Publ., 2000. 192 p. (In Russ.).
20. Pan'kov N.N., Krashennnikov A.B. [Zoobenthos of springs of the Urals (Perm Prikamie)] *Vestnik Permskogo universiteta. Biology*. Iss. 1 (2012): pp. 18-24. (In Russ.).
21. Teslenko V.A., Zhil'tsova L.A. *Opredelitel' vesnjank Insecta, Plecoptera Rossii I sosednich stran* [Determinant of stoneflies Insecta, Plecoptera of Russia and neighborhood countries. Imago and larvae]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2009. 382 p. (In Russ.).
22. Zhil'tsova L.A. [Plecoptera order – Stoneflies] *Opredelitel' nasekomykh Evropeiskoy časti SSSR* . [Determinant of the insects of the European part of the USSR]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1964, T. 1, pp. 177-200. (In Russ.).
23. Zhil'tsova L.A. [Stoneflies (Plecoptera). Euholognatha group] *Fauna Rossii I sopredelnyh stran. Novaja serija. № 145; Vesnjanki* [Fauna of Russia and neighborhood countries. New issue, № 145; Stoneflies]. St-Petersburg, Nauka Publ., 2003. 538 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 07.04.2023; одобрена после рецензирования 10.05.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 07.04.2023; approved after reviewing 10.05.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

Т. С. Крайнева – аспирант;

Н. Н. Паньков – канд. биол. наук, доцент.

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

T. S. Krajneva – graduate student;

N. N. Pan'kov – candidate of biology, associate professor.

#### **Вклад авторов:**

Крайнева Т. С. – проведение полевых исследований; отбор проб; первичная камеральная обработка; идентификация групп животных; анализ материала; подготовка и редактирование рукописи.

Паньков Н. Н. – научное руководство; идентификация групп Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera; анализ материала; подготовка и редактирование рукописи.

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

Krajneva T. S. – field research; collection of samples; primary office processing; identification of groups of animals; material analysis; writing and editing of the manuscript.

Pan'kov N. N. – scientific leadership; identification of Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera groups; material analysis; writing and editing of the manuscript.

## МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 575.113/.118:577.112:579.843.1

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-166-171

### Гены и белки холодового шока у *Vibrio cholerae* различных серогрупп

С. О. Водопьянов<sup>1</sup>, А. А. Герасименко<sup>1</sup>, А. С. Водопьянов<sup>1</sup>, А. М. Горох<sup>1</sup>,  
Р. В. Писанов<sup>1</sup>, В. Д. Кругликов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону, Россия  
Автор, ответственный за переписку: Сергей Олегович Водопьянов, vodopyanov\_so@antiplague.ru

**Аннотация.** Исследовано 553 полногеномных сиквенса штаммов *Vibrio cholerae* O1, O139 и неO1/неO139 серогрупп на наличие генов холодового шока *cspA*, *cspV* и *csH1*. Гены *cspA* и *cspV* присутствовали практически у всех изученных штаммов. Ген *csH1* присутствовал у 99 штаммов *Vibrio cholerae* серогруппы O1 из 449 изученных и у 21 штамма холерных вибрионов неO1/неO139 из 86, взятых в исследование. Обнаружено отсутствие гена *csH1* у всех штаммов серогруппы O139 и штаммов O1 серогруппы с генами *ctxAB* и *tcpA*. На основании изучения нуклеотидного состава выявлено 13 различных вариантов гена *csH1*, обуславливающих структурные различия белка холодового шока Csh1. Два основных типа белка Csh1 были представлены референс-типом (68 геномов) и мажорным типом (35 геномов), 11 минорных вариантов включали единичные геномы. По данным базы данных NCBI за рубежом циркулируют преимущественно представители минорных типов белка Csh1. Референс тип Csh1 в основном выявляли у штаммов серогруппы O1, при этом если до 2000 г. идентифицировали 10 штаммов с протеином Csh1 референс-типа, то в период 2001–2022 гг. их число составило уже 55. Предполагается, что новый ген холодового шока *csH1* дает вибрионам селективное преимущество путем обеспечения выживания при низких температурах водоемов.

**Ключевые слова:** секвенирование, ген холодового шока *csH1*, протеины Csh1, стресс, *Vibrio cholerae*

**Для цитирования:** Гены и белки холодового шока у *Vibrio cholerae* различных серогрупп / С. О. Водопьянов, А. А. Герасименко, А. С. Водопьянов, А. М. Горох, Р. В. Писанов, В. Д. Кругликов // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 166–171. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-166-171>.

## MICROBIOLOGY

Original article

### The cold-shock gene's protein complex of different serogroups of *Vibrio cholerae*

S. O. Vodopyanov<sup>1</sup>, A. A. Gerasimenko<sup>1</sup>, A. S. Vodopyanov<sup>1</sup>, A. M. Gorokh<sup>1</sup>,  
R. V. Pisanov<sup>1</sup>, V. D. Kruglikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rostov-on-Don Antiplague Research Institute, Rostov-on-Don, Russia  
Corresponding author: Sergey O. Vodopyanov, vodopyanov\_so@antiplague.r

**Abstract.** 553 whole genome sequences of *Vibrio cholerae* strains O1, O139 and nonO1/nonO139 serogroups were studied for the presence of cold-shock genes *cspA*, *cspV* and *csH1*. The *cspA* and *cspV* genes were present in almost all strains. The *csH1* gene was present in 99/449 strains of the serogroup O1 and in 21/86 cultures of nonO1/nonO139 taken in the study. The absence of the *csH1* gene was revealed in strains of the O139 serogroup and strains of the O1 serogroup with *ctxAB* and *tcpA* genes. The study of the nucleotide composition identified 13 different variants of the *csH1* gene which cause structural differences in the cold-shock protein Csh1. The two main types of Csh1 protein were represented by the reference type (68 genomes) and the major type (35 genomes), 11 minor variants included single genomes. According to the NCBI database, mainly representatives of minor types of Csh1 protein circulate abroad. The reference type Csh1 was mainly detected in O1 serogroup strains, while 10 strains with the reference type Csh1 protein were identified before 2000, then in 2001–2022 their number reached 55 strains. It is assumed that the new cold shock gene *csH1* gives vibrios a selective advantage by ensuring survival at low temperatures in reservoirs.

**Keywords:** sequencing, *csH1* cold-shock gene, Csh1 proteins, stress, *Vibrio cholerae*

**For citation:** Vodopyanov S. O., Gerasimenko A. A., Vodopyanov A. S., Gorokh A. M., Pisanov R. V., Kruglikov V. D. [The cold-shock gene's protein complex of different serogroups of *Vibrio cholerae*]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 166-171. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-166-171>.

## Введение

Постоянное выделение *Vibrio cholerae* различных штаммов в процессе мониторинговых исследований из водных объектов на территории РФ представляет потенциальную опасность возбудителя для общественного здравоохранения [Москвитина и др., 2012; Носков и др., 2021]. При этом факты преимущественного выделения в ходе мониторинга штаммов вибрионов *ctxAB–tcpA–O1* и *neO1/neO139* серогрупп могут указывать на существование у этих культур дополнительных факторов, обуславливающих их персистенцию [Титова и др., 2015; Монахова, Архангельская, 2016]. Поскольку для большинства территорий Российской Федерации, в отличие от эндемичных по холере регионов, характерна низкая температура осенне-зимнего периода, то в число потенциальных детерминант персистенции могут входить факторы, обуславливающие выживание возбудителя при низкой температуре.

Микроорганизмы в целом однотипно реагируют на понижение температуры; адаптация включает в себя изменения в составе мембран, в механизме трансляции и транскрипции. Происходит индукция набора специфических белков, помогающих перестроить клеточный метаболизм [Barria, 2013]. Например, на модели *Escherichia coli* установлено, что понижение температуры приводит к синтезу ряда белков, называемых белками холодового шока (Csp). При этом протеины CspA, CspB, CspG и CspI играют главную роль в защите клетки при холодовом шоке. Кроме того, важно, что Csp придает организму способность адаптироваться к различным стрессам, таким как лишение питательных веществ, окислительный, тепловой, кислотный и антибиотический стрессы [Cardoza, 2021]. На этом фоне механизмы, обуславливающие устойчивость холерных вибрионов к низким температурам, изучены недостаточно. Показано существование у холерных вибрионов двух белков холодового шока, кодируемых генами *cspA* и *cspV*, причем эти генетические структуры присутствовали у токсигенных и нетоксигенных штаммов [Carroll et al., 2001; Datta, Bhadra, 2003; Заднова и др., 2014].

Ранее нами при изучении нуклеотидной последовательности *ctxAB–tcpA–* штамма *Vibrio cholerae* O1 20000 (GenBank: CP036500.1), выделенного из водоема Ростовской обл. в 2016 г., в составе второй хромосомы был идентифицирован дополнительный ген холодового шока *csH1* [Бородина и др., 2021]. Данный геном был использован в последующем как референс.

В последние годы значительно возросла возможность секвенирования полных геномов бактериальных изолятов. Использование этих данных открывает перспективы для нового понимания особенностей биологии бактериальных патогенов [Didelot, Parkhill, 2022].

Цель исследования – изучение распространения генов семейства холодового шока у холерных вибрионов O1, O139 и *neO1/neO139* серогрупп различного происхождения по данным анализа полногеномных нуклеотидных последовательностей, полученных на базе ФКУЗ Ростовского-на-Дону противочумного института Роспотребнадзора.

## Материалы и методы

В работе использованы данные о 553 полногеномных сиквенсах штаммов *Vibrio cholerae* O1, O139 и *neO1/neO139* из лаборатории «Коллекция патогенных микроорганизмов» ФКУЗ «Ростовский-на-Дону противочумный институт» Роспотребнадзора. Секвенирование проведено в ходе выполнения стратегической инициативы социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г. «Санитарный щит страны – безопасность для здоровья (предупреждение, выявление, реагирование)». Выборка была представлена 449 штаммами серогруппы O1, 18 штаммами O139, а также 86 штаммами *neO1/neO139* серогруппы.

Библиотеку фрагментов ДНК готовили с использованием набора реагентов Nextera DNA Flex (Illumina, США) согласно инструкции производителя. Ампликоны метили с применением Nextera Index Kit (Illumina, США) также согласно инструкции. Секвенирование проводили на платформе MiSeq (Illumina, США) с набором реагентов MiSeq Reagent Kit v2. Сборка геномов осуществлялась программой Spades v. 3.15.4 [Bankevich et al., 2012]. Поиск генов проводился авторскими программами. Аминокислотные замены были вычислены с помощью модифицированного авторского скрипта [Геращенко, Водопьянов, Писанов, 2021]. Расчет статистических показателей был проведен с помощью Libre Office Calc. Необходимая информация о свойствах культур, месте и сроках их выделения получена из паспортов коллекционных штаммов.

## Результаты и обсуждение

Первоначально установлено присутствие в выборке двух описанных ранее белков холодового шока, кодируемых генами *cspA* и *cspV*. Ген *cspA* присутствовал у 552 штаммов и отсутствовал лишь у одного штамма O1 серогруппы, ген *cspV* присутствовал у 548 культур и отсутствовал у пяти штаммов (три культуры O1 и два вибриона неO1/неO139). Полученные результаты согласуются с литературными данными о крайне широком распространении генов холодового шока *cspA* и *cspV* [Datta, Bhadra, 2003].

Ген холодового шока *cshI*, по данным биоинформационного анализа, относился к семейству CspA и был идентифицирован в 120 нуклеотидных последовательностях. 99 (22.0%) из изученных 449 штаммов O1 серогруппы содержали ген *cshI*. При этом 98 штаммов *cshI*<sup>+</sup> имели генотип *ctxAB*<sup>-</sup> *tcpA*<sup>-</sup>. Из изученных культур 86 представляли вибрионы неO1/неO139 (*ctxAB*<sup>-</sup> *tcpA*<sup>-</sup>), а 21 геном содержал ген *cshI* (24.4%). У представителей серогруппы O139 независимо от наличия генов *ctxAB* и *tcpA* отсутствовал ген *cshI* (табл. 1).

Таблица 1

**Встречаемость генотипа *cshI*<sup>+</sup> у штаммов *Vibrio cholerae***  
**[Occurrence of the *cshI*<sup>+</sup> genotype in *Vibrio cholerae* strains]**

Серогруппы	Наличие гена <i>cshI</i> , кол-во штаммов	Всего штаммов	Встречаемость, %
<i>V. cholerae</i> O1	99	449	22.0
<i>V. cholerae</i> O139	0	18	0.0
<i>V. cholerae</i> неO1/неO139	21	86	24.4
Всего	120	553	21.7

При анализе источника выделения *cshI*<sup>+</sup> вибрионов серогруппы O1 установлено, что 300 штаммов были выделены из различных поверхностных водоемов Российской Федерации, при этом 94 из 99 имели в своем составе искомым ген (95.0%). Полученный результат, на наш взгляд, может быть объяснен очевидным селективным преимуществом *cshI*<sup>+</sup> культур O1 серогруппы в водоемах по сравнению с *cshI*<sup>-</sup> вариантами. Наиболее вероятно, что *cshI*<sup>+</sup> варианты лучше переносят низкую температуру водоемов, характерную для нашей страны.

При анализе места изоляции *cshI*<sup>+</sup> вибрионов неO1/неO139 серогруппы, выделенных из поверхностных водоемов, установлено, что из 23 штаммов 5 имели в своем составе искомым ген (21.7%). Отсутствие гена *cshI* у 18 изученных представителей серогруппы O139, несущих гены холодового шока *cspA* и *cspV*, можно рассматривать как отсутствие дополнительного эффективного фактора выживаемости в стрессовых условиях или наличия у данной серогруппы других факторов адаптации к холодовому стрессу. Данные предположения нуждаются в дальнейшей проверке.

При изучении первичной нуклеотидной последовательности гена *cshI* у *Vibrio cholerae* O1 и неO1/неO139 была выявлена значительная вариабельность изучаемой структуры. При использовании в качестве референс-последовательности гена *cshI* размером 213 нуклеотидов ранее изученный штамм *Vibrio cholerae* O1 20000 [Бородина и др., 2021], у вибрионов O1 и неO1/неO139 также установлена вариабельность нуклеотидной структуры. Общая длина гена у всех изученных штаммов была стабильна и составила 213 нуклеотидов, но в 17 позициях были выявлены замены: 17 (C→A), 20 (G→A), 74 (G→T), 77 (G→A), 83 (C→A), 105 (T→A), 112 (G→A), 113 (C→G), 122 (G→A), 143 (G→A/T), 144 (T→C), 153 (C→T), 165 (C→T), 166 (G→A), 183 (C→T), 197 (A→G) и 208 (G→A/C). В структуре протеина Csh1 размером 70 аминокислотных остатков было выявлено 12 замен, сформировавших в итоге 13 типов белкового продукта. При этом 68 геномов относились к референс-типу, белковая последовательность которых совпадала с последовательностью штамма *Vibrio cholerae* O1 20000. Замены аминокислот в позиции 38 (A→T), 70 (A→T) приводили к формированию мажорного типа 1 (35 структур). Остальные варианты были представлены в единичном количестве (табл. 2).

Таблица 2

**Варианты белка, кодируемого геном холодового шока *cshI* различных типов у *Vibrio cholerae* O1 и неO1/неO139**

**[Protein's variation, encoded by variative *cshI* cold-shock types of *Vibrio cholerae* O1 and nonO1/nonO139]**

Кол-во штаммов	Тип Csh1	Замена аминокислоты белка Csh1, позиция											
		6	7	25	26	28	35	38	41	48	56	66	70
68	референс	T	G	S	G	S	N	A	G	G	E	N	A
35	1	-	-	-	-	-	-	T	-	-	-	-	T
4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-
2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	-
2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	V	-	-	-

Кол-во штаммов	Тип Csh1	Замена аминокислоты белка Csh1, позиция											
		6	7	25	26	28	35	38	41	48	56	66	70
2	5	K	-	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	6	-	D	-	-	-	-	T	-	-	-	-	T
1	7	-	-	-	-	-	-	S	-	-	K	-	T
1	8	-	-	-	D	-	-	-	-	D	-	-	-
1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-
1	10	-	-	-	-	-	K	-	-	-	-	-	-
1	11	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-	-
1	12	-	-	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Поиск по базе данных NCBI позволил выявить 10 геномов *Vibrio cholerae*, содержащих в своем составе ген *csh1* (табл. 3), совпадающий с таковым у штамма *Vibrio cholerae* 20000 (референс-тип). Примечательно, что преобладающие типы у штаммов из международной базы данных – минорные, по вышеприведенной классификации, типы 9 (замена G48D) и 12 (замена S25I). Например, доминирующий тип на территории США – 12, а на территории Гаити – 9. Один штамм от человека из Японии имел референс-тип, преобладающий среди штаммов нашей выборки. На наш взгляд, подобное различие может быть следствием влияния определенных условий внешней среды на возбудителя.

Таблица 3

**Типы протеина Csh1 у штаммов из международной базы данных**  
**[Protein types of strains from the international database according to the *csh1* gene]**

Номер штамма в GenBank	Источник выделения	Страна	Мутации в белке Csh1	Тип белка Csh1
CP053807.1	вода	США	S25I	12
CP053745.1	вода	США	S25I	12
CP104357.1	-	США	S25I	12
CP104355.1	-	США	S25I	12
CP042300.1	-	Гаити	G48D	9
CP013013.1	-	Гаити	G48D	9
CP012997.1	вода	Гаити	G48D	9
CP010812.1	человек	Филиппины	A38T, A70T	1
AP024968.1	человек	Япония		референс

Анализ происхождения штаммов, несущих типовой белок Csh1 штамма *Vibrio cholerae* 20000 O1 (референс-тип) и первого типа, показал, что они преимущественно выявляются у штаммов серогруппы O1 (65 из 68 и 33 из 35 соответственно). При этом до 2000 г. выявлено 10 протеинов Csh1 референс-типа, а с 2001 по 2022 г. их число составило уже 55. Для мажорного протеина Csh1 первого типа была характерна иная динамика: до 2000 г. им обладало всего два штамма, далее следует своеобразный «провал», а начиная с 2011 г., этот тип идентифицирован уже у 31 штамма. Столь «взрывное» распространение протеина Csh1 первого типа может указывать на селективное преимущество, сообщаемое этим типом белка холодного шока. В этом случае 10 минорных типов белка Csh1, представленных одной или двумя последовательностями, можно рассматривать как фактор приспособления к температурным условиям места обитания/персистенции вибрионов путем вариационной изменчивости гена холодного шока. Это предположение отчасти согласуется с данными о выявлении протеинов Csh1 типов 9 и 12 у штаммов на территориях Гаити и США, для которых не характерны низкие температуры окружающей среды в противовес более «холодным» регионам.

### Заключение

Исследовано 553 полногеномных сиквентов штаммов *Vibrio cholerae* O1, O139 и неO1/неO139 на наличие генов холодного шока *cspA*, *cspV* и *csh1*. Гены *cspA* и *cspV* присутствовали практически у всех изученных штаммов. Ген *csh1* присутствовал у 99 штаммов серогруппы O1 из 449 изученных и у 21 культуры из 86 вибрионов неO1/неO139. Штаммов *csh1+* генотипа среди представителей O139 серогруппы не выявлено. Обнаружены различные варианты гена *csh1*, обуславливающие структурные различия белка холодного шока Csh1.

Учитывая, что 95% нетоксигенных штаммов O1 серогруппы, выделенных из различных водоемов, со-

держат в себе ген холодового шока *csH1*, предполагается, что данный ген сообщает вибрионам селективное преимущество путем обеспечения выживания при низких температурах водоемов. Вместе с тем, это предположение относительно штаммов O139 и неO1/неO139 серогрупп требует дальнейших исследований на увеличенных выборках штаммов.

Вариационная изменчивость аминокислотной структуры протеина Csh1 является фактором приспособления холерного вибриона к изменчивым температурным условиям среды обитания. Не исключено, что эволюционно с геном холодового шока могут соседствовать и другие факторы, обеспечивающие персистенцию вибрионов. Данные положения нуждаются в дальнейшей проверке.

### Список источников

1. Бородина О.В. и др. Изучение встречаемости гена холодового шока *csH1* у штаммов *Vibrio cholerae*, циркулирующих на территории Российской Федерации // Бактериология. 2021. Т. 6, № 3. С. 22–23.
2. Герасименко А.А., Водопьянов А.С., Писанов Р.В. Типирование штаммов SARS-COV-2 с помощью новой компьютерной программы «CovAnalyzer» // Российская наука в современном мире: сб. статей XXXVII междунар. науч.-практ. конф. М., 2021. С. 19–22.
3. Заднова С.П. и др. Сравнительная устойчивость типичных и генетически измененных штаммов *Vibrio cholerae* биовара El Tor к действию неблагоприятных факторов внешней среды // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2014. № 2. С. 11–17.
4. Монахова Е.В., Архангельская И.В. Холерные вибрионы неO1/неO139 серогрупп в этиологии острых кишечных инфекций: современная ситуация в России и в мире // Проблемы особо опасных инфекций. 2016. № 2. С. 14–23.
5. Москвитина Э.А. и др. Холера в начале XXI века. Прогноз на глобальном уровне // Проблемы особо опасных инфекций. 2012. № 1. С. 11–16.
6. Носков А.К. и др. Результаты мониторинга холеры на административных территориях России в период с 2013 по 2019 год // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2021. № 2. С. 163–175.
7. Титова С.В. и др. Анализ динамики выделения и биологических свойств штаммов *V. cholerae* O1 El Tor, изолированных из водных объектов на территории Ростовской области в 2003–2014 гг. // Здоровье населения и среда обитания. 2015. № 2. С. 39–41.
8. Bankevich A. et al. SPAdes: a new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing // Journal of computational biology. 2012. Vol. 19, № 5. P. 455–477.
9. Barria C., Malecki M., Arraiano C.M. Bacterial adaptation to cold // Microbiology. 2013. Vol. 159, № Pt\_12. P. 2437–2443.
10. Cardoza E., Singh H.C Group-Mediated Antibiotic Stress Mimics the Cold Shock Response // Current Microbiology. 2021. Vol. 78, № 9. P. 3372–3380.
11. Carroll J.W. et al. Response and tolerance of toxigenic *Vibrio cholerae* O1 to cold temperatures // Antonie Van Leeuwenhoek. 2001. Vol. 79, № 3. P. 377–384.
12. Datta P.P., Bhadra R.K. Cold shock response and major cold shock proteins of *Vibrio cholerae* // Applied and Environmental Microbiology. 2003. Vol. 69, № 11. P. 6361–6369.
13. Didelot X., Parkhill J. A scalable analytical approach from bacterial genomes to epidemiology // Philosophical Transactions of the Royal Society B. 2022. Vol. 377, № 1861. P. 20210246.

### References

1. Borodina O.V., Vodopyanov S.O., Vodopyanov A.S., Oleinikov I.P., Chemisova O.S., Poleeva M.V. [Study of *csH1* cold-shock gene's occurrence of *Vibrio cholerae* strains circulating in the Russian Federation]. *Bakteriologija*. V. 6(3) (2021): pp. 22-23. (In Russ.).
2. Gerasimenko A.A., Vodopyanov A.S., Pisanov R.V. [Typing of SARS-COV-2 strains using a new computer program 'CovAnalyzer']. *Rossijskaja nauka v sovremennom mire* [Russian science in the modern world: collection of articles]. Moscow, 2021, pp. 19-22. (In Russ.).
3. Zadnova S.P., Agafonov D.A., Shashkova A.V., Smirnova N.I. [Comparative resistance of typical and genetically modified strains of *Vibrio cholerae* biovar El Tor to adverse environmental factors]. *Žurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. No 2 (2014): pp. 11-17. (In Russ.).
4. Monakhova E.V., Arkhangel'skaya I.V. [*Vibrio cholerae* nonO1/non139 serogroups in the etiology of acute intestinal infections: the current situation in Russia and in the world]. *Problemy osobo opasnykh infekcij*. No 2 (2016): pp. 14-23. (In Russ.).
5. Moskvitina E.A., Mazrukho A.B., Adamenko O.L., Kruglikov V.D. [Cholera at the beginning of the XXI century. Forecast at the global level]. *Kholera v nachale XXI veka. Prognoz na global'nom urovne. Problemy osobo opasnykh infektsii*. No 1 (2012): pp. 11-16. (In Russ.).
6. Noskov A.K., Kruglikov V.D., Lopatin A.A., Chemisova O.S., Levchenko D.A., Ivanova S.M., Monakhova E.V., Arkhangel'skaya I.V., Vodopyanov A.S., Gaevskaya N.E., Podoinitsyna O.A., Ezhova M.I. [Results of cholera monitoring in the administrative territories of Russia in the period from 2013 to 2019]. *Žurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. No 2 (2021): pp. 163-175. (In Russ.).

7. Titova S.V., Kruglikov V.D., Ezhova M.I., Vodopyanov A.S., Arkhangel'skaya I.V., Vodopyanov S.O., Moskvitina E.A. [Analysis of the dynamics of isolation and biological properties of *V. cholerae* O1 El-Tor strains isolated from water bodies in the Rostov region in 2003-2014]. *Zdorov'e naselenija i sreda obitanija*. No 2(263) (2015): pp. 39-41. (In Russ.).

8. Bankevich A. et al. SPAdes: a new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. *Journal of computational biology*. V. 19(5) (2012): pp. 455-477.

9. Barria C., Malecki M., Arraiano C. M. Bacterial adaptation to cold. *Microbiology*. V. 159(Pt\_12) (2013): pp. 2437-2443.

10. Cardoza E., Singh H. C Group-Mediated Antibiotic Stress Mimics the Cold Shock Response. *Current Microbiology*. V. 78(9) (2021): pp. 3372-3380.

11. Carroll J.W. et al. Response and tolerance of toxigenic *Vibrio cholerae* O1 to cold temperatures. *Antonie Van Leeuwenhoek*. V. 79(3) (2001): pp. 377-384.

12. Datta P.P., Bhadra R.K. Cold shock response and major cold shock proteins of *Vibrio cholerae*. *Applied and Environmental Microbiology*. V. 69(11) (2003): pp. 6361-6369.

13. Didelot X., Parkhill J. A scalable analytical approach from bacterial genomes to epidemiology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. V. 377(1861) (2022): p. 20210246.

Статья поступила в редакцию 07.02.2023; одобрена после рецензирования 21.03.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 07.02.2023; approved after reviewing 21.03.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

Сергей Олегович Водопьянов – vodopyanov\_so@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4336-0439>, д-р. мед. наук, главный научный сотрудник отдела микробиологии холеры и других острых кишечных инфекций;

Артем Александрович Герасименко – gerasimenko\_aa@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7700-3483>, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии природно-очаговых и зоонозных инфекций;

Алексей Сергеевич Водопьянов – vodopyanov\_as@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9056-3231>, канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии природно-очаговых и зоонозных инфекций;

Алевтина Михайловна Горох – gorokh\_am@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2017-7992>, младший научный сотрудник отдела микробиологии холеры и других острых кишечных инфекций;

Руслан Вячеславович Писанов – pisanov\_rv@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7178-8021>, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии природно-очаговых и зоонозных инфекций;

Владимир Дмитриевич Кругликов – kruglikov\_vd@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6540-2778>, д-р. мед. наук, главный научный сотрудник отдела микробиологии холеры и других острых кишечных инфекций.

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

Sergey O. Vodopyanov – vodopyanov\_so@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4336-0439>, doctor of medical sciences, chief researcher of the department of microbiology of cholera and other acute intestinal infections;

Artem A. Gerasimenko – gerasimenko\_aa@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7700-3483>, junior researcher of the laboratory of molecular biology, natural focal and zoonotic infections;

Alexey S. Vodopyanov – vodopyanov\_as@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9056-3231>, candidate of medical sciences, leading researcher of the laboratory of molecular biology, natural focal and zoonotic infections;

Alevtina M. Gorokh – gorokh\_am@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2017-7992>, junior researcher of the department of microbiology of cholera and other acute intestinal infections;

Ruslan V. Pisanov – pisanov\_rv@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7178-8021>, candidate of biological sciences, leading researcher of the laboratory of molecular biology, natural focal and zoonotic infections; head of the laboratory;

Vladimir D. Kruglikov – kruglikov\_vd@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6540-2778>, doctor of medical sciences, chief researcher of the department of microbiology of cholera and other acute intestinal infections.

#### **Вклад авторов:**

Водопьянов С. О. – научное руководство, концепция исследования, написание текста.

Герасименко А. А. – статистическая обработка материала, анализ, написание текста.

Водопьянов А. С. – предоставление исходных данных, концепция исследования.

Горох А. М. – написание текста.

Писанов Р. В. – доработка текста, итоговые выводы.

Кругликов В. Д. – доработка текста, рецензирование.

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

Vodopyanov S. O. – scientific management, research concept, writing the draft.

Gerasimenko A. A. – statistical processing of the material, analysis, writing the draft.

Vodopyanov A. S. – providing sources, research concept.

Gorokh A. M. – writing the draft.

Pisanov R. V. – followon revision of the text, final conclusions.

Kruglikov V. D. – followon revision of the text, final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

## МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 579:873:579.222.2

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-172-178

### Деструкция фталевых кислот штаммом *Paenarthrobacter* sp. SA101, выделенным из сточных вод химического предприятия

Ольга Викторовна Ястребова<sup>1✉</sup>, Анна Павловна Прохорова<sup>2</sup>,  
Елена Генриховна Плотникова<sup>3</sup>

<sup>1, 3</sup> Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

<sup>2, 3</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

✉ olyastr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4997-6525>

<sup>2</sup> anya-uzumaki@mail.ru

<sup>3</sup> peg\_el@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0107-0719>

**Аннотация.** Фталевая и терефталевая кислоты (ОФК и ТФК) имеют широкое применение в химической промышленности в качестве пластификаторов для получения полимерных материалов, в связи с чем являются распространенными экополлютантами. Изучена способность штамма *Paenarthrobacter* sp. SA101, выделенного из образца сточных вод химического предприятия (г. Пермь), к росту в присутствии ОФК и ТФК в высоких концентрациях. Показано, что штамм SA101 способен расти на данных субстратах в концентрациях до 20 г/л, что для представителей рода *Paenarthrobacter* показано впервые. В средах с ОФК зафиксированы более высокие параметры роста штамма, чем в средах с ТФК: максимальное значение ОП<sub>600</sub> (1.64), наиболее высокая удельная скорость роста (0.073±0.003 ч<sup>-1</sup>) и наименьшая продолжительность лаг-фазы наблюдались в среде с 10 г/л ОФК. При использовании 20 г/л ТФК зафиксирована более высокая удельная скорость роста (0.04±0.002 ч<sup>-1</sup>) и максимальное значение ОП<sub>600</sub> (1.6), однако подготовительная фаза роста была более продолжительной, чем в среде с 10 г/л ТФК. Штамм SA101 способен к утилизации 76% ОФК за 39 ч. и 74.2% ТФК за 71 ч. культивирования при использовании данных субстратов в концентрации 10 г/л. Клетки штамма SA101 содержат плазмиду молекулярной массой ~100 т.п.н. Штамм SA101 является перспективным для разработки биотехнологических методов очистки загрязненных фталатами почв и промышленных стоков.

**Ключевые слова:** *Paenarthrobacter*, орто-фталевая кислота, терефталевая кислота, рост, утилизация

**Для цитирования:** Ястребова О. В., Прохорова А. П., Плотникова Е. Г. Деструкция фталевых кислот штаммом *Paenarthrobacter* sp. SA101, выделенным из сточных вод химического предприятия // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 172–178. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-172-178>.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания, номер госрегистрации темы: АААА-А19-119112290008-4.

## MICROBIOLOGY

Original article

### Destruction of phthalic acids by *Paenarthrobacter* sp. SA101 isolated from the wastewater of a chemical plant

Olga V. Yastrebova<sup>1✉</sup>, Anna P. Prokhorova<sup>2</sup>, Elena G. Plotnikova<sup>1,3</sup>

<sup>1, 3</sup> Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

<sup>2, 3</sup> Perm State University, Perm, Russia

✉ olyastr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4997-6525>

<sup>2</sup> anya-uzumaki@mail.ru

<sup>3</sup> peg\_el@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0107-0719>

**Abstract.** Phthalic and terephthalic acids (PA and TPA) are widely used in the chemical industry as plasticizers, for the production of polymer materials, and therefore are common eco-pollutants. The ability of the strain *Paenarthrobacter* sp. SA101, isolated from a sample of a chemical plant wastewater (Perm), to growth on high concentrations of PA and TPA was studied. It was shown that strain SA101 is capable of efficient growth on these substrates at concentrations up to 20 g/l, which is shown for the representatives of the genus *Paenarthrobacter* for the first time. Higher strain growth parameters were recorded in media with PA, than in media with

TPA: the maximum value of OD<sub>600</sub> (1.64), the highest specific growth rate (0.073±0.003 h<sup>-1</sup>) and the shortest lag phase were observed in a medium with 10 g/l of PA. The highest specific growth rate (0.04±0.002 h<sup>-1</sup>) and the maximum value of OD<sub>600</sub> (1.6) were observed with 20 g/l of TPA, however, the lag phase of growth was longer than in the medium with 10 g/l of TPA. The strain SA101 was able to utilize 76% of PA in 39 hours and 74.2% of TPA in 71 hours of cultivation, when using these substrates at a concentration of 10 g/l. The cells of the strain SA101 contain a plasmid with a molecular weight of ~ 100 bp. The strain SA101 is promising for the development of biotechnological methods for cleaning phthalate-contaminated soils and industrial effluents.

**Keywords:** *Paenarthrobacter*, ortho-phthalic acid, terephthalic acid, growth, utilization

**For citation:** Yastrebova O. V., Prokhorova A. P., Plotnikova E. G. [Destruction of phthalic acids by *Paenarthrobacter* sp. SA101 isolated from wastewater of a chemical plant]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 172-178. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-172-178>.

**Acknowledgments:** the work was carried out within the framework of the state task, the state registration number of the topic: AAAAA-A19-119112290008-4.

## Введение

Фталевые кислоты – двухосновные ароматические карбоновые кислоты, существующие, в зависимости от положения карбоновых групп, в трех изомерных формах: фталевой (*орто*-фталевой, ОФК), изофталевой и терефталевой (ТФК) кислот. Фталаты и сложные эфиры фталевых кислот имеют повсеместное применение в промышленности, используются в качестве пластификаторов для получения полимерных материалов. Эфиры фталевой кислоты (дибутилфталат, диметилфталат, диэтилфталат) используются для пластификации поливинилхлорида (ПВХ), при синтезе полиэфирных волокон, полиэтилена, а также в производстве строительных и смазочных материалов, лаков, косметики [Liang et al., 2008; Gao et al., 2018]. Терефталевая кислота (с *пара*-расположением карбоксильных групп) применяется в производстве насыщенных полиэфиров, химических волокон, пластмасс, красителей. ТФК является основным исходным соединением для получения полиэтилентерефталата (ПЭТФ), который составляет 90% от общего производимого количества насыщенных полиэфиров [Zhang et al., 2005; Karthik et al., 2008]. Фталаты и их эфиры не связаны ковалентно с пластиковым полимером и выщелачиваются в окружающую среду, представляя угрозу для здоровья человека и животных. Хотя фталаты подвергаются абиотическому фотолизу с периодом полураспада от месяцев до нескольких лет, микробная деградация является основным и экологически безопасным методом утилизации фталатов [Benjamin et al., 2015; Wang et al., 2023].

К настоящему времени биодеградация ОФК, ТФК и их сложных эфиров описана для ряда бактерий различных филогенетических групп, в том числе для штаммов рода *Arthrobacter* и для принадлежащих ранее к данному роду бактерий, реклассифицированных как представители родов *Pseudoarthrobacter*, *Glutamicibacter*, *Paenarthrobacter* [Eaton 2001; Stanislauskienė et al., 2011; Chen et al., 2021; Shariati et al., 2022; Ren et al., 2023]. Однако среди бактерий рода *Paenarthrobacter* способность к утилизации фталатов описана лишь для штамма *Paenarthrobacter* sp. Shss., растущего на ОФК, а также дибутилфталате (1 г/л) и других эфирах фталевой кислоты [Shariati et al., 2022]. Утилизация ОФК и ТФК аэробными бактериями проходит с образованием протокатеховой кислоты как ключевого промежуточного метаболита. При этом разложение ОФК до протокатехата проходит в три этапа: диоксигенирование, дегидрирование и декарбоксилирование; а деградация ТФК до протокатехата включает только две стадии, поскольку декарбоксилирование осуществляется *цис*-дигидродиолдегидрогеназой. Протокатехат в дальнейшем расщепляется диоксигеназами по *орто*-, либо *мета*-пути [Dagley et al., 1971; Liang et al., 2008; Boll et al., 2020].

## Материалы и методы исследований

**Объект исследования и условия культивирования.** Из рабочей коллекции Лаборатории микробиологии техногенных экосистем «Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН» ПФИЦ УрО РАН для исследований отобран штамм SA101, способный к росту на фталатах.

Культивирование бактерий проводили в минеральной среде K1 [Зайцев, Карасевич, 1981] с добавлением ОФК или ТФК в концентрациях 1, 10, 20, 30, 40 г/л. В качестве инокулята использовали бактериальные клетки в экспоненциальной фазе роста, выращенные в среде K1 с ОФК или ТФК (1 г/л) в качестве субстрата. Бактериальные культуры выращивали в колбах Эрленмейера объемом 250 мл (объем среды – 100 мл) при 28°C, на термостатке при 100 об/мин.

**Определение оптической плотности (ОП)** культуральной жидкости проводили на спектрофотометре UV-Visible BioSpec-mini (“Shimadzu”, Япония) при длине волны 600 нм в кювете с длиной оптического пути 1 см. Расчет удельной скорости роста ( $\mu$ , ч<sup>-1</sup>) проводили по стандартной формуле

$$\mu = (\ln B_2 - \ln B_1) / (t_2 - t_1),$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – оптические плотности культуры в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , соответственно [Нетрусов, 2005].

**Убыль ОФК и ТФК** из среды культивирования определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием хроматографа LC-20AD Prominace (“Shimadzu”, Япония) с колонкой (C-18 150 × 4.6 мм; “Shima-Aldrich”, США) и УФ-детектором SPD-20A (при 205 нм) в системе ацетонитрил – 0.1%-ная H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (70 : 30). В качестве подвижной фазы использовали 80%-ный раствор ацетонитрила при скорости потока 1.0 мл/мин и температуре 40°C. Идентификацию соединений проводили при сравнении времени выхода пиков экстрактов со стандартными растворами ОФК и ТФК в концентрациях 50 и 100 мг/л. Количественное содержание рассчитывали с помощью пакета программ “LCsolution” (“Shimadzu”, Япония). Расчет удельной скорости ( $\mu$ , ч<sup>-1</sup>) утилизации ОФК и ТФК проводили по стандартной формуле

$$\mu = (\ln C_1 - \ln C_2) / (t_2 - t_1),$$

где  $C_1$ ,  $C_2$  – концентрация субстрата в начальный и конечный момент времени  $t_1$  и  $t_2$  соответственно [Нетрусов, 2005].

**Наличие плазмидной ДНК** выявляли модифицированным методом щелочного лизиса [Marko et al., 1982].

## Результаты и их обсуждение

Штамм SA101 выделен ранее из образца сточных вод химического предприятия (г. Пермь) и идентифицирован как представитель рода *Paenarthrobacter*, близкородственный виду *Paenarthrobacter ureafaciens* NC<sup>T</sup> (NR 029281) (уровень сходства по гену 16S рРНК составил 99.3%) [Малышева, Ястребова, Плотникова, 2021].

Установлено, что штамм *Paenarthrobacter* sp. SA101 способен к деструкции ряда ароматических углеводов и фталатов, в том числе ОФК, ТФК, дибутилфталата, бензоата [Малышева и др., 2021]. На основании способности штамма SA101 к росту на протокатеховой кислоте можно предположить, что штамм осуществляет утилизацию ОФК и ТФК через образование протокатехата – ключевого метаболита фталатов, с расщеплением последнего до основных клеточных метаболитов [Liang et al., 2008; Boll, 2020].

Исследована способность штамма использовать в качестве единственного источника углерода и энергии ОФК и ТФК (в концентрациях 1, 10, 20, 30 г/л) при росте в минеральной среде K1. Установлено, что штамм SA101 растет на данных субстратах в концентрациях до 20 г/л. Увеличение концентрации обоих субстратов приводило к накоплению биомассы, при этом в средах с ОФК были зафиксированы более высокие параметры роста штамма, чем в средах с ТФК (рис. 1). Максимальное значение ОП<sub>600</sub> (1.64), наиболее высокая удельная скорость роста ( $0.073 \pm 0.003$  ч<sup>-1</sup>) и наименьшая продолжительность лаг-фазы роста штамма наблюдались в среде с 10 г/л ОФК. При выращивании штамма в среде с 20 г/л ТФК фиксировали наиболее высокую удельную скорость роста ( $0.04 \pm 0.002$  ч<sup>-1</sup>) и максимальное значение ОП<sub>600</sub> штамма (1.6), однако подготовительная фаза роста была более продолжительной, чем в среде с 10 г/л ТФК (рис. 1, таблица).

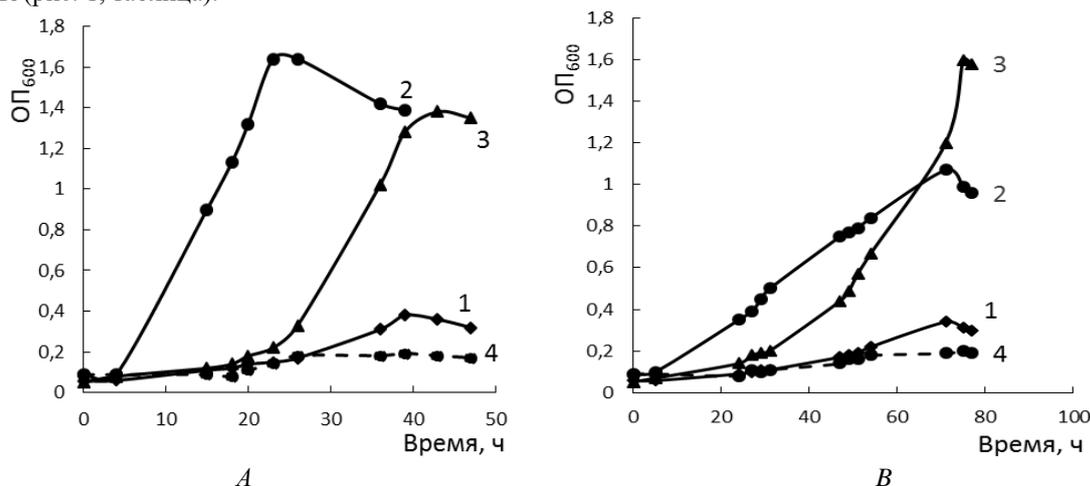


Рис. 1. Рост клеток штамма SA101 в среде с ОФК (A) и ТФК (B) (г/л): 1 – 1; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30  
[Growth of strain SA101 on PA (A) and TPA (B) (g/l): 1 - 1; 2 - 10; 3 - 20; 4 - 30]

Наиболее высокий уровень утилизации фталатов был зарегистрирован при выращивании в среде с 10 г/л ОФК и ТФК (76% за 39 ч. и 74.2% за 71 ч. соответственно). Максимальная удельная скорость потреб-

ления данных субстратов также наблюдалась при их концентрации 10 г/л:  $0.052 \pm 0.006 \text{ ч}^{-1}$  при культивировании на ОФК и  $0.034 \pm 0.004$  – на ТФК (рис. 2, таблица).

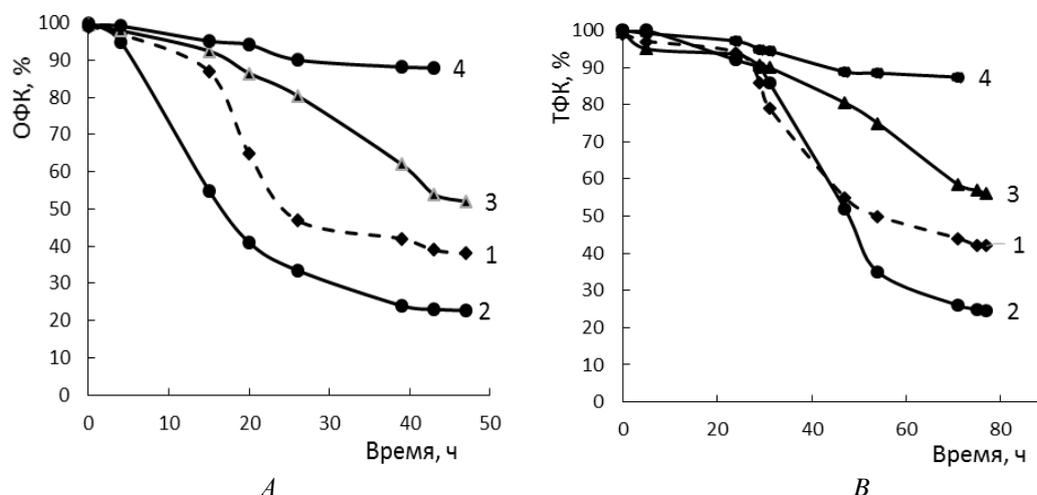


Рис. 2. Утилизация с использованием клеток штамма SA101 ОФК (А) и ТФК (В) в концентрации (г/л): 1 – 1; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30

[Utilization of PA (A) and TPA (B) by strain SA101 (g/L): 1 – 1; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30]

### Параметры роста штамма SA101 и утилизация ОФК и ТФК [SA101 strain growth parameters and PA utilization and TPA]

Параметры	Ростовой субстрат, г/л					
	ОФК			ТФК		
	1	10	20	1	10	20
Удельная скорость роста, $\text{ч}^{-1}$	0.038 $\pm 0.003$	0.073 $\pm 0.003$	0.070 $\pm 0.004$	0.028 $\pm 0.001$	0.03 $\pm 0.002$	0.04 $\pm 0.002$
Максимальное значение ОП <sub>600</sub>	0.37	1.64	1.38	0.32	1.07	1.6
Лаг-фаза роста, ч	25	3	18	51	24	31
Утилизация, %	60.6 $\pm 0.4$	76.0 $\pm 0.3$	46.2 $\pm 0.4$	55.5 $\pm 0.4$	74.2 $\pm 0.4$	57.2 $\pm 0.4$
Удельная скорость утилизации, $\text{ч}^{-1}$	0.040 $\pm 0.003$	0.052 $\pm 0.006$	0.020 $\pm 0.001$	0.027 $\pm 0.003$	0.034 $\pm 0.004$	0.010 $\pm 0.002$

Подавление роста бактерий высокими концентрациями фталевых кислот ранее показано для ряда штаммов разных родов, в том числе для *Arthrobacter* sp. 0574, способность которого к разложению ТФК подавлялась уже при концентрации 10 г/л и выше [Zhang et al., 2013]. Описан штамм *Rhodococcus* sp. N2, утилизирующий 10 г/л ТФК за 5 сут., а также штамм *R. wratislaviensis* KT112-7, растущий в среде с ОФК в концентрации 8 г/л [Егорова и др. 2013; Suwanawat et al., 2019]. Ранее нами описаны бактерии рода *Glutamicibacter*, способные к росту и утилизации ТФК в концентрации до 30 г/л [Ястребова, Малышева, Плотникова, 2022]. Исследуемый штамм *Paenarthrobacter* sp. SA101 способен к эффективному разложению ОФК и ТФК за 23 и 71 ч. соответственно в концентрации до 20 г/л, что для представителей рода *Paenarthrobacter* показано впервые.

Исследование на наличие экстрахромосомной ДНК модифицированным методом щелочного лизиса [Marko et al., 1982] показало присутствие в клетках *Paenarthrobacter* sp. SA101 плазмиды молекулярной массой ~100 т.п.н. (рис. 3). Плазмидная локализация генов деградации ОФК описана для штаммов *Arthrobacter keyseri* 12B и *Arthrobacter phenanthrenivorans* Sphe3 [Eaton, 2001; Kallimanis et al., 2011]. Для ряда штаммов рода *Paenarthrobacter* показано наличие плазмид биодеградации аромати-

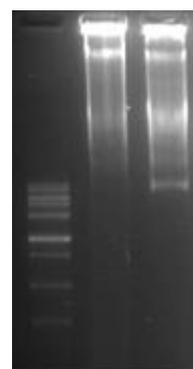


Рис. 3. Электрофореграмма плазмидной ДНК штамма *Paenarthrobacter* sp. SA101 (1). М – маркер O'GeneRuler™ 100 bp Plus DNA Ladder (“Fermentas”, Литва); 2 – штамм-деструктор ТФК *Rhodococcus* sp. S6 (плаزمида ~100 т.п.н.)

[Electropherogram of plasmid DNA of *Paenarthrobacter* sp. SA101 (1). M - O'GeneRuler™ 100 bp Plus DNA Ladder marker (“Fermentas”, Lithuania); 2 - TPA destructor strain *Rhodococcus* sp. S6 (plasmid ~100 kb)]

ческих соединений. Так, у штаммов *Paenarthrobacter nicotinovorans* pAO1 и *Paenarthrobacter* sp. YJN-5 обнаружены плазмиды, включающие гены катаболизма никотина и ипродиона соответственно [Mihāšan et al., 2021; Zhang et al., 2021]. Можно предположить, что гены, контролирующие деструкцию ОФК и ТФК, у штамма SA101 также расположены на плазмиде.

### Заключение

Таким образом, исследованный нами штамм *Paenarthrobacter* sp. SA101 способен к эффективному росту и утилизации до 20 г/л ОФК и ТФК, при этом в средах с ОФК зафиксированы более высокие параметры роста бактериальных клеток, чем в средах с ТФК: при использовании 20 г/л ТФК наблюдались наиболее высокие ростовые характеристики штамма, чем в среде с 10 г/л ТФК, однако подготовительная фаза роста была более продолжительной. Штамм SA101 способен к утилизации 76% ОФК в течение 39 ч. и 74.2% ТФК за 71 ч. культивирования при использовании данных фталевых кислот в концентрации 10 г/л. Штамм *Paenarthrobacter* sp. SA101 является перспективным для разработки биотехнологических методов очистки загрязненных фталатами почв и промышленных стоков.

### Список источников

1. Зайцев Г.М., Карасевич Ю.Н. Утилизация 4-хлорбензойной кислоты штаммом *Arthrobacter globiformis* // Микробиология. 1981. Т. 50. С. 35-40.
2. Егорова Д.О. и др. Деструкция ароматических углеводов штаммом *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7, выделенным из отходов соледобывающего предприятия // Прикладная биохимия и микробиология. 2013. Т. 49, № 3. С. 267–278.
3. Малышева А.А., Ястребова О.В., Плотникова Е.Г. Выделение и характеристика штамма-деструктора сложных эфиров фталевой кислоты *Paenarthrobacter* sp. SA101 // Фундаментальные и прикладные аспекты биоинформатики, биотехнологии и недропользования: сб. статей всерос. науч. конф. с междунар. участием. Пермь, 2021. С. 69–71.
4. Нетрусов А.И. Практикум по микробиологии. М.: Академия, 2005. 608 с.
5. Ястребова О.В., Малышева А.А., Плотникова Е.Г. Галотолерантные бактерии рода *Glutamicibacter* – деструкторы терефталевой кислоты // Прикладная биохимия и микробиология. 2022. Т. 58, № 5. С. 476–483.
6. Benjamin S. et al. A monograph on the remediation of hazardous phthalates // J. Hazard. Mater. 2015. Vol. 298. P. 58–72.
7. Boll M. et al. Minireview. Microbial degradation of phthalates: biochemistry and environmental implications // Environ. Microbiol. Reports. 2020. Vol. 12(1). P. 3–15.
8. Chen F. et al. High-efficiency degradation of phthalic acid esters (PAEs) by *Pseudarthrobacter defluvii* E5: Performance, degradative pathway, and key genes // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 794 : 10. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148719. 48719.
9. Dagley S. Catabolism of aromatic compounds by microorganisms // Adv. Microb. Physiol. 1971. Vol. 6. P. 1–46.
10. Eaton R.W. Plasmid-encoded phthalate catabolic pathway in *Arthrobacter keyseri* 12B // J. Bacteriol. 2001. Vol. 183. P. 3689–3703.
11. Gao D. et al. An overview of phthalate acid ester pollution in China over the last decade: Environmental occurrence and human exposure // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 645. P. 1400–1409.
12. Kallimanis A. et al. Complete genome sequence of *Arthrobacter phenanthrenivorans* type strain (Sphe3) // Stand. Genomic Sci. 2011. Vol. 4. P. 123–30.
13. Karthik M. et al. Biodegradability enhancement of purified terephthalic acid wastewater by coagulation–flocculation process as pretreatment // J. Hazard. Mater. 2008. Vol. 154. P. 721–730.
14. Liang D.W., Zhang T., Fang H. Phthalates biodegradation in the environment // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2008. Vol. 80. P. 183–198.
15. Marko M.A., Chipperfield R., Birnboim H.C. A procedure for the large-scale isolation of highly purified plasmid DNA using alkaline extraction and binding to glass powder // Analit. Biochem. 1982. Vol. 121. P. 382–387.
16. Mihāšan M. et al. Time-dependent analysis of *Paenarthrobacter nicotinovorans* pAO1 nicotine-related proteome // ACS Omega. 2021. Vol. 6. P. 14242–14251.
17. Ren C. et al. Complete degradation of di-*n*-butyl phthalate by *Glutamicibacter* sp. strain 0426 with a novel pathway // Research Square. 2023. doi.org/10.21203/rs.3.rs-2696404/v1.
18. Shariati S. et al. Degradation of dibutyl phthalate by *Paenarthrobacter* sp. Shss isolated from Saravan landfill, Hyrcanian Forests, Iran // Biodegradation. 2022. Vol. 33. P. 59–70.
19. Stanislauskienė R., Rudenkov M., Karvelis L. Analysis of phthalate degradation operon from *Arthrobacter* sp. 68b // Biologija. 2011. Vol. 57. P. 45–54.

20. Suwanawat N. et al. Biodegradation of terephthalic acid by *Rhodococcus biphenylivorans* isolated from soil // *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 2019. Vol. 10. P. 30–33.
21. Wang Z. et al. Environmental health risks induced by interaction between Phthalic Acid Esters (PAEs) and biological macromolecule: A review // *Chemosphere.* 2023. Vol. 4. 138578. doi: 10.1016/j.138578.
22. Zhang M. et al. Comparative genomic analysis of iprodione-degrading *Paenarthrobacter* strains reveals the iprodione catabolic molecular mechanism in *Paenarthrobacter* sp. strain YJN-5 // *Environ. Microbiol.* 2021. Vol. 23. P. 1079–1095.
23. Zhang X. et al. Purified terephthalic acid wastewater biodegradation and toxicity // *J. Environ. Sci. (China).* 2005. Vol. 17(5). P. 876–880.
24. Zhang Y.M. et al. Degradation of terephthalic acid by a newly isolated strain of *Arthrobacter* sp. 0574 // *South African J. of Science.* 2013. Vol. 109. doi.org/10.1590/sajs.2013/20120019.

## References

1. Zaitsev G.M., Karasevich Yu.N. [Utilization of 4-chlorobenzoic acid by *Arthrobacter globiformis* strain]. *Microbiology.* V. 50 (1981): pp. 35-40 (In Russ.).
2. Egorova D.O., Korsakova E.S., Demakov V.A., Plotnikova E.G. [Degradation of aromatic hydrocarbons by the *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 isolated from waste products of a salt mining plant]. *Appl. Biochem. Microbiol.* V. 49 (2013): pp. 244-254 (In Russ.).
3. Malysheva A.A., Yastrebova O.V., Plotnikova E.G. [Isolation and characterization of the strain-destroyer of phthalic acid esters *Paenarthrobacter* sp. SA101]. *Fundamental'nye i prikladnye aspekty bioinformaticj, biotekhnologii i nedropol'zovanija* [Fundamental and applied aspects of bioinformatics, biotechnology and subsoil use. Collection of articles of the All-Russian scientific conference]. Perm, 2021, pp. 69-71. (In Russ.).
4. Netrusov A.I. *Praktikum po mikrobiologii* [Practicum on microbiology]. Moscow, Academija Publ.. 2005. 608 p. (In Russ.).
5. Yastrebova O.V., Malysheva A.A., Plotnikova E.G. [Halotolerant bacteria of the genus *Glutamicibacter* – destroyers of terephthalic acid]. *Appl. Biochem. Microbiol.* V. 58, No. 5 (2022): pp. 590-597. (In Russ.).
6. Benjamin S., Pradeep S., Josh M.S., Kumar S., Masai E. A monograph on the remediation of hazardous phthalates. *J. Hazard Mater.* V. 298 (2015): pp. 58-72.
7. Boll M., Geiger R., Junghare M., Schink B. Minireview. Microbial degradation of phthalates: biochemistry and environmental implications. *Environ. Microbiol. Reports.* V. 12(1) (2020): pp. 3-15.
8. Chen F., Chen Y., Chen C., Feng L., Dong Y., Chen J., Lan J., Hou H. High-efficiency degradation of phthalic acid esters (PAEs) by *Pseudarthrobacter defluvii* E5: Performance, degradative pathway, and key genes. *Sci. Total Environ.* V. 794 (2021): 794. 10. 148719.
9. Dagley S. Catabolism of aromatic compounds by microorganisms. *Adv. Microb. Physiol.* V. 6 (1971): pp. 1-46.
10. Eaton R.W. Plasmid-encoded phthalate catabolic pathway in *Arthrobacter keyseri* 12B. *J. Bacteriol.* V. 183 (2001): pp. 3689-3703.
11. Gao D., Li Z., Wang H., Liang H. An overview of phthalate acid ester pollution in China over the last decade: Environmental occurrence and human exposure. *Sci. Total Environ.* V. 645 (2018): pp 1400-1409.
12. Kallimanis A., Labutti K.M., Lapidus A., Clum A., Lykidis A., Mavromatis K., Pagani I., Liolios K., Ivanova N., Goodwin L., Pitluck S., Chen A., Palaniappan K., Markowitz V., Bristow J., Velentzas A.D., Perisynakis A., Ouzounis C.C., Kyrpidis N.C., Koukkou A.I., Drinas C. Complete genome sequence of *Arthrobacter phenanthrenivorans* type strain (Sphe3). *Stand. Genomic Sci.* V. 4 (2011): pp. 123-130.
13. Karthik M., Dafale N., Pathe P., Nandy T. Biodegradability enhancement of purified terephthalic acid wastewater by coagulation–flocculation process as pretreatment. *J. Hazard. Mater.* V. 154 (2008): pp. 721-730.
14. Liang D.W., Zhang T., Fang H. Phthalates biodegradation in the environment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* V. 80 (2008): pp. 183-198.
15. Marko M.A., Chipperfield R., Birnboim H.C. A procedure for the large-scale isolation of highly purified plasmid DNA using alkaline extraction and binding to glass powder. *Analit. Biochem.* V. 121 (1982): pp. 382-387.
16. Mihășan M., Boiangiu R. Ș., Guzun D., Babii C., Aslebagh R., Channaveerappa D., Dupree E., Darie C.C. Time-dependent analysis of *Paenarthrobacter nicotinovorans* pAO1 nicotine-related proteome. *ACS Omega.* V. 6 (2021): pp. 14242-14251.
17. Ren C., Wang Y., Wu Y. Zhao H.P., Li L. Complete degradation of di-*n*-butyl phthalate by *Glutamicibacter* sp. strain 0426 with a novel pathway. *Research Square.* (2023). doi.org/10.21203/rs.3.rs-2696404/v1
18. Shariati S., Ebenau-Jehle C., Pourbabaee A.A., Alikhani H.A., Rodriguez-Franco M., Agne M., Jacoby M., Geiger R., Shariati F., Boll M. Degradation of dibutyl phthalate by *Paenarthrobacter* sp. Shss isolated from Saravan landfill, Hyrcanian Forests, Iran. *Biodegradation.* V. 33 (2022): pp. 59-70.
19. Stanislauskienė R., Rudenkov M., Karvelis L. Analysis of phthalate degradation operon from *Arthrobacter* sp. 68b. *Biologija.* V. 57. № 3 (2011): pp. 45-54.

20 Suwanawat N., Parakulsuksatid P., Nitayapat N., Sanpamongkolchai W. Biodegradation of terephthalic acid by *Rhodococcus biphenylivorans* isolated from soil. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* V. 10 (2019): pp. 30-33.

21. Wang Z., Ma J., Wang T., Qin C., Hu X., Mosa A., Ling W. Environmental health risks induced by interaction between Phthalic Acid Esters (PAEs) and biological macromolecule: A review. *Chemosphere.* V. 4 (2023): 138578. doi: 10.1016/j.138578.

22. Zhang M., Ren Y., Jiang W., Wu C., Zhou Y., Wang H., Ke Z., Gao Q., Liu X., Qiu J., Hong Q. Comparative genomic analysis of iprodione-degrading *Paenarthrobacter* strains reveals the iprodione catabolic molecular mechanism in *Paenarthrobacter* sp. strain YJN-5. *Environ. Microbiol.* V. 23 (2021): pp. 1079-1095.

23. Zhang X., Wan, Y., Cheng S., Sun S., Zhu C., Li W., Zhang X., Wang G., Lu J., Luo X. Purified terephthalic acid wastewater biodegradation and toxicity. *J. Environ. Sci. (China).* V. 17(5) (2005): pp. 876-880.

24. Zhang Y.-M., Sun Y.-Q., Wang Z.-J., Zhang J. Degradation of terephthalic acid by a newly isolated strain of *Arthrobacter* sp. 0574. *South African J. of Science.* V. 109 (2013). doi.org/10.1590/sajs.2013/20120019.

Статья поступила в редакцию 03.05.2023; одобрена после рецензирования 10.05.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 03.05.2023; approved after reviewing 10.05.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

О. В. Ястребова – канд. биол. наук, науч. сотрудник;

А. П. Прохорова – студент 4 курса;

Е. Г. Плотникова – д-р биол. наук, профессор.

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

O. V. Yastrebova – candidate of biological sciences, researcher;

A. P. Prokhorova – 4th year student;

E. G. Plotnikova – doctor of biological sciences, professor.

#### **Вклад авторов:**

Ястребова О. В. – экспериментальная работа; написание исходного текста.

Прохорова А. П. – экспериментальная работа; статистическая обработка материала.

Плотникова Е. Г. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; доработка текста.

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

Yastrebova O. V. – experimental work; writing the draft.

Prokhorova A. P. – experimental work; statistical processing of the material.

Plotnikova E. G. – scientific management; research concept; methodology development; followon revision of the text.

## ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 582.271/275:502.7(262.5)

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-179-194

### Таксономический анализ макрофитобентоса акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море)

Ирина Константиновна Евстигнеева<sup>1✉</sup>, Ирина Николаевна Танковская<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

<sup>1✉</sup> [ikevstigneeva@gmail.com](mailto:ikevstigneeva@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7473-251X>

<sup>2</sup> [itankovskay@gmail.com](mailto:itankovskay@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4907-0179>

**Аннотация.** С увеличением антропогенного влияния на охраняемые морские объекты происходит сокращение их биоразнообразия. Возникает необходимость составления прогнозов воздействия на их береговую зону. Прогнозы должны базироваться на результатах многолетних наблюдений, которые в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» проводились эпизодически в середине XX в. Сведения о флоре памятника немногочисленны и требуют актуализации. Цель работы – изучение видового состава, таксономической структуры и изменчивости макрофитобентоса памятника в современных условиях. Альгологические работы осуществляли методом вертикальных гидробиотических разрезов в июле 2021 г. Пробы отбирал дайвер на глубине 0.5; 1, 3, 5, 10 и 15 м на восточном и западном участках. На основе данных за период с 1977 по 2021 гг. составлен список из 90 видов, 63 родов, 35 семейств, 24 порядков, 5 классов Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta. 13 видов имеют природоохранный статус. Основу фитоценозов образуют маловидовые роды, а флористических спектров – ограниченное число надвидовых таксонов. В 2021 г. фитоценоз памятника включал 52 вида. Флора памятника тепловодная, субтропическая, среда ее обитания – мезотрофная. Сравнение состава фитоценозов восточного и западного участков не выявило принципиальных различий. Низкие значения коэффициента Жаккара указывают на батиметрическую обособленность флористического состава. Выявлена прямая зависимость числа видов от глубины. Показано, что качественная гетерогенность фитоценозов в разные десятилетия не так выражена, как в пределах одного десятилетия.

**Ключевые слова:** макрофитобентос, видовой состав, таксономическая структура, пространственно-временная изменчивость, особо охраняемая территория, Крым, Черное море

**Для цитирования:** Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Таксономический анализ макрофитобентоса акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 179–194. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-179-194>.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания № 121030300149-0 Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН. Авторы выражают благодарность Т. В. Панкеевой (с.н.с. ФИЦ ИнБЮМ), Н. В. Мироновой (с.н.с. ФИЦ ИнБЮМ), водолазу-дайверу И. Ю. Тамойкину за помощь в проведении исследований.

## ECOLOGY

Original article

### Taxonomic analysis of macrophytobenthos in the area of the Natural Monument «Coastal aquatic complex near Cape Fiolent» (Black Sea)

Irina K. Evstigneeva<sup>1✉</sup>, Irina N. Tankovskaya<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, of the RAS, Sevastopol, Russia

<sup>1✉</sup> [ikevstigneeva@gmail.com](mailto:ikevstigneeva@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7473-251X>

<sup>2</sup> [itankovskay@gmail.com](mailto:itankovskay@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4907-0179>

**Abstract.** An increase in anthropogenic impact on protected marine objects makes their biodiversity decrease. There is a need to make forecasts of the impact on their coastal zone. The forecasts should be based on the re-

sults of long-term observations, which were carried out sporadically in the water area of the natural monument "Coastal aquatic complex near Cape Fiolent" in the middle of the 20th century. Information about the flora of the monument is scarce and needs to be updated. The aim of the study was to investigate the species composition, taxonomic structure and variability of the monument macrophytobenthos in modern conditions. Algological works were carried out by the method of vertical hydro-botanical sections in July 2021. Samples were taken by a diver at depths of 0.5; 1, 3, 5, 10 and 15 m in the eastern and western sections. A list of 90 species, 63 genera, 35 families, 24 orders, 5 classes Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta was compiled based on data for the period 1977 - 2021. 13 species have a conservation status. The basis of phytocenosis is formed by minor genera and the floristic spectra - by a limited number of superspecific taxa. In 2021 the phytocenosis of the monument included 52 species. The flora of the monument is warm-water, subtropical, and its habitat is mesotrophic. Comparison of the composition of phytocenoses in the eastern and western sites revealed no fundamental differences. Low values of Jaccard's coefficient indicate bathymetric isolation of the floristic composition. A direct dependence of the number of species on depth was revealed. It is shown that qualitative heterogeneity of phytocenoses in different decades is not as pronounced as within the same decade.

**Keywords:** macrophytobenthos, species composition, taxonomic structure, spatial and temporal variability, specially protected area, Crimea, Black Sea

**For citation:** Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. [Taxonomic analysis of macrophytobenthos in the area of the Natural Monument «Coastal aquatic complex near Cape Fiolent» (Black Sea)]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 179-194. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-179-194>.

**Acknowledgments:** the work was performed as a part of the state assignment of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences (Project No 121030300149-0). The authors are grateful to T. V. Pankeeva (Sr IBSS), N. V. Mironova (Sr IBSS) and diver I. Yu. Tamoikin for their help in the research.

## Введение

Биоразнообразие играет важную роль в обеспечении экосистемных функций и услуг, которые человечество получает из Мирового океана. Понимание того, как это обеспечение сохранится в эпоху, когда главным двигателем изменений окружающей среды становится человек, требует знания закономерностей формирования морского биоразнообразия во времени и пространстве [Strong et al., 2015; Vuopio et al., 2021]. Известно, что морские экосистемы с их эколого-видовым разнообразием в отдельных регионах нуждаются в обеспечении эффективной сохранности и защиты [Öztürk et al., 2017; Birben, 2019; Coad et al., 2019]. Одним из способов их сохранения является создание сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [Панкеева, Миронова, Пархоменко, 2022]. Такие территории, помимо прямого назначения, способны стать полигонами для мониторинга состояния локального биоразнообразия, результаты которого могут быть приняты во внимание при усовершенствовании природоохранных мероприятий [Fernández et al., 2016]. В прибрежной зоне Крыма расположены шесть ООПТ, включающих морские охраняемые акватории [Позаченюк и др., 2020; Особо охраняемые..., 2020]. В их число входят памятники природы гидрологического профиля. Существует мнение, что таксономические оценки разнообразия в Мировом океане крайне неполны или требуют актуализации [Luuraert et al., 2020]. Это в полной мере относится и к региональным ООПТ, среди которых «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Фиолент». Экологически важным компонентом морских экосистем являются бентосные макроводоросли. В связи с этим целью данной работы стало изучение видового состава, таксономической структуры и пространственно-временной изменчивости макрофитобентоса ПАК.

## Материал и методы исследования

Памятник природы «ПАК у мыса Фиолент» находится на юго-западе Крыма и представляет собой единую бенчево-клифовую зону, выработанную в отложениях структурных денудационноостанцовых равнин Гераклеяского полуострова и в магматических породах [Игнатов, Орлова, Санин, 2014]. Его береговая зона отличается своеобразным геолого-геоморфологическим строением и активными динамическими процессами. Акватория считается относительно чистой, что обеспечивается сезонными и суточными перемещениями водных масс и сгонно-нагонными явлениями. К факторам, обеспечивающим особенности циркуляции и динамики вод в районе от мыса Херсонес до мыса Фиолент, относятся интенсивный поток Основного Черноморского течения, направленный на запад и северо-запад вдоль южного побережья Крыма, севастопольский антициклон, северная периферия которого нередко является вдольбереговым потоком, направленным на юго-восток [Дьяков и др., 2020]. Западнее ПАК располагаются канализационно-очистные сооружения (КОС) «Южные», восточнее – КОС «Балаклавские». В неблагоприятных условиях (слабые течения и отсутствие стратификации) плюм сточных вод может быть большим (до 2.0–3.5 км<sup>2</sup>) и способным к поднятию на поверхность. Периодически у мыса Фиолент значения БПК<sub>5</sub>

превышают ПДК [Грузинов и др., 2019]. В 2021 г. такое превышение было зафиксировано у выпуска КОС «Балаклавские» [Дьяков и др., 2020].

Альгологические работы проводили в июле 2021 г. методом вертикальных гидробиотанических разрезов. Один из них был выполнен на восточном участке памятника (акватория пляжа «Яшмовый»), второй – на западном (пляж «Царский») (рис. 1).

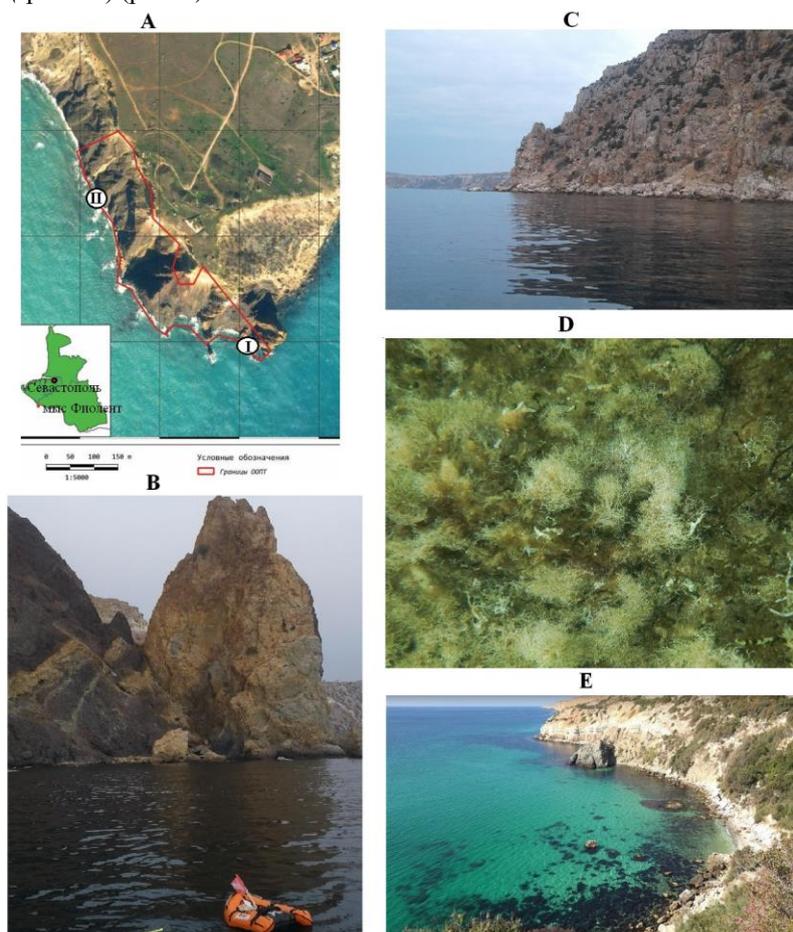


Рис. 1. Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент (Севастопольский регион):

А – схема расположения разрезов; В – пляж «Яшмовый» (I) (N 44° 30.244'; E 33° 30.225'); С, Е – пляж «Царский» (II) (N 44° 30.461'; E 33° 28.921'); D – заросли макроводорослей на глубине 1 м

[The Coastal aquatic complex at Cape Fiolent (Sevastopol region):

A – schematic location of the transects, B – «Yashmovyy» beach (I) (N 44° 30.244'; E 33° 30.225'); C, E – «Carskiy» beach (II) (N 44° 30.461'; E 33° 28.921'); D – macroalgae overgrowth at a depth of 1 m]

Отбор проб проводили с помощью дайвера на глубинах 0.5, 1; 3; 5; 10 и 15 м до границы распространения водорослей в четырехкратной повторности с применением учетных площадок размером 25 × 25 см [Калугина, 1969]. Всего было собрано 44 количественные пробы. Их первичная обработка проходила в лаборатории, где определяли видовой состав водорослей с применением микроскопа «Армед XS-90». Для идентификации видов руководствовались отечественным определителем [Зинова, 1967] и учитывали результаты последних номенклатурных ревизий [Guiry and Guiry, 2023].

Для описания таксономической структуры применяли сведения о пропорциях флоры, а данные по видовому составу привлекали для оценки принадлежности морской флоры к конкретной географической зоне (коэффициент Фельдманна) и для определения степени эвтрофирования водной среды в районе исследования (индекс Ченя) [Feldmann, 1937; Cheney, 1977]. Для сравнения альгофлоры восточного и западного участков ПАК использовали коэффициенты сходства видов по Жаккару ( $K_j$ , %) и их встречаемости ( $R$ , %). Данные о встречаемости легли в основу расчетов индексов гомотонности фитоценоза ( $J_{1,2}$ ), фитоценотической активности видов (особо-, высоко-, средне-, малоактивные), а также для выявления особенностей распределения видов по группам постоянства [Миркин, Розенберг, Наумова, 1989; Dajoz, 2006; Савинов, Никитин, 2017]. На базе этих данных виды делили на 5 классов встречаемости (класс А –

0–20%, B – 21–40%, C – 41–60%, D – 61–80%, E – 81–100%), по соотношению которых определяли степень соответствия закону встречаемости Раункиера [Грейг-Смит, 1967].

Для описания состояния фитоценоза в разные периоды времени привлекали собственные, архивные и литературные данные [Мильчакова, 2003]. Результаты собственных исследований в районе пляжа «Яшмовый» на глубине 0.5 м в июле и августе таких смежных лет, как 2002, 2003, 2005, 2007 и 2009 гг., а также в периоды, отделенные несколькими десятилетиями (1977, 2007, 2021 гг.) и условно обозначенные как несмежные годы, применили для описания разногодичной изменчивости видового состава. Для оценки изменчивости количества видов в ценозе и отделах определяли его среднее значение с доверительным интервалом [Жукова, 2019], а по величине коэффициента вариации ( $C_v$ , %) – еще и тип варибельности показателя (верхне- и нижнормальный, значительный, большой, очень большой, аномально высокий) [Зайцев, 1990].

## Результаты и обсуждение

**Общая характеристика макрофитобентоса в акватории «ПАК у мыса Фиолент» летом 2021 г.** В период наших работ в составе макрофитобентоса (МФБ) ПАК обнаружены 52 вида из 38 родов, 23 семейств, 16 порядков, 5 классов отделов Chlorophyta (Ch), Ochrophyta (Och) и Rhodophyta (Rh) (табл. 1).

Таблица 1

### Видовой состав макроводорослей памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» [Species composition of macroalgae of the Nature conservation area «NAC at the cape Fiolent»]

№	Таксон	1*	2	3	4	5
CHLOROPHYTA Rchb.						
Ulvophyceae Mattox et K.D. Stewart						
Cladophorales Haeckel						
Cladophoraceae Wille						
1	<i>Chaetomorpha linum</i> (O.F. Müll.) Kütz.		+	+	+	+
2	<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillw.) Kütz.		+	+	+	+
3	<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillw.) Kütz.	+	+	+	+	+
4	<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kütz.	+	+	+	+	+
5	<i>Cladophora liniformis</i> Kütz.				+	
6	<i>Cladophora sericea</i> (Huds.) Kütz.			+	+	
7	<i>Cladophora vadorum</i> Aresch. Kütz.			+		
8	<i>Lychaete echinus</i> (Biaioletto) M.J. Wynne		+			
Ulvales F.F. Blackman et Tansley						
Ulvaceae J.V. Lamour. ex Dumort.						
9	<i>Ulva intestinalis</i> L.				+	+
10	<i>Ulva linza</i> L.				+	
11	<i>Ulva rigida</i> C. Agardh				+	+
Ulvellaceae Schmidle						
12	<i>Ulvella viridis</i> (Reinke) R. Nielsen, O'Kelly et B. Wysor		+			
13	<i>Ulvella wittrockii</i> (Wille) R. Nielsen		+			
14	<i>Ulvella lens</i> P.Crouan et H. Crouan	+	+			
15	<i>Ulvella scutata</i> (Reinke) R. Nielsen, C.J. O'Kelly et B. Wysor	+	+			
Boodleaceae Borgesen						
16	<i>Cladophoropsis membranacea</i> (Hofm.-Bang ex C. Agardh) Borgesen		+			
Ulotrichales Borzi						
Ulotrichaceae Kütz.						
17	<i>Ulothrix implexa</i> (Kütz.) Kütz.			+	+	+
Bryopsidales J.H. Schaffner						
Bryopsidaceae Bory						
18	<i>Bryopsis hypnoides</i> J.V. Lamour.	+	+			
Codiaceae Stackhouse						
19	<i>Codium vermilara</i> (Olivi) Delle Chiaje	+	+			
Acrosiphoniales (отсутствует)						
Acrosiphoniaceae S. Jónsson						
20	<i>Acrosiphonia arcta</i> (Dillw.) Gain		+			
<b>Всего Ch: 20 видов, 10 родов, 8 семейств, 5 порядков, 1 класс</b>						
OCHROPHYTA Caval.-Sm.						
Phaeophyceae Kjellm.						
Fucales Bory						
Sargassaceae Kütz.						
21	<i>Gongolaria barbata</i> (Stackh.) Kuntze	+	+	+	+	+

№	Таксон	1*	2	3	4	5
22	<i>Ericaria crinita</i> (Duby) Molinari et Guiry	+	+	+	+	+
Sphacelariales Mig. Cladostephaceae Oltm.						
23	<i>Cladostephus hirsutus</i> (L.) Boudouresque et M. Perret-Boudouresque ex Heesch et al.	+	+	+	+	+
Sphacelariaceae Decne.						
24	<i>Sphacelaria cirrosa</i> (Roth) C. Agardh	+	+	+	+	+
25	<i>Halopteris scoparia</i> (L.) Sauvageau		+		+	
Tilopteridales Bessey Cutleriaceae J.W. Griffith et A. Henfrey						
26	<i>Zanardinia typus</i> (Nardo) P.C. Silva in Greuter	+	+			
Ectocarpales Bessey Chordariaceae Grev.						
27	<i>Punctaria tenuissima</i> (C. Agardh) Grev.				+	
28	<i>Punctaria latifolia</i> Grev.			+		
29	<i>Stilophora tenella</i> (Esper) P.C. Silva	+	+		+	
30	<i>Corynophlaea umbellata</i> (C. Agardh) Kütz.	+	+	+	+	+
31	<i>Corynophlaea flaccida</i> (C. Agardh) Kütz.				+	+
32	<i>Litosiphon laminariae</i> (Lyngb.) Harvey		+			
33	<i>Striaria attenuata</i> (Grev.) Grev.	+	+			
34	<i>Myriactula rivulariae</i> (Suhr ex Aresch.) Feldmann	+	+			+
35	<i>Eudesme virescens</i> (Carmichael et Berkeley) J. Agardh	+	+			
36	<i>Stictyosiphon adriaticus</i> Kütz.	+				
37	<i>Spermatochnus paradoxus</i> (Roth) Kütz.	+	+			
38	<i>Giraudia sphacelarioides</i> Derbès et Solier		+			
39	<i>Asperococcus bullosus</i> J.V. Lamour.	+	+			
Ectocarpaceae Lyngb.						
40	<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillw.) Lyngb.	+	+			
Acinetosporaceae G. Hamel et Feldmann						
41	<i>Feldmannia lebelii</i> (Aresch. ex P. Crouan et H. Crouan) Hamel.			+		
42	<i>Feldmannia irregularis</i> (Kütz.) Hamel	+	+		+	+
43	<i>Feldmannia paradoxa</i> (Montagne) Hamel		+			
Dictyotales Bory Dictyotaceae J.V. Lamour. ex Dumortier						
44	<i>Dictyota fasciola</i> (Roth) J.V. Lamour.		+	+	+	+
45	<i>Padina pavonica</i> (L.) Thivy in W.R. Taylor	+	+	+	+	+
Ralfsiales Nakamura et P.-E. Lim et H. Kawai Pseudoralfsiaceae Parente, Fletcher et G.W. Saunders						
46	<i>Pseudoralfsia verrucosa</i> (Areschoug) Parente, Fletcher et G.W. Saunders		+			
<b>Всего Och: 26 видов, 22 рода, 9 семейств, 6 порядков, 1 класс</b>						
RHODOPHYTA Wettst. Florideophyceae Cronquist						
Ceramales Nägeli Rhodomelaceae Horan.						
47	<i>Carradoriella denudata</i> (Dillw.) Savoie et G.W. Saunders		+	+	+	+
48	<i>Carradoriella elongata</i> (Huds.) Savoie et G.W. Saunders	+				
49	<i>Polysiphonia opaca</i> (C. Agardh) Moris et De Notaris			+	+	
50	<i>Polysiphonia breviarticulata</i> (C. Agardh) Zanard.				+	+
51	<i>Polysiphonia subulata</i> (Ducluzeau) Kütz.			+		
52	<i>Vertebrata subulifera</i> (C. Agardh) Kuntze	+	+	+	+	+
53	<i>Vertebrata fucoides</i> (Huds.) Kuntze				+	+
54	<i>Laurencia obtusa</i> (Huds.) J.V. Lamour.	+	+	+	+	+
55	<i>Laurencia coronopus</i> J. Agardh	+	+	+	+	+
56	<i>Palisada perforata</i> (Bory) K.W. Nam	+	+	+		
57	<i>Osmundea pinnatifida</i> (Huds.) Stackhouse				+	
58	<i>Chondria dasyphylla</i> (Woodw.) C. Agardh	+			+	+
59	<i>Chondria capillaris</i> (Huds.) M.J. Wynne		+		+	+
Ceramiaceae Dumort.						
60	<i>Ceramium virgatum</i> Roth	+	+	+	+	+
61	<i>Ceramium diaphanum</i> (Lightf.) Roth		+	+	+	+
62	<i>Ceramium ciliatum</i> (Ell.) Ducl.		+	+	+	+
63	<i>Ceramium deslongchampsii</i> Chauvin ex Duby		+	+		
64	<i>Antithamnion cruciatum</i> (Agardh) Näg.				+	+

№	Таксон	1*	2	3	4	5
65	<i>Pterothamnion plumula</i> (J. Ellis) Näg. <i>Callithamniaceae</i> Kütz.			+		
66	<i>Callithamnion corymbosum</i> (J.E. Smith.) Lyngb.		+	+	+	+
67	<i>Callithamnion granulatum</i> (Ducluzeau) C. Agardh			+		
68	<i>Gaillona seposita</i> (Gunnerus) Athanasiadis <i>Delesseriaceae</i> Bory		+	+		
69	<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turn.) J. Agardh <i>Wrangeliaceae</i> J. Agardh	+			+	+
70	<i>Spermothamnion strictum</i> (C. Agardh) Gelidiales Kylin <i>Gelidiaceae</i> Kütz.	+	+	+	+	+
71	<i>Gelidium crinale</i> (Hare ex Turner)	+	+	+		+
72	<i>Gelidium spinosum</i> (S.G. Gmel.) P.C. Silva Gigartinales F. Schmitz <i>Phylloporaceae</i> Willk.		+	+		+
73	<i>Phyllophora crispa</i> (Huds.) P.S. Dixon Corallinales P.C. Silva et H.W. Johans. <i>Corallinaceae</i> J.V. Lamour.	+	+	+	+	+
74	<i>Corallina officinalis</i> L.		+		+	+
75	<i>Ellisolandia elongata</i> (J. Ellis et Solander) K.R. Hind et G.W. Saunde	+	+	+	+	+
76	<i>Hydrolithon farinosum</i> (J.V. Lamour.) Penrose et Y.M. Chamb.	+	+	+	+	+
77	<i>Pneophyllum confervicola</i> (Kütz.) Y.M. Chamberlain	+	+			
78	<i>Pneophyllum fragile</i> Kütz.	+	+			
79	<i>Jania rubens</i> (L.) J.V. Lamour.	+	+	+		
80	<i>Jania virgata</i> (Zanard.) Montagne Acrochaetiales Feldmann <i>Acrochaetiaceae</i> Fritsch ex W.R. Taylor		+			
81	<i>Acrochaetium secundatum</i> (Lyngb.) Näg. in Näg. et Cramer <i>Rhodochortonaceae</i> (автор не указан)		+	+	+	+
82	<i>Rhodochorton purpureum</i> (Light.) Rosenv. Hapalidiales W.A. Nelson, J.E. Sutherland, T.J. Farr et H.S. Yoon <i>Hapalidiaceae</i> J.E. Gray		+		+	+
83	<i>Melobesia membranacea</i> (Esper) J.V. Lamour. Rhodymeniales Näg. <i>Lomentariaceae</i> Willkomm				+	+
84	<i>Lomentaria clavellosa</i> (Lightfoot ex Turner) Gaillon Peyssonneliales Kraysky, Fredericq et J.N. Norris <i>Peyssonneliaceae</i> Denizot			+	+	+
85	<i>Peyssonnelia dubyi</i> P. Crouan et H. Crouan <i>Palmariales</i> Guiry et D.E.G. Irvine <i>Meiodiscaceae</i> S.L. Clayden et G.W. Saunders		+			
86	<i>Meiodiscus concreescens</i> (K.M. Drew) P.W. Gabrielson Nemaliales F. Schmitz <i>Nemaliaceae</i> De Toni et Levi		+			
87	<i>Nemalion elminthoides</i> (Velley) Batters Halymeniales G.W. Saunders et Hommersand <i>Grateloupiaceae</i> Schmitzn		+	+		
88	<i>Dermocorynus dichotomus</i> (J. Agardh) Gargiulo, Morabito et Manghisi Stylonematophyceae H.S. Yoon, K.M. Müller, R.G. Sheath, F.D. Ott et D. Bhattacharya Stylonematales K.M. Drew <i>Stylonemataceae</i> K.M. Drew			+		
89	<i>Chroodactylon ornatum</i> (C. Agardh) Basson Compsopogonophyceae G.W. Saunders et Hommersand Erythropeltales Garbary, G.I. Hansen et Scagel <i>Erythrotrichiaceae</i> G.M. Smith					+
90	<i>Erythrotrichia carnea</i> (Dillw.) J. Agardh			+	+	+
<b>Всего Rh: 44 вида, 31 род, 18 семейств, 13 порядков, 3 класса</b>						
<b>Итого: 90 видов, 63 рода, 35 семейств, 24 порядка, 5 классов</b>						

Примечание: \* 1 – архивные данные Калугиной-Гутник А.А. за 1977 г.; 2 – Мильчакова, 2003; 3 – архивные данные авторов за 2002–2005, 2007, 2009 гг.; 4 – пляж «Яшмовый» и 5 – пляж «Царский» за 2021 г.

Среди видов, обнаруженных летом 2021 г, каждый пятый имеет охранный статус и включен в различные Красные книги и списки [The Black Sea Red Data List, 1997; The Black Sea Red Data Book, 1999; Красная книга РФ, 2008; Червона книга України, 2009; Красная книга Крыма, 2015; Красная книга Севастополя, 2018].

Таксономическая пропорция бентосной флоры в 2021 г. выглядит как 1 порядок : 1 семейство : 2 рода : 3 вида. Видовое соотношение отделов демонстрирует количественное превосходство красных водорослей (1Ch:1Och:3Rh). Коэффициент Фельдманна составляет 2.2, что указывает на принадлежность флоры ПАК к тепловодной, субтропической. Величина индекса Ченея (3.0) позволяет считать среду обитания водорослей в период наших исследований близкой к мезотрофной.

Основу таксономического разнообразия составляет ограниченное число надвидовых таксонов, сведения о которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Флористический спектр ведущих (по числу видов, N) таксонов в 2021 г.**

**[Floristic spectrum of leading (by number of species, N) taxa in 2021]**

Род	N, ед.	Ранг	Семейство	N, ед.	Ранг	Порядок	N, ед.	Ранг
<i>Cladophora</i>	4	I	<i>Rhodomelaceae</i>	10	I	Ceramiales	17	I
<i>Ulva</i>	3	II	<i>Ceramiales</i>	4	II	Cladophorales	6	II
<i>Ceramium</i>	3	II	<i>Cladophoraceae</i>	6	III	Ectocarpales	6	II
			<i>Chordariaceae</i>	5	IV			
Всего видов	10 (19%)*		Всего видов	25 (48%)		Всего видов	29 (56%)	

Примечание: \*% от общего числа видов.

В спектре родов преобладают одно- или двувидовые таксоны. Среди семейств и порядков с высоким родовым разнообразием выделяются *Ceramiales*, *Rhodomelaceae*, Ectocarpales, Corallinales, Ceramiales, многие из которых занимают ведущее положение в черноморском МФБ. Среди порядков с большим разнообразием семейств отмечены Sphacelariales и Ceramiales. Отделы в определенной мере отличаются друг от друга своими таксономическими пропорциями и спектрами (табл. 3).

Таблица 3

**Таксономические пропорции и спектры в фитоценозе и отделах в 2021 г.**

**[Taxonomic proportions and spectra in phytocenoses and divisions in 2021]**

Пропорции таксонов (п:с:р:в)*	Таксономические спектры		
	отделы (Ch; Och; Rh)		фитоценоз
Фитоценоз	1:1:2:3	в/р	2.5; 1.1; 1.3
Chlorophyta	1:1:1:3	в/с	3.3; 2.2; 2.1
Ochrophyta	1: 1:3:3	в/п	3.3; 3.2; 3.2
Rhodophyta	1:1:2:3	р/с	1.3; 2.0; 1.6
		р/п	1.3; 3.0; 2.4
		с/п	1.0; 1.5; 1.6

Примечание: \* п – порядки, с – семейства, р – роды, в – виды.

Пропорция таксонов у Rh и фитоценоза одинаковая, что объясняется высоким участием отдела в формировании МФБ в районе исследований. Летом 2021 г. на них приходится 53–56% от общего числа таксонов каждого ранга. Для таксономических спектров Ch характерна самая высокая среди отделов видовая насыщенность семейств, самое низкое родовое разнообразие семейств и порядков, малое число семейств, приходящихся на один порядок. Спектры Och и Rh во многом совпадают.

Виды, обнаруженные летом 2021 г., обладают разной встречаемостью на горизонтах. Для зеленых водорослей характерны самый низкий размах ее вариации и небольшое среднее значение (17–33% и 22% соответственно), у бурых водорослей уровень этих параметров является наиболее высоким среди отделов (17–100% и 55%). Встречаемость видов Rh вдвое выше, чем у Ch и ниже, чем у Och. Представитель бурых водорослей *Ericaria crinita* (Duby) Molinari et Guiry обитает повсеместно. У *Cladostephus hirsutus* (L.) Boudouresque, *Laurencia obtusa* (Huds.) J.V. Lamour., *Corallina officinalis* L., *Vertebrata subulifera* (C. Agardh) Kuntze встречаемость не достигает 100%, но и она в 1.5–2.5 раза выше, чем у других видов. С учетом экологической шкалы [Калугина-Гутник, 1975], виды с высокой встречаемостью относятся к морским, олигосапробным и большей частью к ведущим и многолетним водорослям.

**Макрофитобентос в акватории пляжа «Царский» (западная часть памятника природы) в 2021 г.**

На данном участке обнаружено 44 вида макроводорослей из 34 родов, 23 семейств, 16 порядков отделов Ch, Och и Rh (табл. 4). Видовое соотношение отделов выглядит как 1Ch:1Och:4Rh. На долю Rh приходится 56, 61, 62 и 61% общего числа порядков, семейств, родов и видов соответственно. Величина индекса Ченея (3.8) свидетельствует о средней степени органического загрязнения морской среды исследованной части акватории. При этом некоторое время назад пляж считался закрытым и труднодоступным для

отдыхающих из-за крутого спуска и освоения этого участка берега дачными кооперативами [Долотов, Иванов, 2007]. Пропорции таксонов у отделов и фитоценоза совпадают на уровне соотношения «порядок : семейство», у Och, Rh и ценоза – «порядок : семейство : род», у Rh и ценоза пропорции одинаковые. Среди родов только *Ceramium* представлен тремя видами, остальные – одним или двумя. Наиболее высоким разнообразием соподчиненных таксонов отличаются Ceramiales, *Ceramiales* и *Rhodomelaceae*.

Таблица 4

**Таксономическая характеристика макрофитобентоса в акватории пляжей «Яшмовый» и «Царский» летом 2021 г.**

**[Taxonomic characteristics of macrophytobenthos in the water area of beaches «Yashmovyj» and «Carskiji» in the summer of 2021]**

Отдел / ценоз	Количество таксонов				Пропорция таксонов (п:с:р:в)	Таксономические спектры			
	п	с	р	в		в/р	в/с	в/п	с/п
Ценоз	14/16*	21/23	35/34	48/44	1:1.5:2.5:3/1:1:2:3	1.4/1.3	2.3/1.9	3.4/2.7	1.5/1.4
Ch	3/3	3/3	4/4	10/7	1:1:1:3/1:1:1:2	2.5/1.7	3.3/2.3	3.3/2.3	1.0/1.0
Och	4/4	6/6	11/9	12/10	1:1.5:3:3/1:1.5:2:2/5	1.1/1.0	2.0/1.7	3.0/2.2	1.5/1.5
Rh	7/9	12/14	20/21	26/27	1:2:3:4/1:2:2:3	1.3/1.3	2.2/1.9	3.7/3.0	1.7/1.6

Примечание: \* перед чертой данные для пляжа «Яшмовый», после – для пляжа «Царский».

Распределение видов по глубинам отличается неравномерностью. Представители Ch встречаются в диапазоне глубин от 0.5 до 5 м, нижняя граница распространения Och и Rh проходит на горизонте 15 м (рис. 2).

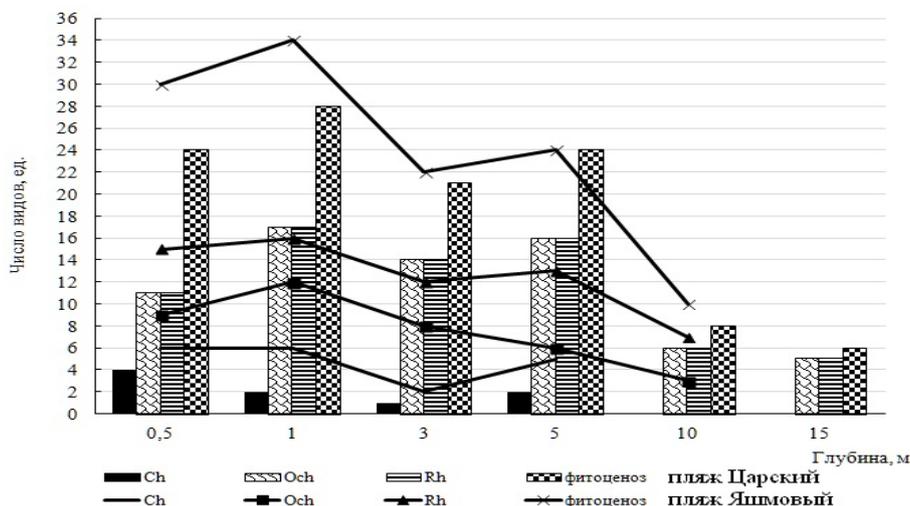


Рис. 2. Изменение числа видов в отделах и ценозе по глубинам в акватории пляжей «Яшмовый» и «Царский» в 2021 г.

[Changes in the number of species in divisions and cenosis by depth in the waters of beaches «Yashmovyj» and «Carskiji» in 2021]

В зависимости от встречаемости на станциях разреза виды делятся на группы постоянных, добавочных и случайных (рис. 3).

По числу видов в ценозе преобладает добавочная группа (57%), а две другие представлены примерно равной долей. Среди Ch отсутствуют постоянные виды с встречаемостью более 50% и господствуют случайные (71% от общего числа видов Ch в 2021 г.). Среди Och один вид случайный, остальные – постоянные и добавочные. У Rh к добавочной группе относятся 67% видов. *Ericaria crinita* обладает 100%-ной встречаемостью. Средняя встречаемость видов Och (55%) в 1.3 раза выше, чем Rh и в 2.5 раза, чем Ch.

О роли вида в сообществе можно судить по величине индекса фитоценологической активности. Расчеты показывают, что в районе пляжа «Царский» доминируют среднеактивные виды и достаточно много высокоактивных (табл. 5). Вклад особаактивных видов в два-три раза меньше такового у остальных категорий. Неактивные виды отсутствуют. Высокая общая доля видов со средней и малой активностью (почти 60%) говорит о батиметрической динамичности фитоценоза исследованной части акватории.

Максимум видового разнообразия Ch приходится на 0.5 м, что связано с характером спектрального состава света на малых глубинах. С увеличением глубины до 3 м число видов отдела уменьшается. Второй пик, но уже не максимальный, наблюдается на 5 м. Изменения абсолютного числа видов Rh и в фитоценозе происходят синхронно с максимумом на 1 м и минимумом на 15 м. Для Och характерна обрат-

ная зависимость между глубиной и абсолютным числом видов. Батиметрические изменения этого же показателя у Rh имеют волнообразный характер. Среднее число видов Rh ( $11.5 \pm 4.1$ ) в 5 раз больше, чем у Ch, и вдвое, чем у Och. Для батиметрических изменений относительного числа видов Ch присущ четко выраженный максимум на 0.5 м. У Och между относительным числом видов и глубиной связь обратно пропорциональная, у Rh и ценоза – прямая. Характер таких зависимостей наглядно демонстрирует приспособленность представителей трех отделов к спектральному составу света на разных глубинах. Среднее относительное число видов Ch ( $9.2 \pm 4.1$ ) в несколько раз меньше, чем у Och ( $27.5 \pm 5.7$ ) и Rh ( $66.4 \pm 10.2$ ). Изменчивость абсолютного и относительного числа видов Ch по типу одинаково «значительная», у других отделов она ниже и находится в пределах «нормы».

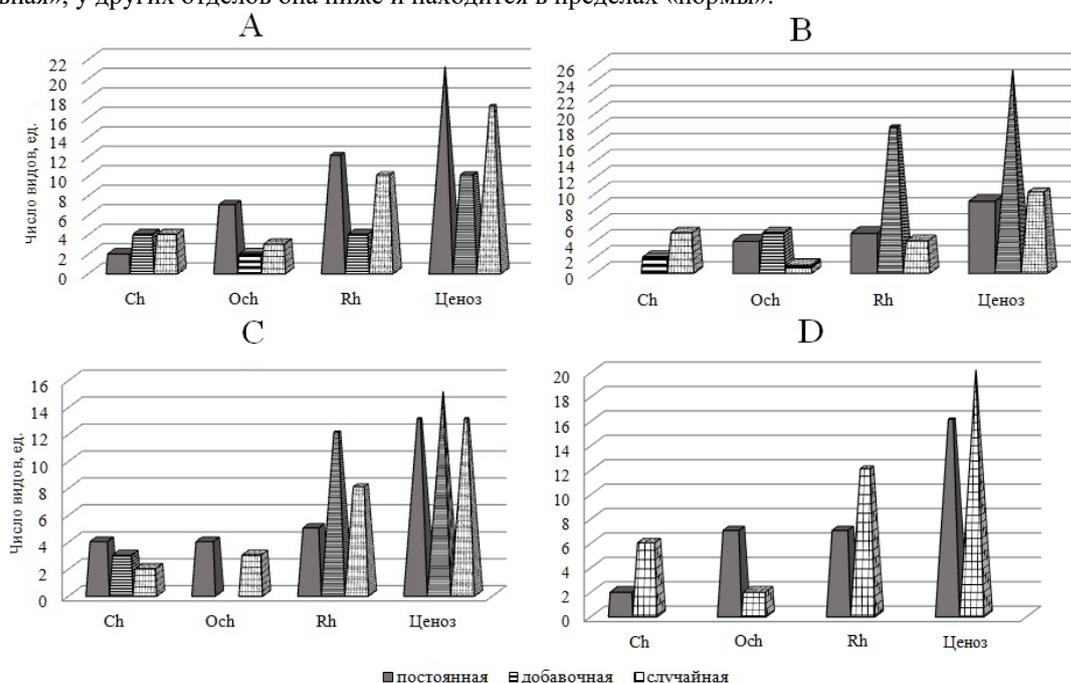


Рис. 3. Распределение видов по группам постоянства на разных участках охраняемой акватории летом 2021 г. и в разные периоды лет: А – пляж «Яшмовый», В – пляж «Царский»; С – смежные, D – несмежные годы

[Distribution of species by persistence groups on different sections of the protected water area in the summer of 2021 and in different periods of years: A – «Yashmovy» beach, B – «Carskij» beach, C – adjacent, D – non-adjacent years]

Таблица 5

**Распределение видов по группам фитоценотической активности (2021 г.)**  
**[Distribution of species by phytocenotic activity groups in 2021]**

Группа	Пляжи		Годы	
	«Яшмовый»	«Царский»	Смежные	Несмежные
Особоактивная	14 (29%)	5 (11%)	8 (19%)	6 (17%)
Высокоактивная	7 (16%)	13 (30%)	5 (12%)	10 (28%)
Среднеактивная	10 (20%)	16 (36%)	13 (32%)	20 (55%)
Малоактивная	17 (35%)	10 (23%)	15 (37%)	–

С глубиной меняются не только количественные, но и качественные параметры фитоценоза. Матрица значений коэффициента Жаккара говорит о батиметрической гетерогенности видового состава всего сообщества и входящих в него отделов (рис. 4).

Самый низкий уровень сходства видового состава характерен для Ch. Отметим, что в районе исследованных отделов отличается небольшим видовым разнообразием и ограниченной зоной обитания. У других отделов сходство видов выше, но и оно касается примерно только их трети. В большинстве случаев гетерогенность видового состава снижается с ростом глубины. Исключение составляют фитоценоз, Och и Rh на 0.5 и 1 м, 10 и 15 м. Полная аналогия видового состава Och зафиксирована на 0.5 и 1 м.

Вывод о неоднородности видового состава МФБ на разных глубинах подтвержден результатами расчета индексов  $J_1$  и  $J_2$ , первый из которых не достигает 1, а второй – 2. Распределение видов по классам встречаемости демонстрирует частичное нарушение закона встречаемости Раункиера (класс  $A > B > C >$

= < D < E), учитывая численное соотношение классов А и В (А < В). Такой тип соотношения видов пяти классов встречаемости характерен сообществу, в котором постоянные виды малочисленны (рис. 5).

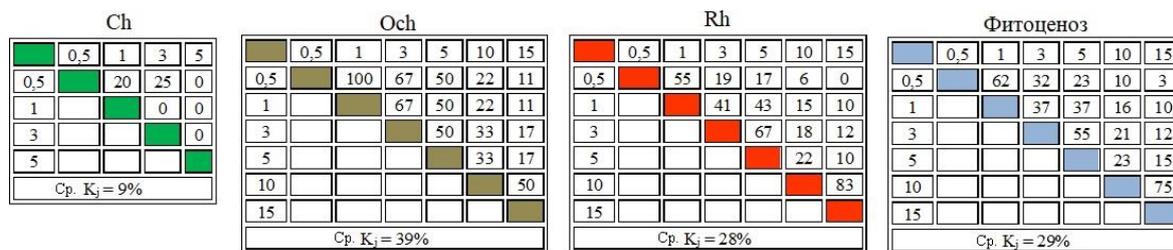


Рис. 4. Матрица значений коэффициента Жаккара (%) для фитоценоза и отделов на разных глубинах (2021 г.)

[Matrix of Jaccard's coefficient values (%) for phytocenosis and divisions at different depths (in 2021)]

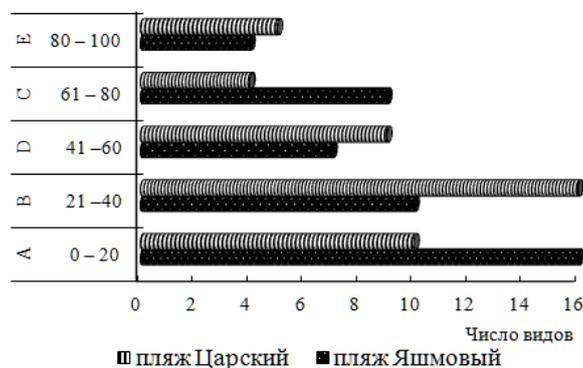


Рис. 5. Число видов различных классов встречаемости в макрофитобентосе пляжей «Яшмовый» и «Царский» в 2021 г.

[Number of species of different occurrence classes in the macrophytobenthos of beaches «Yashmovy» and «Carskiy» in 2021]

**Макрофитобентос в акватории пляжа «Яшмовый» (восточная часть памятника природы) в 2021 г.** МФБ в акватории пляжа представлен 48 видами, что составляет 92% от общего числа видов, идентифицированных летом 2021 г. Они относятся к 35 родам, 21 семейству и 14 порядкам Ch, Och и Rh. Таксономические пропорции у Ch, Rh и ценоза совпадают на уровне соотношения «порядок : семейство» (1:1), в остальном они отличаются друг от друга (табл. 4). Видовое соотношение отделов выглядит как 1Ch:1Och:3Rh. Среди родов только девять включают от 2 до 4 видов с максимумом у *Cladophora*, тогда как у *Ceramium* и *Ulva* на один вид меньше. Роды, представленные одним видом, составляют 74% от их общего разнообразия в акватории пляжа и объединяют в своем составе 54% обнаруженных здесь видов. К семействам и порядкам с высоким видовым богатством относятся *Cladophoraceae*, *Ceramiales*, *Rhodomelaceae*, *Cladophorales*, *Ectocarpales* и *Ceramiales*. Rh доминирует по всем параметрам таксономического состава. На долю его видов, родов, семейств и порядков приходится 50–57% от общего числа таксонов этих рангов. Преобладание родов, представленных одним видом, большое число одно- или двух-видовых порядков (57%) и семейств (76%), свидетельствуют о высоком таксономическом разнообразии флоры в акватории пляжа «Яшмовый» в 2021 г. Коэффициент Фельдманна составляет 2,2, что определяет флору в данной части акватории ПАК как среднюю между бореальной и субтропической. Индекс Ченя (3,0) показывает соответствие качества среды нижнему пределу средней степени ее загрязнения.

В акватории пляжа бурые и красные водоросли встречаются в диапазоне глубин от 0,5 до 10 м, зеленые – от 0,5 до 5 м. Отсутствие донной растительности на глубине более 10 м, где распространено урочище слабонаклонной равнины из песчаных отложений, было отмечено ранее [Панкеева, Миронова, Пархоменко, 2022]. Константное ядро флоры состоит из *Gongolaria barbata* (Stackh.) Kuntze, *Ericaria crinita*, *Cladostephus hirsutus*, *Vertebrata subulifera*. Встречаемость каждого пятого вида достигает 80%, треть видов обитает только на одном из горизонтов. Средняя встречаемость видов Ch (38%) меньше, чем у Rh (48%) и особенно у Och (60%). Все виды, в зависимости от встречаемости на станциях разреза, делятся на постоянные (44% общего состава), добавочные (21%) и случайные (35%). В отделах они представлены по-иному: среди Ch больше всего добавочных и случайных видов (по 40%), среди Och преобладают постоянные виды (58%), среди Rh – они же (46%) и случайные (38%). Коэффициент Жаккара на

разных глубинах наиболее высок у Och (50%), у других отделов и фитоценоза он ниже в 1.5 раза. Значения индексов  $J_1$  (1.0) и  $J_2$  (2.1) свидетельствуют о том, что пространственная неоднородность видового состава на восточной границе памятника менее выражена, чем на западной, а распределение видов по классам встречаемости соответствует закону Раункиера, что объясняется высоким суммарным вкладом видов классов С и Е (13 видов). Вывод о степени батиметрической неоднородности сообщества в акватории пляжа «Яшмовый» подтверждается и данными о количественном соотношении групп видов с разной фитоценотической активностью. В составе бентоса пляжа наибольшее развитие получают мало- и особо-активные виды. Общий вклад видов с высокой встречаемостью составляет 45%. Такое соотношение видов с разной активностью в фитоценозе указывает на некую сбалансированность видового состава ценоза в исследованном диапазоне глубин.

Наибольшее число видов обнаружено на первых двух горизонтах, после которых показатель у Och и Rh уменьшается. Rh по абсолютному числу видов лидирует повсеместно: на него приходится от 47 (на 1 м) до 70% (на 10 м) видового состава на каждом горизонте. Минимум видового разнообразия Ch зафиксирован на 3 м, у фитоценоза и других отделов – на 10 м. Сходной тенденцией для отделов является снижение абсолютного числа видов с глубиной (см. рис. 2).

Батиметрические изменения относительного числа видов у Ch и Och не проявляют выраженного тренда. Можно лишь выделить горизонт, где уровень этого показателя минимальный (3 м у Ch и 5 м у Och), в остальной же части фитали он одинаково выше. У Rh минимум относительного числа видов приходится на малые глубины, максимум – на самую глубоководную для разреза станцию (10 м). Изменения абсолютного и относительного числа видов соответствуют «норме» ( $C_v = 15-32\%$ ).

**Сравнительный анализ МФБ на западном и восточном участках памятника природы летом 2021 г.** Сравнение таксономического состава МФБ на двух участках ПАК показало отсутствие принципиальных различий. В незначительной степени они проявляются на уровне количества видов у Ch и фитоценоза, родов и видов у Och, порядков и семейств у Rh (см. табл. 4). Видовая представленность Ch, Och и фитоценоза в акватории пляжа «Яшмовый» хотя и выше, чем в районе пляжа «Царский», но только на 2–4 таксона. Одинаковым является видовое соотношение отделов Ch и Och. Однако, с учетом пропорции трех отделов, вклад красных водорослей все же весомее на западном участке. На обоих участках примерно одинаковые таксономические спектры ценоза и таких базовых отделов, как Och и Rh. Разнообразие ведущих таксонов и константного ядра флоры выше в акватории пляжа «Яшмовый».

Встречаемость видов на двух участках, в отличие от этого же показателя на каждом из них, но по глубинам, достигает 69–83% с максимумом у Rh. Виды с максимальной встречаемостью составляют 77% от их общего количества на двух участках. Такие высокие показатели свидетельствуют о качественной однородности фитоценоза в целом на двух участках ПАК. С учетом встречаемости видов на горизонтах в пределах каждого из участков, распределение по группам постоянства не совпадает (см. рис. 3). Так, в составе МФБ и среди Rh в районе пляжа «Царский» больше добавочных видов, а в акватории пляжа «Яшмовый» – постоянных. Среди Ch пляжа «Яшмовый» доминируют добавочные и случайные виды, пляжа «Царский» – только случайные.

Учитывая батиметрические изменения общего числа видов в фитоценозе, видим, что Rh и Och характеризуются одинаковой тенденцией его снижения с увеличением глубины. Пространственная локация крайних значений данного показателя на двух участках, как правило, совпадает, что подчеркивает важность среди других факторов спектрального состава света на разных глубинах для успешного функционирования водорослей. Низкие значения коэффициента Жаккара указывают на батиметрическую обособленность флористического состава МФБ на каждом из участков. Тем не менее, МФБ пляжа «Яшмовый» на разных глубинах, хотя и гетерогенен, но в меньшей степени, что подтверждается значениями индексов  $J_1$  (1.0) и  $J_2$  (2.1), величиной вклада постоянных видов, характером соотношения групп разной фитоценотической активности и соответствием распределения видов между классами встречаемости закону Раункиера. Кроме того, установлено, что батиметрические изменения видового состава в этой части ПАК протекают без превышения «нормы» ( $C_v = 28-44\%$ ). Неоднородность видового состава на западном участке сопровождается более интенсивной изменчивостью по глубинам (тип «значительный»,  $C_v = 50-62\%$ ).

**Разногодичные изменения макрофитобентоса памятника природы.** Установлено, что в смежные годы максимум видового разнообразия МФБ, Ch и Rh зарегистрирован в 2009 г., у Och – в 2007 г. (табл. 6). Среднее число видов Rh вдвое выше, чем у других отделов. Они лидируют в любой из периодов наблюдений, тогда как Och и Ch попеременно сменяют друг друга на второй и третьей позициях.

Большую часть времени количественное соотношение Ch и Och, выраженное как 1:1, остается постоянным. По шкале Г.Н. Зайцева, вариации видового состава этих отделов в смежные годы находятся в пределах биологической «нормы», а повышенный уровень изменчивости общего числа видов в сообществе связан со «значительным» типом изменений показателя у такого базового отдела, как Rh. Матрица значений коэффициента Жаккара иллюстрирует высокую степень гетерогенности видового состава в

смежные годы, что особенно характерно Rh (рис. 6). Фитоценоз в этот период отличается большим вкладом средне- и малоактивных видов и вдвое-втрое низкой долей особо- и высокоактивных видов.

Таблица 6

**Разногодичная изменчивость видового состава отделов и фитоценоза в смежные и несмежные годы**  
**[Variability in species composition of divisions and phytocenosis in adjacent and non-adjacent years]**

Таксон/ценоз	Смежные годы					Параметры изменчивости			Несмежные годы			Параметры изменчивости		
	2002	2003	2005	2007	2009	$\bar{x} \pm \sigma$	$C_v$	тип	1977	2007	2021	$\bar{x} \pm \sigma$	$C_v$	тип
Ценоз	13*	10	20	16	31	18.0±7.1	45	зн**	15	16	29	20.0±8.8	39	зн
Chlorophyta	4	2	4	4	7	4.2±1.6	43	вн	2	4	6	4.0±2.3	50	зн
Ochrophyta	2	3	7	5	5	4.4±1.7	44	вн	6	5	8	6.3±1.7	24	нн
Rhodophyta	7	5	9	7	19	9.4±4.9	59	зн	7	7	15	9.7±5.2	48	зн

Примечание: \* количество видов, \*\* нн – нижняя норма, вн – верхняя норма, зн – значительный тип.

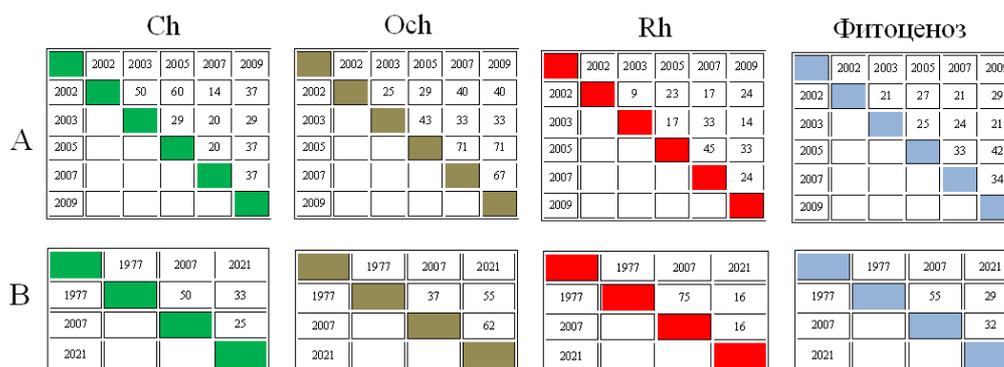


Рис. 6. Матрица значений коэффициента Жаккара (%) для фитоценоза и отделов в смежные (А) и несмежные (В) годы

[Matrix of Jaccard's coefficient values (%) for phytocenosis and divisions in adjacent (A) and non-adjacent (B) years]

Сравнительно большую устойчивость во времени сохраняет видовой комплекс Och, особенно в такие пары лет, как 2005 и 2007, 2007 и 2009, 2005 и 2009. Большинство видов Och проявляют высокую требовательность к условиям среды, с чем связана мера их приспособленности к определенной амплитуде этих условий. В соответствии с этим возникает набор видов, стойко сохраняющийся из года в год. Размах значений коэффициента Жаккара изменяется в следующем направлении: Ch = Och → Rh → фитоценоз.

В период с 2002 по 2009 гг. сообщество представлено постоянными, добавочными и случайными видами, вклад которых в общий состав примерно одинаковый. У Ch в почти равной мере господствуют постоянные и добавочные виды. Среди Och отсутствуют добавочные виды, лидирующие у Rh (см. рис. 3).

В несмежные годы, в начале и конце тридцатилетнего периода наблюдений (от 1977 до 2007 г.) число видов в сообществе, а также у Och и Rh находятся на одном уровне, тогда как у Ch наблюдается двукратное увеличение показателя. Большинство видов Ch успешно развивается в водной среде с повышенным содержанием органических веществ, и такое нарастание разнообразия представителей Ch является индикатором ухудшения экологической обстановки. За более чем сорокалетний период (с 1977 по 2021 г.) видовой разнообразие Ch возрастает втрое, Rh и ценоза – вдвое, Och – в 1.3 раза. В периоды, разделенные десятилетиями, малоактивные виды отсутствуют, а чуть более половины видов отличаются средней активностью. Вместе с тем общая доля групп видов, наиболее часто встречающихся в исследованные периоды, составляет 45%. Таким образом, соотношение групп с разной активностью в сообществе в смежные и несмежные годы не совпадает. Вдвое больший вклад средне- и высокоактивной групп, отсутствие малоактивных видов указывает на межгодовую динамичность видового состава в пределах одного десятилетия и более выраженную устойчивость его в периоды, разделенные несколькими декадами лет. В несмежные годы в сообществе отсутствуют добавочные виды, первую позицию занимают случайные, вторую – постоянные. Разнообразие группы видов с максимально высокой встречаемостью втрое больше, чем в смежные годы. Случайные виды преобладают среди Ch и Rh, постоянные – среди Och. Rh доминируют в любой отрезок времени, и среднее число их видов в 1.5 и 2.5 раза больше, чем у Och и Ch.

Среднее значение коэффициента Жаккара для разных десятилетий равно примерно 39%, что выше, чем у видового состава в рамках одной декады лет (рис. 6). Среди отделов Och проявляет наибольшую устойчивость во времени. В начале и конце 30-летнего периода фитоценоз характеризовался достаточно высоким сходством видового состава и, прежде всего, за счет Ch и Rh. В 2021 г., по сравнению с 1977 г.,

отличие ценоза и указанных отделов увеличивается, а у Och снижается в 1.5 раза. Такая тенденция сохраняется и при сопоставлении видового состава в последнюю декаду наблюдений.

Известно, что изменения состава и структуры фитоценозов связаны с колебаниями условий внешней среды в отдельные годы и периоды лет [Василевич, 1983]. Наши исследования показывают, что наиболее сильно флюктуации выражены в смежные годы, поскольку изменения условий среды обычно не происходят год за годом и в одном и том же направлении. Вместе с тем, возникшие изменения в структуре ценоза длятся недолго, и после прекращения действия вызвавшей их причины происходит возврат сообщества к исходному или к близкому к нему состоянию [Работнов, 1983]. Поэтому гетерогенность ценоза в разные периоды лет не так выражена, как в пределах одного десятилетия.

**Общая таксономическая характеристика макрофитобентоса акватории «ПАК у мыса Фиолент» летом 1977–2021 гг.** На основе собственных, литературных и архивных данных о видовом разнообразии за период с 1977 по 2021 гг. составлен общий список видов бентосных макроводорослей памятника природы (см. табл. 1). С учетом современных таксономических ревизий он включает 90 видов, представляющих 63 рода, 35 семейств, 24 порядка, 5 классов отделов Ch, Och и Rh. В составе МФБ памятника присутствуют 13 видов с природоохранным статусом. На долю Ch, Och и Rh приходится 22, 29 и 49% общего видового состава. Подавляющее большинство родов, семейств, а у Rh еще и порядков представлено одним видом (табл. 7).

Таблица 7

**Общая таксономическая характеристика макрофитобентоса «ПАК у мыса Фиолент» в летний период 1977–2021 гг.**

**[General taxonomic characteristics of macrophytobenthos at "NAC at Cape Fiolent" in the summer period 1977-2021]**

Отдел/ценоз	Число таксонов				Пропорция таксонов	Ведущие роды	Доля одновидовых р, с, п (%)
	п	с	р	в	п:с:р:в		
Chlorophyta	5	8	10	20	1:2:2:4	<i>Ulva, Ulvella, Cladophora</i>	50, 62, 60
Ochrophyta	6	9	22	26	1:15:4:4	<i>Feldmannia</i>	86, 44, 33
Rhodophyta	13	18	31	44	1:1:2:3	<i>Ceramium, Polysiphonia</i>	68, 61, 69
Ценоз	24	35	63	90	1:15:3:4	выше перечисленные	71, 57, 58

Примечание: в – вид, р – род, с – семейство, п – порядок.

Больше всего одновидовых родов среди Och, порядков – среди Rh, доля семейств такого же типа у Ch и Rh одинаково выше, чем у Och. Полученные данные свидетельствуют о пестроте таксономического состава МФБ охраняемого объекта. Подтверждением этому являются и результаты сравнения списков видов, полученных в разные периоды лет. Установлено, что только треть видов встречались часто, причем из них 15 видов (17%) входили во все списки, а 10 (11%) – в четыре из пяти имеющихся. По всем параметрам таксономического состава лидируют Rh, вторую позицию занимают Och. Таксономические пропорции Ch и Rh близки к совпадению, а их родовой коэффициент (в/р) выше, чем у Och. У фитоценоза и отделов, кроме Ch, количественное соотношение порядков и семейств почти одинаковое.

## Заключение

На основе собственных, литературных и архивных данных о видовом разнообразии за период с 1977 по 2021 гг. составлен общий аннотированный список видов макроводорослей гидрологического памятника природы. С учетом современных таксономических ревизий он включает 90 видов, представляющих 63 рода, 35 семейств, 24 порядка, 5 классов отделов Chlorophyta, Ochrophyta и Rhodophyta. В состав макрофитобентоса памятника природы входят 13 видов с охраняемым статусом.

Дана оценка современного состояния макрофитобентоса охраняемой акватории. Показано, что в состав фитоценоза на восточной и западной границах ПАК летом 2021 г. входили 52 вида (58% от их общего числа за весь период наблюдений). Основу таксономического разнообразия фитоценозов в настоящее время и ранее составляют одно- или двувидовые роды, флористические спектры сформированы ограниченным числом надвидовых таксонов. Пропорции в отделах и ценозе таксономически специфичны.

Результаты фитоиндикации позволяют считать флору памятника тепловодной, субтропической, а среду ее обитания близкой по качеству к мезотрофной.

Сравнение таксономического состава и спектров, видового соотношения отделов на восточной и западной границе ПАК не выявило принципиально значимых различий и свидетельствует о качественной однородности фитоценозов двух участков на современном этапе. Тем не менее, разнообразие ведущих таксонов и константного ядра флоры, хотя и в незначительной степени, выше в восточной части акватории ПАК.

Низкие значения коэффициента Жаккара указывают на батиметрическую обособленность флористического состава на каждом участке. Значения индексов гомотонности фитоценоза свидетельствуют о

том, что пространственная неоднородность видового состава на восточной границе памятника менее выражена, чем на западной, а распределение видов по классам встречаемости соответствует закону Раункиера. Закономерность изменения числа видов, в соответствии с которой с ростом глубины показатель снижается, наиболее выражена у сообщества в акватории пляжа «Яшмовый».

Определены степень и направленность разногодичной изменчивости состава ценоза. Показано, что его неоднородность в разные декады лет не столь выражена, как в пределах одного десятилетия.

### Список источников

1. Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983. 248 с.
2. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 359 с.
3. Грузинов В.М. и др. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
4. Даждо Р. Основы экологии. М.: Прогресс, 1975. 245 с.
5. Долотов В.В., Иванов В.А. Повышение рекреационного потенциала Украины: кадастровая оценка пляжей Крыма. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. 193 с.
6. Дьяков Н.Н. и др. Гидролого-гидрохимические характеристики прибрежных вод Крыма и необходимые мероприятия по снижению уровня загрязнения рекреационных зон // *Труды ГОИН*. 2020. № 221. С. 163–194.
7. Жукова А.А., Минец М.Л. Биометрия. Описательная статистика: учеб. пособие. Минск, 2019. 100 с.
8. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
9. Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. М.; Л.: Наука, 1967. 397 с.
10. Игнатов Е.И., Орлова М.С., Санин А.Ю. Береговые морфосистемы Крыма. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 267 с.
11. Калугина А.А. Исследование донной растительности Черного моря с применением легководолазной техники // *Морские подводные исследования*. М.: Наука, 1969. С. 105–113.
12. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев: Наук. думка, 1975. 248 с.
13. Красная книга города Севастополя. Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. Калининград; Севастополь: РОСТ-ДООАФК, 2018. 432 с.
14. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / под. ред. А.В. Ена, Д.А. Фатерыга. Симферополь: Ариал, 2015. 480 с.
15. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 885 с.
16. Мильчакова Н.А. Макрофитобентос // *Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор)*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. С. 152–208.
17. Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука, 1989. 223 с.
18. Особо охраняемые природные территории Севастополя. Симферополь: Ариал, 2020. 140 с.
19. Панкеева Т.В., Миронова Н.В. Ландшафтная структура береговой зоны памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч» // *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН*. 2022. Т. 7, № 1 (21). С. 51–60.
20. Позаченюк Е.А. и др. Состояние особо охраняемых природных территорий города федерального значения Севастополя // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2020. Т. 6 (16), вып. 2. С. 161–171.
21. Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1983. 384 с.
22. Савинов А.Б., Никитин Ю.Д. Развитие представлений об активности растений, ее экологической роли и способах оценки в экосистемах // *Принципы экологии*. 2017. № 3. С. 20–39.
23. Червона книга України. Рослинний світ. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 912 с.
24. Birben Ü. The effectiveness of Protected Areas in Biodiversity Conservation: The Case of Turkey. // *CERNE*. 2019. Vol. 25, № 4. P. 424–438.
25. Black Sea Red Data List. 1997. URL: <http://www.grid.unep.ch/bsein/redbook/index.htm>.
26. Black Sea Red Data Book / ed. H.J. Dumont. New York: United Nations Office for Project Services, 1999. 413 p.
27. Buonocore E. et al. Trends and Evolution in the Concept of Marine Ecosystem Services: An Overview // *Water*. 2021. 13(15). 2060 p. <https://doi.org/10.3390/w13152060>
28. Coad L. et al. Widespread shortfalls in protected area resourcing undermine efforts to conserve biodiversity // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2019. Vol. 17(5), iss. 5. P. 259–264. <https://doi.org/10.1002/fee.2042>
29. Cheney D.T. R + C/P anew and improved ratio for comparing seaweed floros // *Journal Phycology*. 1977. Vol. 13, № 2 (Suppl.). 12 p.

30. Feldmann J. Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La côte d'Albères // *Revue Algology*. 1937. Vol. 10. P. 1–339.
31. Fernández C.G. et al. Limited differences in fish and benthic communities and possible cascading effects inside and outside a protected marine area in Sagres (SW Portugal) // *Journal Marine Environmental Research*. 2016. Vol. 114. P. 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.003>
32. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. URL: <http://www.algaebase.org>. [дата обращения: 20.02 2023].
33. Luyypaert T. et al. Status of Marine Biodiversity in the Anthropocene // S. Jungblut, V. Liebich, M. Bode-Dalby (Eds.). *YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future: Proceedings of the 2018 conference for Young Marine Researcher in Oldenburg, Germany*, Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 57–82. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4>
34. Öztürk B. et al. Prospects for Marine Protected Areas in the Turkish Black Sea // *Management of Marine Protected Areas*. 2017. P. 247–262. DOI: 10.1002/9781119075806.ch13
35. Strong J.A. et al. Marine biodiversity and ecosystem function relationships: The potential for practical monitoring applications // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015. Vol. 161. P. 46–64.

## References

1. Vasilevich V.I. *Očerki teoretičeskoj fitocenologii* [Essays on Theoretical Phytocenology]. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 248 p. (In Russ.).
2. Greig-Smith P. *Količestvonnaja ekologija rastenij* [Quantitative Ecology of Plants]. Moscow, Mir Publ., 1967. 359 p. (In Russ.).
3. Gruzinov V.M., D'yakov N.N., Mezenceva I.V., Mal'chenko Yu.A., Zhohova N.V., Korshenko A.N. [Sources of pollution of coastal waters of Sevastopol district]. *Okeanologija*. V. 59, No 4 (2019): pp. 579-590. [doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590](https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590). (In Russ.).
4. Dajoz R. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow, Progress Publ., 1975. 245 p. (In Russ.).
5. Dolotov V.V., Ivanov V.A. *Povyšenie rekreacionnogo potenciala Ukraïny: kadastruvaja ocenka pljažej Kryma* [Increase of Ukraine recreational potential: cadastral evaluation of Crimea beaches]. Sevastopol, Ekosigidrofizika Publ., 2007. 193 p. (in Russ.).
6. D'yakov N.N., Malchenko Y.A., Lipchenko A.E., Bobrova S.A., Timoshenko T.Y. [Hydrological and hydrochemical characteristics of the coastal waters of the Crimea and the necessary measures to reduce the level of pollution of recreational areas]. *Trudy GOIN*. No. 221 (2020): pp. 163-194. (In Russ.).
7. Zhukova A.A., Minec M.L. *Biometrija. Opisatel'naja statistika* [Biometrics. Descriptive statistics: a training manual]. Minsk, BGU Publ., 2019. 100 p. (In Russ.).
8. Zaitsev G.N. *Matematika v èksperimental'noj botanike* [Mathematics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 296 p. (In Russ.).
9. Zinova A.D. *Opređitel' zelenych, burych i krasnych vodoroslej južnych morej SSSR* [Guide for identification of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1967. 397 p. (In Russ.).
10. Ignatov E.I., Orlova M.S., Sanin A.Yu. *Beregovye morfosistemy Kryma* [Coastal morphosystems of the Crimea]. Sevastopol, Ekosigidrofizika Publ., 2014. 267 p. (In Russ.).
11. Kalugina A.A. [Study on bottom vegetation of the Black Sea by means of light diving equipment]. *Morskije podvodnye issledovanija* [Marine Underwater Research]. Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 105-113. (In Russ.).
12. Kalugina-Gutnik A.A. *Fitobentos Černogo morja* [Phytobenthos of the Black Sea]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1975. 248 p. (In Russ.).
13. *Krasnaja kniga goroda Sevastopolja* [The Red Book of the city of Sevastopol]. Kaliningrad, Sevastopol, ROST-DOAFK Publ., 2018. 432 p. (In Russ.).
14. Ena A.V., Fateryga D.A., eds. *Krasnaja kniga Respubliki Krym. Rastenija, vodorosli i griby* [The Red Data Book of the Republic of Crimea. Plants, algae and mushrooms]. Simferopol, ARIAL Publ., 2015. 480 p. (In Russ.).
15. Trutnev Yu.P., Kamelin R.V. et al., eds. *Krasnaja kniga Rossijskoj Federacii (rastenija i griby)* [The Red Data Book of the Russian Federation (plants and mushrooms)]. Moscow, KMK Publ., 2008. 885 p. (In Russ.).
16. Milchakova N.A. [Macrophytobenthos]. *Sovremennoe sostojanie bioraznoobrazija pribrežnyh vod Kryma* [Modern condition of biological diversity in near-shore zone of Crimea (the Black sea sector)]. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2003, pp. 152-208. (In Russ.).
17. Mirkin B.M., Rozenberg G.S., Naumova L.G. *Slovar' ponjatij i terminov sovremennoj fitocenologii* [Slovar' ponyatij i terminov sovremennoj fitocenologii]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 223 p. (In Russ.).
18. Golubeva E.I. et al., ed. *Osobo ochranjaemye prirodnye territorii Sevastopolja* [Specially Protected Natural Areas of Sevastopol]. Simferopol, ARIAL Publ., 2020. 140 p. (In Russ.).
19. Pankeeva T.V., Mironova N.V. [Landscape structure of the coastal zone of the natural monument "Coastal aquatic complex at Cape Sarych"]. *Trudy Karadagskoj naučnoj stancii im. T.I. Vjazemskogo – prirodnogo zapovednika RAN*. V. 7, No 1(21) (2022): pp. 51-60. (In Russ.).

20. Pozachenyuk E.A., Pankeyeva T.V., Pankeyeva A.Y., Pizova E.V. [The state of specially protected natural territories of the federal city of Sevastopol]. *Geopolitika i èkogeodinamika regionov*. V. 6(16), No 2 (2020): pp. 161-171. (In Russ.).
21. Rabotnov T.A. *Fitocenologija* [Phytocenology]. Moscow, MGU Publ., 1983. 384 p. (In Russ.).
22. Savinov A.B., Nikitin Yu.D. [Development of ideas about plant activity, its ecological role and methods of assessment in ecosystems]. *Principy èkologii*. No 3 (2017): pp. 20-39. (In Russ.).
23. Didukh Ya.P., ed. *Červona kniga Ukraïni. Roslinnij svit* [The Red Book of Ukraine. Flora]. Kyiv, Globalconsulting Publ., 2009. 912 p. (In Ukr.).
24. Birben Ü. The effectiveness of Protected Areas in Biodiversity Conservation: The Case of Turkey. *CERNE*. V. 25, No 4 (2019): pp. 424-438.
25. The Black Sea Red Data List. 1997. Available at: <http://www.grid.unep.ch/bsein/redbook/index.htm>.
26. Dumont H.J., ed. *The Black Sea Red Data Book*. New York, United Nations Office for Project Services, 1999. 413 p.
27. Buonocore E., Grande U., Franzese P.P., Russo G.F. Trends and Evolution in the Concept of Marine Ecosystem Services: An Overview. *Water*. 13(15) (2021): 2060 p. <https://doi.org/10.3390/w1315206>
28. Coad L., Watson J.E., Geldmann J., Burgess N.D., Leverington F., Hockings M., Knights K., Marco M. Widespread shortfalls in protected area resourcing undermine efforts to conserve biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*. V. 17(5), Iss. 5 (2019): pp. 259-264. <https://doi.org/10.1002/fee.2042>
29. Cheney D.T. R + C/P anew and improved ratio for comparing seaweed floros. *Journal Phycology*. V. 13, No 2 (Suppl.) (1977): 12 p.
30. Feldmann J. Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La côte d'Albères. *Revue Algology*. V. 10 (1937): pp. 1-339.
31. Fernández C.G., Paulo D., Serrão E.A., Engelen A.H. Limited differences in fish and benthic communities and possible cascading effects inside and outside a protected marine area in Sagres (SW Portugal). *Journal Marine Environmental Research*. V. 114 (2016): pp. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.003>
32. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Available at: <http://www.algaebase.org>. (accessed 20.02 2023).
33. Luypaert T., McCarthy M. L., Hagan J., Poti M. Status of Marine Biodiversity in the Anthropocene. In book: S. Jungblut, V. Liebich, M. Bode-Dalby (Eds.) *YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future: Proceedings of the 2018 conference for Young Marine Researcher in Oldenburg, Germany, 2020*. pp. 57-82. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4>
34. Öztürk B., Fach B., Keskin C., Arkin S., Topaloğlu B., Öztürk A. Prospects for Marine Protected Areas in the Turkish Black Sea. In book: *Management of Marine Protected Areas*. 2017, pp. 247-262. DOI: 10.1002/9781119075806.ch13
35. Strong J.A., Andonegi E., Bizsel K.C., Danovaro R., Elliott M., Franco A., Garces E., Little S., Mazik K., Moncheva S., Papadopoulou N.K., Patrício J., Queirós A.M., Smith C.J., Stefanova K., Solaun O. Marine biodiversity and ecosystem function relationships: The potential for practical monitoring applications. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. V. 161 (2015): pp. 46-64.

Статья поступила в редакцию 16.02.2023; одобрена после рецензирования 09.03.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 16.02.2023; approved after reviewing 09.03.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

И. К. Евстигнеева – канд. биол. наук, ст. научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов;

И. Н. Танковская – младший научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов.

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

I. K. Evstigneeva – Ph.D. in Biology, senior researcher at the Dept. of Biotechnology and phytoresources;

I. N. Tankovskaya – Junior Researcher at the Dept. of Biotechnology and phytoresources.

## ИММУНОЛОГИЯ

Обзорная статья

УДК 612.018:612.112.94

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-195-204

### Механизмы взаимодействия мелатонина с лимфоцитами

Елена Михайловна Куклина<sup>1</sup>, Наталья Сергеевна Глебездина<sup>2</sup>✉

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

<sup>1</sup> [ibis\\_07@mail.ru](mailto:ibis_07@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2173-2724>

<sup>2</sup>✉ [glebezдина\\_n@mail.ru](mailto:glebezдина_n@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9891-0509>

**Аннотация.** Мелатонин представляет собой индоламин, синтезируемый из незаменимой аминокислоты триптофана. На системном уровне он производится преимущественно эпифизом, а на локальном – большинством органов и тканей. Гормон регулирует широкий спектр биологических реакций в норме и при патологии и обладает выраженной антиоксидантной, противовоспалительной и противоопухолевой активностью. Также он является эффективным регулятором иммунной системы, однако имеющиеся на сегодняшний день данные по проблеме крайне противоречивы, особенно это касается основных эффекторов адаптивного иммунитета – Т-лимфоцитов. С одной стороны, в физиологических условиях или при иммунодефицитных состояниях эффекты мелатонина, как правило, стимулирующие: он усиливает пролиферативный ответ Т- и В-лимфоцитов, повышает продукцию Th1-цитокинов и ингибирует апоптоз лимфоцитов, индуцируемый различными стимулами. С другой стороны, имеется не меньшее количество работ, демонстрирующих иммуносупрессивную активность мелатонина, в частности, подавление продукции провоспалительных цитокинов. Разрешение этих противоречий и является целью настоящего обзора. При этом в работе сделаны акценты на два принципиальных момента. Во-первых, основная часть иммуностимулирующих эффектов получена в экспериментах *in vitro*, тогда как иммуносупрессивных – *in vivo*, а поскольку мелатонин контролирует синтез целого ряда других гормонов гипоталамо-гипофизарно-адренальной и/или гонадальной осей, многие из которых сами являются эффективными иммуномодуляторами, его непосредственные эффекты *in vivo* могут опосредоваться и нивелироваться другими гормонами. Во-вторых, лимфоциты экспрессируют три высокоаффинных рецептора для мелатонина – два мембранных, MT1 и MT2, и ядерный, ROR $\alpha$ , а также целый ряд низкоспецифичных мишеней, и все с разной аффинностью к мелатонину. Связывание разных рецепторов запускает, по-видимому, различные сигнальные механизмы. Соответственно, физиологические, патологические и фармакологические концентрации мелатонина могут иметь разные иммуномодулирующие эффекты, и при оценке действия мелатонина на иммунную систему важно соотносить концентрации гормона с состоянием рецепторного аппарата исследуемых клеток.

**Ключевые слова:** лимфоциты, мелатонин, мелатониновые рецепторы, MT1/MT2, ROR $\alpha$

**Для цитирования:** Куклина Е. М., Глебездина Н. С. Механизмы взаимодействия мелатонина с лимфоцитами // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 195–204. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-195-204>.

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 22-25-20121.

## IMMUNOLOGY

Review article

### Mechanisms of interaction between melatonin with lymphocytes

Elena M. Kuklina<sup>1</sup>✉, Natalia S. Glebezдина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Perm Federal Research Center, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of the RAS, Perm, Russia

<sup>1</sup>✉ [ibis\\_07@mail.ru](mailto:ibis_07@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2173-2724>

<sup>2</sup> [glebezдина\\_n@mail.ru](mailto:glebezдина_n@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9891-0509>

**Abstract.** Melatonin is an indoleamine synthesized from the essential amino acid tryptophan. At the system level, it is produced mainly by the pineal gland, and at the local level, by most organs and tissues, including the gastrointestinal tract, liver, kidneys, lungs, skin, tissues of the reproductive system, and many others. The hormone regulates a wide range of biological reactions in health and diseases, and has a pronounced antioxidant,

anti-inflammatory and antitumor activity. Along with this, melatonin is an effective regulator of the immune system, however, the data available to date on the problem are extremely contradictory, especially for the main effectors of adaptive immunity - T-lymphocytes. On the one hand, under physiological conditions or under immunodeficiency conditions, the effects of melatonin are usually stimulatory: it enhances the proliferative response of T- and B-lymphocytes, increases the production of Th1-cytokines, and inhibits apoptosis of lymphocytes induced by various stimuli. On the other hand, there are no fewer works demonstrating the immunosuppressive activity of melatonin, in particular, suppression of the production of pro-inflammatory cytokines. The resolution of these contradictions is the goal of this review. At the same time, the work focuses on two fundamental points. First, the main part of immunostimulating effects was obtained in experiments *in vitro*, while immunosuppressive effects were obtained *in vivo*, and since melatonin controls the synthesis of a number of other hormones of the hypothalamic-pituitary-adrenal and / or gonadal axes, many of which are effective immunomodulators themselves, its direct effects *in vivo* can be mediated and offset by other hormones. Second, lymphocytes express three high-affinity melatonin receptors: two membrane receptors, MT1 and MT2, and a nuclear one, ROR $\alpha$ , as well as a number of low-specific targets, all with varying affinities for melatonin. Binding of different receptors apparently triggers different signaling mechanisms. Accordingly, physiological, pathological and pharmacological concentrations of melatonin can have different immunomodulating effects, and when evaluating the effect of melatonin on the immune system, it is important to correlate the hormone concentrations with the state of the receptor apparatus of the cells under study.

**Keywords:** lymphocytes, melatonin, melatonin receptors, MT1/MT2, ROR $\alpha$

**For citation:** Kuklina E. M., Glebezdina N. S. [Mechanisms of interaction of melatonin with lymphocytes]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 195-204. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-195-204>.

**Acknowledgments:** the study was financially supported by the Russian Science Foundation and the Perm Territory as part of a research project № 22-25-20121.

## Введение

Мелатонин (N-ацетил-5-метокситриптами́н) – гормон, который секретируется преимущественно эпифизом и является одним из самых многофункциональных регуляторов в организме: он контролирует ритмы сна и бодрствования, репродукцию и костный метаболизм, а также нервную, сердечно-сосудистую, пищеварительную и эндокринную системы [Mahmood, 2019; Ferlazzo et al., 2020]. Кроме того, мелатонин обладает антиоксидантными, противовоспалительными, противоопухолевыми свойствами [Cutando et al., 2012; Tan et al., 2015; Favero et al., 2017] и является потенциальным терапевтическим средством при лечении сердечно-сосудистых заболеваний, нейродегенеративных расстройств и нарушений метаболизма [Srinivasan, Cardinali, Srinivasan, 2011; Cardinali et al., 2011; Sun, Gusdon, Qu, 2012; Lin et al., 2013; Xu et al., 2019; Spinedi, Cardinali, 2019; Shen et al., 2022].

Наряду с этим, гормон участвует в работе иммунной системы: иммунокомпетентные клетки экспрессируют специфические рецепторы для мелатонина, а также его неспецифические мишени, и эффективно регулируются гормоном, что подтверждено многочисленными работами [Drazen et al., 2000; Guerrero, Reiter, 2002; Pozo et al., 2004; Ragonda, Diederich, Ghibelli, 2010]. Но если в отношении мелатонин-зависимой регуляции клеток неспецифического иммунитета большинство исследователей единодушны [Calvo, Gonzalez-Yanes, Maldonado, 2013; NaveenKumar et al., 2020], то данные по влиянию гормона на эффекторы адаптивного иммунитета, в частности, на Т-лимфоциты, крайне противоречивы [Raghavendra et al., 2001; Arias et al., 2003; Carrillo-Vico et al., 2013; Gupta, Haldar, 2013; Alvarez-Sanchez et al., 2015]. И разрешить эти противоречия можно, очевидно, только с учетом наличия и уровня экспрессии мишеней для мелатонина в исследуемых клетках – именно такой анализ является предметом настоящего обзора.

## Мелатонин-зависимая регуляция лимфоцитов

Роль мелатонина в регуляции иммунной системы и, в частности, основных эффекторов адаптивного иммунитета, лимфоцитов, известна давно. Тем не менее, имеющиеся на сегодняшний день данные по проблеме вызывают больше вопросов, чем ответов. С одной стороны, показано стимулирующее действие гормона как на ранние этапы активации лимфоцитов, так и на их функциональную дифференцировку. Так, мелатонин усиливает продукцию IL-2, экспрессию рецептора для IL-2 (IL-2-зависимый сигнал необходим для индукции пролиферации) [Garcia-Maurino et al., 1997; Carrillo-Vico, Lardone, Naji, 2005; Gupta, Haldar, 2013] и пролиферативный ответ Т- и В-лимфоцитов [Drazen et al., 2000; Raghavendra et al., 2001; Arias et al., 2003; Gupta, Haldar, 2013]. Более того, в экспериментах *in vitro* показана собственная продукция мелатонина Т-лимфоцитами в ответ на поликлональную активацию, причем в количествах, превышающих его верхний физиологический уровень, и участие такого эндогенного мелатонина в качестве аутокринного или паракринного фактора в индукции синтеза Т-клетками IL-2 и IL-2-рецептора

[Carrillo-Vico et al., 2004, 2005; Lardone et al., 2006, 2010; Naranjo et al., 2007] – это позволяет рассматривать гормон в качестве облигатного эндогенного костимулятора Т-лимфоцитов. В подтверждение этих данных выявлено гормон-зависимое повышение экспрессии активационного маркера лимфоцитов CD69 [Garcia-Maurino et al., 1997], костимулирующей мембранной молекулы CD28 и маркера Т-клеточной активации p21 наивными CD4<sup>+</sup>Т-лимфоцитами [Yoo et al., 2016], а также маркеров пролиферации Ki67 и Bcl2 антиген-специфичными Т-лимфоцитами [Yoo et al., 2016]. Одновременно показано стимулирующее действие мелатонина и на функциональную дифференцировку Т-хелперов (Th): он повышал продукцию ключевого Th1-цитокина IFN $\gamma$  [Garcia-Maurino et al., 1997, 1999], а мы в недавней работе выявили гормон-зависимую стимуляцию дифференцировки Т-хелперов, продуцирующих IL-17 (Th17) [Куклина, Глебездина, Некрасова, 2015]. Наряду с этим, продемонстрирована способность мелатонина ингибировать апоптоз лимфоцитов, индуцируемый различными стимулами [Espino et al., 2011; Espino, Rodriguez, Pariente, 2013], что также вносит вклад в активацию клеток. Эти эффекты подкрепляются и данными *in vivo*: у грызунов *Funambulus pennantii* экзогенный гормон повышал Т-зависимый иммунный ответ, усиливая реакцию гиперчувствительности замедленного типа, и вызывал бласттрансформацию спленоцитов [Gupta, Haldar, 2013], а в исследовании на цыплятах-бройлерах пролиферация тимических Т-лимфоцитов позитивно коррелировала с концентрацией мелатонина в плазме, тогда как пинеалэктомия, сопровождавшаяся снижением уровня гормона в циркуляции, снижала Т-клеточную пролиферацию, как и блокада мелатонинового рецептора MT1 [Chen et al., 2016].

С другой стороны, имеется не меньшее количество работ, демонстрирующих иммуносупрессивную активность мелатонина. В частности, мелатонин снижает продукцию IFN $\gamma$  CD4<sup>+</sup>Т-лимфоцитами в ответ на поликлональную активацию *ex vivo*, но повышает уровень IL-4 и IL-10, сдвигая цитокиновый профиль в направлении Th2-типа [Raghavendra et al., 2001], а в работе Alvarez-Sanchez с коллегами стимуляция мононуклеарных клеток лимфоузлов аутоантигеном рМОГ на фоне гормона приводила к снижению числа TNF-позитивных CD4<sup>+</sup>Т-лимфоцитов, не влияя на уровень IL-17<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup> и IFN $\gamma$ <sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>Т-лимфоцитов [Alvarez-Sanchez et al., 2015]. В то же время, Farez с соавторами продемонстрировали способность мелатонина ингибировать дифференцировку наивных CD4<sup>+</sup>Т-клеток в Th17 *in vitro* в Th17-поляризующих условиях, не оказывая влияния на развитие Th1, Th2 и классических Treg [Farez et al., 2015]. В экспериментах *in vivo* введение экзогенного мелатонина мышам сопровождалось снижением уровня IFN $\gamma$  и одновременным повышением IL-4 в сыворотке [Shaji, Kulkarni, Agrewala, 1998], а также снижением продукции IFN $\gamma$  и TNF CD4<sup>+</sup>Т-лимфоцитами *ex vivo* [Alvarez-Sanchez et al., 2015]. А у мышей, стимулированных аутоантигеном MOG, экзогенный мелатонин снижал численность IFN $\gamma$ <sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>, TNF<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup> и IL-17<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>Т-лимфоцитов в ЦНС [Alvarez-Sanchez et al., 2015], а также IL-17<sup>+</sup>IFN $\gamma$ <sup>+</sup>CD4<sup>+</sup> и IL-17<sup>+</sup>GM-CSF<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>Т-лимфоцитов в селезенке, лимфоузлах и в ЦНС [Farez et al., 2015].

При анализе приведенных выше данных обращает на себя внимание, что непосредственные эффекты гормона в отношении лимфоцитов, как правило, стимулирующие [Drazen et al., 2000; Arias et al., 2003; Espino, Rodriguez, Pariente, 2013], тогда как основная часть иммуносупрессивных эффектов получена в экспериментах *in vivo*. И в этой связи важно учитывать, что мелатонин контролирует синтез целого ряда других гормонов гипоталамо-гипофизарно-адренальной и/или гонадальной осей, многие из которых сами являются эффективными иммуномодуляторами [Gupta, Haldar, 2013], поэтому действие мелатонина *in vivo* могут опосредоваться и нивелироваться другими гормонами, в частности, такими мощными иммуносупрессорами, как глюкокортикоиды или половые стероидные гормоны. Однако различия в методических подходах не позволяют полностью разрешить противоречия в эффектах мелатонина в отношении лимфоцитов – для этого необходимо разобраться с вопросом о специфических и неспецифических мишенях гормона в лимфоидных клетках.

### **Лимфоцитарные рецепторы для мелатонина и неспецифические внутриклеточные мишени**

У млекопитающих идентифицировано два типа высокоаффинных мембранных рецепторов для мелатонина, MT1 и MT2 [Reppert, Weaver, Ebisawa, 1994; Reppert et al., 1995; Dubocovich, Markowska, 2005]. В недавних работах были представлены структуры этих рецепторов, полученные рентгеновской кристаллографией и криоэлектронной микроскопией [Johansson et al., 2019; Okamoto et al., 2019; Stauch et al., 2019]. MT1 и MT2 являются типичными G белок-связывающими рецепторами, имеющими 55% идентичности [Dubocovich, Markowska, 2005]. Оба рецептора действуют в основном через ингибиторные G-белки, Gi, подавляя аденилатциклазу и, как следствие, вызывая снижение уровня сАМР и активности сАМР-зависимой протеинкиназы PKA в клетке [Comai, Gobbi, 2014; Emet et al., 2015], а для MT2 показано действие и через гуанилатциклазную систему [Dubocovich, Markowska, 2005; Comai, Gobbi, 2014]. MT1 и MT2 имеют разную аффинность к мелатонину – 80.7 и 383 pM, соответственно [Kato et al., 2005]. Оба рецептора широко представлены в иммунной системе, в том числе на мембране лимфоцитов

[Pozo et al., 2004; Екмекчиоглу, 2006; Lardone et al., 2011; Espino, Rodriguez, Pariente, 2013; Kuklina, 2014; Куклина, Глебездина, Некрасова, 2015; Глебездина и др., 2019а, б].

Наряду с мембранными рецепторами, идентифицирован высокоаффинный ядерный рецептор для мелатонина – это транскрипционный фактор, принадлежащий семейству ассоциированных с ретиноевой кислотой орфанных рецепторов (retinoic acid-related orphan receptor, ROR), ROR $\alpha$  [Wiesenberg et al., 1995; Lardone et al., 2011], хотя в настоящее время непосредственное взаимодействие гормона с ROR $\alpha$  оспаривается [Slominski et al., 2014]. Так, в 1995 г. I. Wiesenberg с коллегами идентифицировали ROR $\alpha$  как ядерный рецептор для мелатонина [Wiesenberg et al., 1995], определив с помощью классического скэтчардовского анализа константу диссоциации для взаимодействия ROR $\alpha$  с мелатонином ( $K_d = 1.71$  нМ). В 2011 г. P.J. Lardone с коллегами «переоткрыли» ROR $\alpha$  как рецептор для мелатонина [Lardone et al., 2011], показав на Т-лимфоцитарной линии Jurkat, что мелатонин копреципитируется (иммуноблоттинг) и колокализуется с ROR $\alpha$  (иммунофлуоресцентный анализ), а также в наномолярных концентрациях вызывает перераспределение ROR $\alpha$  внутри клетки, регистрируемое с помощью лазерной сканирующей конфокальной микроскопии [Lardone et al., 2011], что, хотя и косвенно, но убедительно указывает на взаимодействие гормона с ROR $\alpha$ . Однако в 2014 г. А.А. Slominski с коллегами не выявили специфического связывания мелатонина с ROR $\alpha$  в ходе кристаллографического исследования лиганд-связывающего домена ROR $\alpha$ , а также функционального анализа способности мелатонина напрямую регулировать ROR $\alpha$  [Slominski et al., 2014]. Следует отметить, что, несмотря на высокий методический уровень, работа имеет как минимум два слабых момента: во-первых, авторы никак не объясняют и не упоминают работы своих предшественников, оценивших конкретные параметры лиганд-рецепторного взаимодействия; во-вторых, представленные в статье результаты функциональных тестов явно неубедительны – мелатонин использован в работе в микромолярных концентрациях, в которых он неспецифически взаимодействует с другими внутриклеточными мишенями, которые будут рассмотрены ниже, и эффекты мелатонина, опосредуемые этими мишенями, вероятнее всего, просто перекрывают ROR $\alpha$ -зависимое действие гормона. Так или иначе, вопрос о том, является ли ROR $\alpha$  специфическим рецептором для мелатонина, до сих пор остается открытым [Ma et al., 2021]. Однако независимо от того, регулирует ли мелатонин ROR $\alpha$  напрямую или такая регуляция опосредуется другими факторами (например, сигналами от мембранных рецепторов MT1/MT2), участие ROR $\alpha$  в реализации эффектов мелатонина подтверждено многочисленными исследованиями [Lardone et al., 2011; Куклина, Глебездина, Некрасова, 2015; Garcia et al., 2015; Farez et al., 2016; Глебездина и др., 2019а, б; Ding et al., 2019; Huang et al., 2020; Li et al., 2020; Zang et al., 2020]. Важно отметить, что ROR $\alpha$  имеет непосредственное отношение к иммунорегуляции – он выявляется как в миелоидных [Pozo et al., 2004], так и в лимфоидных [Lardone et al., 2011; Куклина, Глебездина, Некрасова, 2015; Глебездина и др., 2019а, б] клетках и служит одним из двух ключевых транскрипционных факторов, ответственных за дифференцировку и функционирование Т-хелперов, продуцирующих IL-17 (Th17), наряду с ROR $\gamma$ t [Yang et al., 2008; Kojima, Muromoto, Takahashi, 2012]. Активация ROR $\alpha$  промотирует дифференцировку Th17 и значительно усиливает продукцию IL-17A и IL-17F, тогда как дефицит этого фактора сопровождается снижением экспрессии IL-17 *in vitro* и *in vivo* [Yang et al., 2008; Kojima, Muromoto, Takahashi, 2012]. Кроме того, ROR $\alpha$  является негативным регулятором активации Treg [Du et al. 2008].

Помимо прочего, в микромолярных концентрациях мелатонин может взаимодействовать с другими внутриклеточными мишенями, такими как кальмодулин, глутатион трансфераза [Leon et al., 2000; Radogna, Diederich, Ghibelli, 2010] или хинон-редуктаза 2, идентифицированная как еще один, цитоплазматический рецептор для мелатонина, MT3 [Calamini et al., 2008]. А поскольку указанные факторы являются облигатными для организма, большинство клеток служат потенциальными мишенями для мелатонина, хотя низкая аффинность этих факторов делает возможным такое взаимодействие только при концентрациях мелатонина, значительно превышающих физиологические.

В целом, что касается лимфоцитов, эти клетки экспрессируют как минимум два высокоаффинных рецептора для мелатонина – мембранные MT1 и MT2 [Reppert, Weaver, Ebisawa, 1994; Reppert et al., 1995], а для Т-хелперной популяции Th17 и для части регуляторных Т-лимфоцитов (regulatory T cells, Treg) к мембранным рецепторам добавляется ядерный, ROR $\alpha$  [Wiesenberg et al., 1995; Lardone et al., 2011]. И все специфические рецепторы имеют разную аффинность к мелатонину: между мембранными рецепторами разница в 5 раз [Kato et al., 2005], что соответствует физиологическим колебаниям уровня гормона в течение суток, а аффинность ядерного на два порядка ниже, чем мембранных. Кроме того, в микромолярных концентрациях мелатонин способен связываться с другими внутриклеточными мишенями, такими как хинон-редуктаза 2, идентифицированная как еще один, цитоплазматический рецептор для мелатонина, MT3 [Calamini et al., 2008], или кальмодулин [Leon et al., 2000; Radogna, Diederich, Ghibelli, 2010], также присутствующие в лимфоцитах и участвующие в антиген-зависимой активации клеток. Связывание разных рецепторов запускает, по-видимому, различные сигнальные механизмы, приводящие к разным последствиям. Как следствие, физиологические, патологические и фармакологические концентрации мелатонина могут иметь совершенно разные иммуномодулирующие эффекты, и противоречия в

данных по действию мелатонина на иммунную систему могут быть связаны, в том числе, и с этим фактом.

## Заключение

Наличие у лимфоцитов большого количества мишеней для мелатонина с разной аффинностью к гормону свидетельствует о том, что ключевым моментом, определяющим направленность эффектов гормона в отношении этих клеток, является его концентрация. При этом важно учитывать и собственную продукцию мелатонина лимфоцитами, возрастающую при активации и превышающую его физиологические уровни в экспериментах *in vitro* [Carrillo-Vico et al., 2004; Carrillo-Vico, Lardone, Naji, 2005; Lardone et al., 2006, 2010; Naranjo et al., 2007], поскольку мелатонин, синтезируемый лимфоцитами, может маскировать эффекты как эндогенного гормона, секретируемого эпифизом, так и экзогенного. Не случайно стимулирующий эффект гормона в отношении продукции Т-лимфоцитами IL-2 и IFN $\gamma$  *in vitro* выявлялся только для неактивированных клеток или в случае слабой активации, и для физиологических концентраций мелатонина [García-Maurino et al., 1997]. И анализ других данных подтверждает это предположение: стимулирующие эффекты гормона выявляются в основном в физиологических условиях или при иммунодефицитных состояниях [García-Maurino et al., 1997; Drazen et al., 2000; Arias et al., 2003], тогда как иммуносупрессивная активность мелатонина часто демонстрируется в условиях избыточной активации иммунной системы [Carrillo-Vico et al., 2005; Wu et al., 2012]. С этих позиций не выглядят неразрешимыми противоречия в данных о гормон-зависимой регуляции дифференцировки клеток Th17: мы показали стимулирующее действие для физиологических и низких фармакологических концентраций мелатонина [Куклина, Глебездина, Некрасова, 2015; Глебездина и др., 2019b], укладывающихся в диапазон аффинности его специфических рецепторов, в то время как в работе M.F. Farez с соавторами, продемонстрировавшей ингибиторные эффекты мелатонина, гормон использован *in vitro* в концентрации 500 нг/мл, которая несопоставима ни с физиологическими, ни с фармакологическими уровнями гормона. А в микромолярных концентрациях эффекты мелатонина реализуются преимущественно через неспецифические (низкоаффинные) мишени, такие как хинон редуктаза 2 или кальмодулин, – к слову, в ряде исследований мелатонин в таких дозах эффективно подавляет пролиферацию опухолевых клеток и индуцирует их апоптоз [Sanchez-Barcelo et al., 2005; Pariente et al., 2017], то есть демонстрирует эффекты, противоположные многократно подтвержденным эффектам для физиологических концентраций гормона. Важно также отметить, что при обсуждении ROR $\alpha$ -зависимого действия мелатонина нужно учитывать ограниченную экспрессию ROR $\alpha$  в лимфоцитах – он является облигатной молекулой в клетках Th17, для которых служит дифференцировочным фактором, а также в части регуляторных Т-клеток, но не представлен в остальных Т-хелперных популяциях, таких как Th1 или Th2, и не может опосредовать гормональные эффекты в этих клетках.

В целом, обсуждая и прогнозируя эффекты мелатонина в Т-лимфоцитах, следует учитывать два основных момента: во-первых, наличие у этих клеток трех типов специфических рецепторов и множества неспецифических мишеней для гормона, с разной аффинностью и разными сигнальными механизмами, что определяет прямую зависимость эффектов гормона от его концентрации, а также от наличия и уровня экспрессии соответствующих мишеней; во-вторых, участие мелатонина *in vivo* в синтезе целого ряда других гормонов, многие из которых являются эффективными иммунорегуляторами и могут как усиливать, так и нивелировать эффекты самого мелатонина.

## Список источников

1. Глебездина Н.С. и др. Молекулярные механизмы контроля дифференцировки регуляторных Т-лимфоцитов экзогенным мелатонином // Доклады Академии наук. 2019а. Т. 484, № 2. С. 224–227.
2. Глебездина Н.С. и др. Вклад разных типов мелатониновых рецепторов в гормон-зависимую регуляцию дифференцировки Т-лимфоцитов, продуцирующих IL-17 (Th17) // Российский иммунологический журнал. 2019б. Т. 13, № 2. С. 751–753.
3. Куклина Е.М., Глебездина Н.С., Некрасова И.В. Роль мелатонина в контроле дифференцировки Т-лимфоцитов, продуцирующих интерлейкин-17 (Th17) // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2015. Т. 160, № 11. С. 604–607.
4. Alvarez-Sanchez N. et al. Melatonin controls experimental autoimmune encephalomyelitis by altering the T effector/regulatory balance // Brain Behav Immun. 2015. Vol. 50. P. 101–114.
5. Arias J. et al. Effect of melatonin on lymphocyte proliferation and production of interleukin-2 (IL-2) and interleukin-1 beta (IL-1 beta) in mice splenocytes // Invest. Clin. 2003. Vol. 44, № 1. P. 41–50.
6. Calamini B. et al. Kinetic, thermodynamic and X-ray structural insights into the interaction of melatonin and analogues with quinone reductase 2 // Biochem. J. 2008. Vol. 413(1). P. 81–91.
7. Calvo J.R., Gonzalez-Yanes C., Maldonado M. D. The role of melatonin in the cells of the innate immunity: a review // J. Pineal. Res. 2013. Vol. 55, № 2. P. 103–120.

8. Cardinali D.P et al. Melatonin and the metabolic syndrome: physiopathologic and therapeutical implications // *Neuroendocrinology*. 2011. Vol. 93, № 3. P. 133–142.
9. Carrillo-Vico A. et al. Evidence of mle synthesis by human lymphocytes and its physiological significance: possible role as intracrine, autocrine and/or paracrine substance // *FASEB J*. 2004. Vol. 18. P. 537–539.
10. Carrillo-Vico A., Lardone P.J., Naji L. Beneficial pleiotropic actions of melatonin in an experimental model of septic shock in mice: Regulation of pro-/ anti-inflammatory cytokine network, protection against oxidative damage and anti-apoptotic effects // *J. Pineal. Res.* 2005. Vol. 39. P. 400–408.
11. Carrillo-Vico A. et al. Melatonin: buffering the immune system // *Int. J. Mol. Sci.* 2013. Vol. 14, № 4. P. 8638–8683.
12. Chen F. et al. Effect of melatonin on monochromatic light-induced T-lymphocyte proliferation in the thymus of chickens // *J. Photochem. Photobiol B*. 2016. Vol. 161. P. 9–16.
13. Comai S., Gobbi G. Unveiling the role of melatonin MT2 receptors in sleep, anxiety and other neuropsychiatric diseases: a novel target in psychopharmacology // *J. Psychiatry Neurosci.* 2014. Vol. 39. P. 6–21.
14. Cutando A. et al. Role of melatonin in cancer treatment // *Anticancer Res.* 2012. Vol. 32, № 7. P. 2747–2753.
15. Ding S. et al. Melatonin stabilizes rupture-prone vulnerable plaques via regulating macrophage polarization in a nuclear circadian receptor ROR $\alpha$ -dependent manner // *J. Pineal. Res.* 2019. Vol. 67. P. e12581.
16. Drazen D.L. et al. *In vitro* melatonin treatment enhances splenocyte proliferation in prairie voles // *J. Pineal. Res.* 2000. Vol. 28, № 1. P. 34–40.
17. Du J. et al. Isoform-Specific Inhibition of ROR $\alpha$ -Mediated Transcriptional Activation by Human FOXP3 // *J. Immunol.* 2008. Vol. 180, № 7. P. 4785–4792.
18. Dubocovich M.L., Markowska M. Functional MT1 and MT2 melatonin receptors in mammals // *Endocrine*. 2005. Vol. 27. P. 101–110.
19. Ekmekcioglu C. Melatonin receptors in humans: biological role and clinical relevance // *Biomed. Pharmacother.* 2006. Vol. 60, № 3. P. 97–108.
20. Emet M. et al. A Review of Melatonin, Its Receptors and Drugs // *The Eurasian Journal of Medicine*. 2016. Vol. 48 (2). P. 135–141.
21. Espino J. et al. Protective effect of melatonin against human leukocyte apoptosis induced by intracellular calcium overload: relation with its antioxidant actions // *J. Pineal. Res.* 2011. Vol. 51, № 2. P. 195–206.
22. Espino J., Rodriguez A.B., Pariente J.A. The inhibition of TNF- $\alpha$ -induced leucocyte apoptosis by melatonin involves membrane receptor MT1/MT2 interaction // *J. Pineal. Res.* 2013. Vol. 54, № 4. P. 442–452.
23. Farez M.F. et al. Melatonin Contributes to the Seasonality of Multiple Sclerosis Relapses // *Cell*. 2015. Vol. 162. P. 1338–1352.
24. Farez M.F. et al. Anti-inflammatory effects of melatonin in multiple sclerosis // *Bioessays*. 2016. Vol. 38. P. 1016–1026.
25. Favero G. et al. Melatonin as an Anti-Inflammatory Agent Modulating Inflammasome Activation // *Int. J. Endocrinol.* 2017. Vol. 2017. P. 1835195.
26. Ferlazzo N. et al. Is Melatonin the Cornucopia of the 21st Century? // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9, № 11. P. 1088.
27. Garcia J.A. et al. Disruption of the NF- $\kappa$ B/NLRP3 connection by melatonin requires retinoid-related orphan receptor- $\alpha$  and blocks the septic response in mice // *FASEB J*. 2015. Vol. 29. P. 3863–3875.
28. Garcia-Maurino S. et al. Melatonin enhances IL-2, IL-6, and IFN $\gamma$  production by human circulating CD4<sup>+</sup> cells: a possible nuclear receptor-mediated mechanism involving T helper type 1 lymphocytes and monocytes // *J. Immunol.* 1997. Vol. 159. P. 574–581.
29. Garcia-Maurino S. Melatonin activates Th1 lymphocytes by increasing IL-12 production // *Life Sci.* 1999. Vol. 65 P. 2143–2150.
30. Guerrero J.M., Reiter R.J. Melatonin-immune system relationships // *Curr. Top. Med. Chem.* 2002. V. 2. P. 167–179.
31. Gupta S., Haldar C. Physiological crosstalk between melatonin and glucocorticoid receptor modulates t-cell mediated immune responses in a wild tropical rodent, funambulus pennant // *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.* 2013. Vol. 134. P. 23–36.
32. Huang H. et al. Melatonin prevents endothelial dysfunction in SLE by activating the nuclear receptor retinoic acid-related orphan receptor- $\alpha$  // *Int. Immunopharmacol.* 2020. Vol. 83. P. 106365.
33. Johansson L.C. et al. XFEL structures of the human MT2 melatonin receptor reveal the basis of subtype selectivity // *Nature*. 2019. Vol. 569 (7755). P. 289–292.
34. Kato K. et al. Neurochemical properties of ramelteon (TAK-375), a selective MT35. 1/MT2 receptor agonist // *Neuropharmacology*. 2005. Vol. 48. P. 301–310.
35. Kojima H., Muromoto R., Takahashi M. Inhibitory effects of azole-type fungicides on interleukin-17 gene expression via retinoic acid receptor-related orphan receptors  $\alpha$  and  $\gamma$  // *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2012. Vol. 259. P. 338–345.

36. Kuklina E.M. Melatonin as potential inducer of Th17 cell differentiation // *Medical Hypothesis*. 2014. Vol. 83. P. 404–406.
37. Lardone P.J. et al. Melatonin synthesized by Jurkat human leukemic T cell line is implicated in IL-2 production // *J. Cell. Physiol.* 2006. Vol. 206. P. 273–279.
38. Lardone P.J. et al. Blocking of melatonin synthesis and MT(1) receptor impairs the activation of Jurkat T cells // *Cell. Mol. Life. Sci.* 2010. Vol. 67. P. 3163–3172.
39. Lardone P.J. et al. Melatonin synthesized by T lymphocytes as a ligand of the retinoic acid-related orphan receptor // *J. Pineal Res.* 2011. Vol. 51. P. 454–462.
40. Leon J. et al. Structure-related inhibition of calmodulin-dependent neuronal nitric-oxide synthase activity by melatonin and synthetic kynurenes // *Mol. Pharmacol.* 2000. Vol. 58, № 5. P. 967–975.
41. Li Z. et al. Melatonin inhibits apoptosis in mouse Leydig cells via the retinoic acid-related orphan nuclear receptor  $\alpha$ /p53 pathway // *Life Sci.* 2020. Vol. 246. P. 117431.
42. Lin L. et al. Melatonin in Alzheimer's disease // *Int. J. Mol. Sci.* 2013. Vol. 14. P. 14575–14593.
43. Ma H. et al. ROR: Nuclear Receptor for Melatonin or Not? // *Molecules*. 2021. Vol. 26, № 9. P. 2693.
44. Mahmood D. Pleiotropic Effects of Melatonin // *Drug Res (Stuttg)*. 2019. Vol. 69, № 2. P. 65–74.
45. Naranjo M.C. et al. Melatonin biosynthesis in the thymus of humans and rats // *Cell. Mol. Life Sci.* 2007. Vol. 64, № 6. P. 781–790.
46. NaveenKumar S.K. et al. Melatonin restores neutrophil functions and prevents apoptosis amid dysfunctional glutathione redox system // *J. Pineal. Res.* 2020. Vol. 69, № 3. P. e12676.
47. Okamoto H.H. et al. Cryo-EM structure of the human MT1-Gi signaling complex // *Nat. Struct. Mol Biol.* 2021. Vol. 28 (8). P. 694–701.
48. Pariente R. et al. Participation of MT3 melatonin receptors in the synergistic effect of melatonin on cytotoxic and apoptotic actions evoked by chemotherapeutics // *Cancer Chemother Pharmacol.* 2017. Vol. 80, № 5. P. 985–998.
49. Pozo D. et al. mRNA expression of nuclear receptor RZR/ROR $\alpha$ , melatonin membrane receptor MT1, and hydroxindole-O-methyltransferase in different populations of human immune cells // *J. Pineal. Res.* 2004. Vol. 37. P. 48–54.
50. Raghavendra V. et al. Melatonin provides signal 3 to unprimed CD4(+) T cells but failed to stimulate LPS primed B cells // *Clin. Exp. Immunol.* 2001. Vol. 124. P. 414–422.
51. Ragonda F., Diederich M., Ghibelli L. Melatonin: a pleiotropic molecule regulating inflammation // *Biochem. Pharmacol.* 2010. Vol. 80. P. 1844–1852.
52. Reppert S.M. et al. Molecular characterization of a second melatonin receptor expressed in human retina and brain: the Mel1b melatonin receptor // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1995. Vol. 92, № 19. P. 8734–8738.
53. Reppert S.M., Weaver D.R., Ebisawa T. Cloning and characterization of a mammalian melatonin receptor that mediates reproductive and circadian responses // *Neuron*. 1994 Vol. 13, № 5. P. 1177–1185.
54. Sanchez-Barcelo E.J. et al. Melatonin-estrogen interactions in breast cancer // *J. Pineal. Res.* 2005. Vol. 38, № 4. P. 217–222.
55. Shaji A.V., Kulkarni S.K., Agrewala J.N. Regulation of secretion of IL-4 and IgG1 isotype by melatonin-stimulated ovalbumin-specific T cells // *Clin. Exp. Immunol.* 1998. Vol. 111. P. 181–185.
56. Shen S. et al. The role of melatonin in the treatment of type 2 diabetes mellitus and Alzheimer's disease // *Int. J. Biol. Sci.* 2022. Vol. 18, № 3. P. 983–994.
57. Slominski A.T. et al. ROR $\alpha$  and ROR $\gamma$  are expressed in human skin and serve as receptors for endogenously produced noncalcemic 20-hydroxy- and 20,23-dihydroxyvitamin D // *FASEB J.* 2014. Vol. 28. P. 2775–2789.
58. Spinedi E., Cardinali D.P. Neuroendocrine-Metabolic Dysfunction and Sleep Disturbances in Neurodegenerative Disorders: Focus on Alzheimer's Disease and Melatonin // *Neuroendocrinology*. 2019. Vol. 108, № 4. P. 354–364.
59. Srinivasan V., Cardinali D.P., Srinivasan U.S. Therapeutic potential of melatonin and its analogs in Parkinson's disease: focus on sleep and neuroprotection // *Ther. Adv. Neurol. Disord.* 2011. Vol. 4. P. 297–317.
60. Stauch B. et al. Structural basis of ligand recognition at the human MT1 melatonin receptor // *Nature*. 2019. Vol. 569, № 7755. P. 284–288.
61. Sun H., Gusdon A.M., Qu S. Effects of melatonin on cardiovascular diseases: progress in the past year // *Curr. Opin. Lipidol.* 2016. Vol. 27, № 4. P. 408–413.
62. Tan D.X. et al. Melatonin as a Potent and Inducible Endogenous Antioxidant: Synthesis and Metabolism // *Molecules*. 2015. Vol. 20, № 10. P. 18886–18906.
63. Wiesenberg I. et al. Transcriptional activation of the nuclear receptor RZR $\alpha$  by the pineal gland hormone melatonin and identification of CGP52608 as a synthetic ligand // *Nucleic. Acid. Res.* 1995. Vol. 23. P. 327–333.
64. Wu C.C. et al. Melatonin enhances endogenous heme oxygenase-1 and represses immune responses to ameliorate experimental murine membranous nephropathy // *J. Pineal. Res.* 2012. Vol. 52, № 4. P. 460–469.

65. Xu L. et al. Melatonin differentially regulates pathological and physiological cardiac hypertrophy: Crucial role of circadian nuclear receptor ROR $\alpha$  signaling // *J. Pineal. Res.* 2019. Vol. 67. P. e12579.
66. Yang X.O. et al. T helper 17 lineage differentiation is programmed by orphan nuclear receptors ROR $\alpha$  and ROR $\gamma$  // *Immunity.* 2008. Vol. 28. P. 29–39.
67. Yoo Y.M. et al. Pharmacological advantages of melatonin in immunosenescence by improving activity of T lymphocytes // *J. Biomed. Res.* 2016. Vol. 30. P. 314–321.
68. Zang M. et al. The circadian nuclear receptor ROR $\alpha$  negatively regulates cerebral ischemia–reperfusion injury and mediates the neuroprotective effects of melatonin. *BBA // Mol. Basis Dis.* 2020. Vol. 1866. P. 165890.

## References

1. Glebezdina N.S. et al. Molecular Mechanisms of Control of Differentiation of Regulatory T-Lymphocytes by Exogenous Melatonin. *Doklady Biochemistry and Biophysics.* V. 484 (1) (2019a): pp. 13-16.
2. Glebezdina N.S. et al. [Contribution of different types of melatonin receptors to hormone-dependent regulation of T lymphocytes producing IL-17 (Th17) differentiation]. *Rossijskij imunologičeskij žurnal.* V. 13(2) (2019b): pp. 751-753. (In Russ.).
3. Kuklina E.M., Glebezdina N.S., Nekrasova I.V. Role of Melatonin in the Regulation of Differentiation of T Cells Producing Interleukin-17 (Th17). *Bull. Exp. Bio. Med.* 160(5) (2016): pp. 656-658.
4. Alvarez-Sanchez N. et al. Melatonin controls experimental autoimmune encephalomyelitis by altering the T effector/regulatory balance. *Brain Behav Immun.* V. 50 (2015): pp. 101-114.
5. Arias J. et al. Effect of melatonin on lymphocyte proliferation and production of interleukin-2 (IL-2) and interleukin-1 beta (IL-1 beta) in mice splenocytes. *Invest. Clin.* V. 44(1) (2003): pp. 41-50.
6. Calamini B. et al. Kinetic, thermodynamic and X-ray structural insights into the interaction of melatonin and analogues with quinone reductase 2. *Biochem. J.* V. 413(1) (2008): pp. 81-91.
7. Calvo J.R., Gonzalez-Yanes C., Maldonado M. D. The role of melatonin in the cells of the innate immunity: a review. *J. Pineal. Res.* 2013. V. 55(2) (2013): pp. 103-120.
8. Cardinali D.P et al. Melatonin and the metabolic syndrome: physiopathologic and therapeutical implications. *Neuroendocrinology.* V. 93(3) (2011): pp. 133-142.
9. Carrillo-Vico A. et al. Evidence of mlt synthesis by human lymphocytes and its physiological significance: possible role as intracrine, autocrine and/or paracrine substance. *FASEB J.* V. 18 (2004): pp. 537-539.
10. Carrillo-Vico A., Lardone P.J., Naji L. Beneficial pleiotropic actions of melatonin in an experimental model of septic shock in mice: Regulation of pro-/ anti-inflammatory cytokine network, protection against oxidative damage and anti-apoptotic effects. *J. Pineal. Res.* V. 39 (2005): pp. 400-408.
11. Carrillo-Vico A. et al. Melatonin: buffering the immune system. *Int. J. Mol. Sci.* V. 14(4) (2013): pp. 8638-8683.
12. Chen F. et al. Effect of melatonin on monochromatic light-induced T-lymphocyte proliferation in the thymus of chickens. *J. Photochem. Photobiol B.* V. 161 (2016): pp. 9-16.
13. Comai S., Gobbi G. Unveiling the role of melatonin MT2 receptors in sleep, anxiety and other neuropsychiatric diseases: a novel target in psychopharmacology. *J. Psychiatry Neurosci.* V. 39 (2014): pp. 6-21.
14. Cutando A. et al. Role of melatonin in cancer treatment. *Anticancer Res.* 2012. V. 32(7) (2012): pp. 2747-2753.
15. Ding S. et al. Melatonin stabilizes rupture-prone vulnerable plaques via regulating macrophage polarization in a nuclear circadian receptor ROR $\alpha$ -dependent manner. *J. Pineal. Res.* V. 67 (2019): pp. e12581.
16. Drazen D.L. et al. *In vitro* melatonin treatment enhances splenocyte proliferation in prairie voles. *J. Pineal. Res.* V. 28(1) (2000): pp. 34-40.
17. Du J., Huang C., Zhou B., Ziegler S.F. Isoform-Specific Inhibition of ROR $\alpha$ -Mediated Transcriptional Activation by Human FOXP3. *J. Immunol.* V. 180(7) (2008): pp. 4785-4792.
18. Dubocovich M.L., Markowska M. Functional MT1 and MT2 melatonin receptors in mammals. *Endocrine.* V. 27 (2005): pp. 101-110.
19. Ekmekcioglu C. Melatonin receptors in humans: biological role and clinical relevance. *Biomed. Pharmacother.* V. 60(3) (2006): pp. 97-108.
20. Emet M. et al. A Review of Melatonin, Its Receptors and Drugs. *The Eurasian Journal of Medicine.* V. 48(2) (2016): pp. 135-141.
21. Espino J. et al. Protective effect of melatonin against human leukocyte apoptosis induced by intracellular calcium overload: relation with its antioxidant actions. *J. Pineal. Res.* 2011. V. 51(2) (2011): pp. 195-206.
22. Espino J., Rodriguez A.B., Pariente J.A. The inhibition of TNF- $\alpha$ -induced leucocyte apoptosis by melatonin involves membrane receptor MT1/MT2 interaction. *J. Pineal. Res.* V. 54(4) (2013): pp. 442-452.
23. Farez M.F. et al. Melatonin Contributes to the Seasonality of Multiple Sclerosis Relapses. *Cell.* V. 162 (2015): pp. 1338-1352.

24. Farez M.F. et al. Anti-inflammatory effects of melatonin in multiple sclerosis. *Bioessays*. V. 38 (2016): pp. 1016-1026.
25. Favero G. et al. Melatonin as an Anti-Inflammatory Agent Modulating Inflammasome Activation. *Int. J. Endocrinol.* V. 2017 (2017): pp. 1835-195.
26. Ferlazzo N. et al. Is Melatonin the Cornucopia of the 21st Century? *Antioxidants*. 2020. V. 9(11) (2020): pp. 1088.
27. Garcia J.A. et al. Disruption of the NF- $\kappa$ B/NLRP3 connection by melatonin requires retinoid-related orphan receptor- $\alpha$  and blocks the septic response in mice. *FASEB J.* V. 29 (2015): pp. 3863-3875.
28. Garcia-Maurino S. et al. Melatonin enhances IL-2, IL-6, and IFN $\gamma$  production by human circulating CD4<sup>+</sup> cells: a possible nuclear receptor-mediated mechanism involving T helper type 1 lymphocytes and monocytes. *J. Immunol.* V. 159 (1997): pp. 574-581.
29. Garcia-Maurino S. Melatonin activates Th1 lymphocytes by increasing IL-12 production. *Life Sci.* V. 65 (1999): pp. 2143-2150.
30. Guerrero J.M., Reiter R.J. Melatonin-immune system relationships. *Curr. Top. Med. Chem.* V. 2 (2002): pp. 167-179.
31. Gupta S., Haldar C. Physiological crosstalk between melatonin and glucocorticoid receptor modulates t-cell mediated immune responses in a wild tropical rodent, *Funambulus pennant*. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.* V. 134 (2013): pp. 23-36.
32. Huang H. et al. Melatonin prevents endothelial dysfunction in SLE by activating the nuclear receptor retinoic acid-related orphan receptor- $\alpha$ . *Int. Immunopharmacol.* V. 83 (2020): pp. 106365.
33. Johansson L.C. et al. XFEL structures of the human MT2 melatonin receptor reveal the basis of subtype selectivity. *Nature*. V. 569 (7755) (2019): pp. 289-292.
34. Kato K. et al. Neurochemical properties of ramelteon (TAK-375), a selective MT1/MT2 receptor agonist. *Neuropharmacology*. V. 48 (2005): pp. 301-310.
35. Kojima H., Muromoto R., Takahashi M. Inhibitory effects of azole-type fungicides on interleukin-17 gene expression via retinoic acid receptor-related orphan receptors  $\alpha$  and  $\gamma$ . *Toxicol. Appl. Pharmacol.* V. 259 (2012): pp. 338-345.
36. Kuklina E.M. Melatonin as potential inducer of Th17 cell differentiation. *Medical Hypothesis*. V. 83 (2014): pp. 404-406.
37. Lardone P.J. et al. Melatonin synthesized by Jurkat human leukemic T cell line is implicated in IL-2 production. *J. Cell. Physiol.* V. 206 (2006): pp. 273-279.
38. Lardone P.J. et al. Blocking of melatonin synthesis and MT(1) receptor impairs the activation of Jurkat T cells. *Cell. Mol. Life. Sci.* V. 67 (2010): pp. 3163-3172.
39. Lardone P.J. et al. Melatonin synthesized by T lymphocytes as a ligand of the retinoic acid-related orphan receptor. *J. Pineal Res.* V. 51 (2011): pp. 454-462.
40. Leon J. et al. Structure-related inhibition of calmodulin-dependent neuronal nitric-oxide synthase activity by melatonin and synthetic kynurenines. *Mol. Pharmacol.* V. 58(5) (2000): pp. 967-975.
41. Li Z. et al. Melatonin inhibits apoptosis in mouse Leydig cells via the retinoic acid-related orphan nuclear receptor  $\alpha$ /p53 pathway. *Life Sci.* 2020. V. 246 (2020): pp. 117431.
42. Lin L. et al. Melatonin in Alzheimer's disease. *Int. J. Mol. Sci.* V. 14 (2013): pp. 14575-14593.
43. Ma H. et al. ROR: Nuclear Receptor for Melatonin or Not? *Molecules*. V. 26(9) (2021). pp. 2693.
44. Mahmood D. Pleiotropic Effects of Melatonin. *Drug Res (Stuttg)*. V. 69(2) (2019): pp. 65-74.
45. Naranjo M.C. et al. Melatonin biosynthesis in the thymus of humans and rats. *Cell. Mol. Life Sci.* V. 64(6) (2007): pp. 781-790.
46. NaveenKumar S.K. et al. Melatonin restores neutrophil functions and prevents apoptosis amid dysfunctional glutathione redox system. *J. Pineal. Res.* V. 69(3) (2020): pp. e12676.
47. Okamoto H.H. et al. Cryo-EM structure of the human MT1-Gi signaling complex. *Nat. Struct. Mol Biol.* V. 28(8) (2021): pp. 694-701.
48. Pariente R. et al. Participation of MT3 melatonin receptors in the synergistic effect of melatonin on cytotoxic and apoptotic actions evoked by chemotherapeutics. *Cancer Chemother Pharmacol.* V. 80(5) (2017): pp. 985-998.
49. Pozo D. et al. mRNA expression of nuclear receptor RZR/ROR $\alpha$ , melatonin membrane receptor MT1, and hydroxindole-O-methyltransferase in different populations of human immune cells. *J. Pineal. Res.* V. 37 (2004): pp. 48-54.
50. Raghavendra V. et al. Melatonin provides signal 3 to unprimed CD4(+) T cells but failed to stimulate LPS primed B cells. *Clin. Exp. Immunol.* V. 124 (2001): pp. 414-422.
51. Ragonda F., Diederich M., Ghibelli L. Melatonin: a pleiotropic molecule regulating inflammation. *Biochem. Pharmacol.* V. 80 (2010): pp. 1844-1852.
52. Reppert S.M. et al. Molecular characterization of a second melatonin receptor expressed in human retina and brain: the Mel1b melatonin receptor. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* V. 92(19) (1995): pp. 8734-8738.

53. Reppert S.M., Weaver D.R., Ebisawa T. Cloning and characterization of a mammalian melatonin receptor that mediates reproductive and circadian responses. *Neuron*. V. 13(5) (1994): pp. 1177-1185.
54. Sanchez-Barcelo E.J. et al. Melatonin-estrogen interactions in breast cancer. *J. Pineal. Res.* V. 38(4) (2005): pp. 217-222.
55. Shaji A.V., Kulkarni S.K., Agrewala J.N. Regulation of secretion of IL-4 and IgG1 isotype by melatonin-stimulated ovalbumin-specific T cells. *Clin. Exp. Immunol.* V. 111 (1998): pp. 181-185.
56. Shen S. et al. The role of melatonin in the treatment of type 2 diabetes mellitus and Alzheimer's disease. *Int. J. Biol. Sci.* V. 18(3) (2022): pp. 983-994.
57. Slominski A.T. et al. ROR $\alpha$  and ROR  $\gamma$  are expressed in human skin and serve as receptors for endogenously produced noncalcemic 20-hydroxy- and 20,23-dihydroxyvitamin D. *FASEB J.* V. 28 (2014): pp. 2775-2789.
58. Spinedi E., Cardinali D.P. Neuroendocrine-Metabolic Dysfunction and Sleep Disturbances in Neurodegenerative Disorders: Focus on Alzheimer's Disease and Melatonin. *Neuroendocrinology*. V. 108(4) (2019): pp. 354-364.
59. Srinivasan V., Cardinali D.P., Srinivasan U.S. Therapeutic potential of melatonin and its analogs in Parkinson's disease: focus on sleep and neuroprotection. *Ther. Adv. Neurol. Disord.* V. 4 (2011): pp. 297-317.
60. Stauch B. et al. Structural basis of ligand recognition at the human MT1 melatonin receptor. *Nature*. V. 569 (7755) (2019): pp. 284-288.
61. Sun H., Gusdon A.M., Qu S. Effects of melatonin on cardiovascular diseases: progress in the past year. *Curr. Opin. Lipidol.* V. 27(4) (2016): pp. 408-413.
62. Tan D.X. et al. Melatonin as a Potent and Inducible Endogenous Antioxidant: Synthesis and Metabolism. *Molecules*. V. 20(10) (2015): pp. 18886-18906.
63. Wiesenberg I. et al. Transcriptional activation of the nuclear receptor RZR $\alpha$  by the pineal gland hormone melatonin and identification of CGP52608 as a synthetic ligand. *Nucleic. Acid. Res.* V. 23 (1995): pp. 327-333.
64. Wu C.C. et al. Melatonin enhances endogenous heme oxygenase-1 and represses immune responses to ameliorate experimental murine membranous nephropathy. *J. Pineal. Res.* V. 52(4) (2012): pp. 460-469.
65. Xu L. et al. Melatonin differentially regulates pathological and physiological cardiac hypertrophy: Crucial role of circadian nuclear receptor ROR $\alpha$  signaling. *J. Pineal. Res.* V. 67 (2019): pp. e12579.
66. Yang X.O. et al. T helper 17 lineage differentiation is programmed by orphan nuclear receptors ROR  $\alpha$  and ROR  $\gamma$ . *Immunity*. V. 28 (2008): pp. 29-39.
67. Yoo Y.M. et al. Pharmacological advantages of melatonin in immunosenescence by improving activity of T lymphocytes. *J. Biomed. Res.* V. 30 (2016): pp. 314-321.
68. Zang M. et al. The circadian nuclear receptor ROR $\alpha$  negatively regulates cerebral ischemia-reperfusion injury and mediates the neuroprotective effects of melatonin. *BBA. Mol. Basis Dis.* V. 1866 (2020). pp. 165890.

Статья поступила в редакцию 11.04.2023; одобрена после рецензирования 11.05.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 11.04.2023; approved after reviewing 11.05.2023; accepted for publication 02.06.2023.

#### **Информация об авторах**

Е. М. Куклина – д-р. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунорегуляции;

Н. С. Глебездина – канд. биол. наук, младший научный сотрудник лаборатории иммунорегуляции.

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

E. M. Kuklina – doctor of biology, leading researcher of laboratory of immunoregulation;

N. S. Glebezdina – candidate of biology, junior researcher of laboratory of immunoregulation.

#### **Вклад авторов:**

Куклина Е. М. – научное руководство, концепция исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.

Глебездина Н. С. – оформление, доработка текста.

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

Kuklina E. M. – scientific management, research concept, writing the source text, conclusions.

Glebezdina N. S. – design, revision of the text.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

## КЛИНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ ДИАГНОСТИКА

Краткое сообщение

УДК 602

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-205-207

### Метод взятия крови у мышей из периферической вены хвоста для исследования специфической активности эритропоэтина

**Татьяна Евгеньевна Петухова**

Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор», Кольцово, Россия,  
tanja-petuhova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3093-8281>

**Аннотация.** Одним из главных показателей качества, подтверждающим эффективность и безопасность лекарственных препаратов рекомбинантного эритропоэтина человека, служит специфическая активность. Определение специфической активности рекомендуется проводить биологическим методом *in vivo* на полицитемических и нормоцитемических мышах. Основным способом забора крови являлся метод взятия крови из ретроорбитального синуса глаза. Недостатками данного способа являются высокий риск осложнений и невозможность взятия крови повторно через короткий промежуток времени. Следующий забор крови возможен только через 10 дней после процедуры. В данной статье описывается простой метод взятия крови, позволяющий отобрать достаточный её объем для исследования специфической активности эритропоэтина, максимально уменьшить травматичность тканей хвоста мыши, снизить контаминацию загрязнения полученной крови чужеродными частицами, свести к минимуму количество осложнений, возможность повторного забора крови через короткий промежуток времени.

**Ключевые слова:** специфическая активность, эритропоэтин, периферическая вена, кровь, мышь

**Для цитирования:** Петухова Т. Е. Метод взятия крови у мышей из периферической вены хвоста для исследования специфической активности эритропоэтина // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 205–207. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-205-207>.

## CLINICAL LABORATORY DIAGNOSTICS

Short message

### Method of taking blood from peripheral tail veins in mice to study the specific activity of erythropoietin

**Tatiana E. Petukhova**

Scientific Center of Virology and Biotechnology "Vector", Koltsovo, Russia, tanja-petuhova@yandex.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-3093-8281>

**Abstract.** One of the main quality indicators showing the effectiveness and safety of recombinant human erythropoietin drugs is their specific activity. The determination of this specific activity is recommended to carry out by the biological method *in vivo* on polycythemic and normocythemic mice. The main method of blood collection was the method of taking blood from the retroorbital sinus of the eye. The disadvantages of this method are the high risk of complications and the inability to take blood again after a short period of time. The next blood sampling is possible only 10 days after the procedure. This article describes a simple method of taking blood that allows us to select a sufficient amount of blood to study the specific activity of erythropoietin, minimize the traumatism of mouse tail tissues, reduce contamination of the obtained blood with foreign particles, minimize the number of complications, the possibility of repeated blood sampling after a short period of time.

**Keywords:** specific activity, erythropoietin, peripheral vein, blood, mouse

**For citation:** Petukhova T. E. [Method of taking blood from mice from the peripheral vein of the tail to study the specific activity of erythropoietin]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 205-207. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-205-207>.

Главным из показателей качества, подтверждающим эффективность и безопасность лекарственных препаратов рекомбинантного эритропоэтина человека, служит специфическая активность. Специфическую активность лекарственных препаратов рекомбинантного эритропоэтина человека, согласно ведущим Фармакопеям мира [Erythropoietin Concentrated..., 2019; Erythropoietin bioassays..., 2021], определя-

ют биологическим методом по влиянию на стимуляцию гемопоэза у полицитемических и нормоцитемических мышей в сравнении со стандартным образцом (СО) и выражают в международных единицах (МЕ).

В настоящее время известны различные способы взятия крови у мышей: ампутация хвоста, прокол ретроорбитального синуса глаза, из сосудов большого пальца задней конечности, [Взятие крови..., 2019], прокол малой подкожной вены голени [Степанова, 2006], пункция сердца, при помощи декапитации головы [Пат. RU2317543С1..., 2008]. Все эти методы имеют ряд недостатков: это сложность процесса взятия крови, применение анестезии, что приводит к искажению результатов, отсутствие специального вакуумного прибора, невозможность многократного взятия крови в течение короткого промежутка времени.

Для многократных взятий крови существует метод забора крови у крыс из периферических вен хвоста [Пат. RU2719912..., 2019]. Данный способ позволяет получить достаточный объем крови для биохимических и других исследований. Этот метод был адаптирован нами для забора крови у мышей.

Для проведения испытания использовали следующее оборудование:

- штатив;
- удерживатель для лабораторных мышей;
- шприц на 1 мл (80 шт);
- теплоид (автономный тканевый источник тепла);
- жгут;
- дозатор механический с объемом дозирования 200 мкл.

Экспериментальные исследования выполнены на линейных мышах ICR (n=80). Животных получали из питомника ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

Эксперименты проводили в соответствии с биоэтическими стандартами работы с лабораторными животными, отраженными в "Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и других научных целях" [European Convention..., 1986] и в соответствии с требованиями [ГОСТ 33215-2014 и ГОСТ 33216-2014].

Сущность данного способа заключается в том, что используется автономный тканевый источник тепла, самонагревающийся до температуры (45–50°C). При этом происходит равномерное прогревание хвоста мыши путем обертывания ткани вокруг хвоста, вследствие чего расширяются его сосуды. Проводят 3 цикла прогревания по 15 сек. Это способствует увеличению скорости забора крови и лучшей видимости сосудов для последующего их прокола. Далее используют жгут, накладывая его на основание хвоста, прокалывают вену иглой, производят забор крови с помощью капилляра.

Забор крови у мышей из периферических вен хвоста осуществляли в следующей последовательности. Мышь извлекали из клетки, держа ее за основание хвоста, помещали на ровную поверхность и фиксировали. Фиксацию производили с помощью различных устройств или ручным способом. Заранее вскрывали упаковку с теплоидом. Теплоид помещали на ровную поверхность и визуально делили пополам. На первой части размещали хвост, второй частью хвост закрывали. Длительность прогрева хвоста – 15 сек. Процедуру повторяли 3 раза. После проведенных манипуляций начинали этап взятия крови из хвостовой вены: у основания хвоста фиксировали отрезок эластичной резиновой материи шириной 1–2 мм, которая пережимала сосуды и являлась аналогом жгута. Производили обработку хвоста дезинфицирующим раствором. При осмотре хвоста необходимо обнаружить сосуд, в который будет осуществляться прокол иглой шприца. После идентификации вены выполняли ее прокол под углом 15° шприцом с иглой 27G. Далее ослабляли жгут и собирали кровь в количестве 0.02–0.03 мкл. Достаточный объем взятой крови для анализа специфической активности около 0.02 мкл. После забора крови обрабатывали область прокола дезинфицирующим раствором.

Через некоторое время мышь готова к повторному забору крови.

Предложенный метод весьма прост, исключает применение анестезии и обездвиживания, позволяет многократно и в разных объемах (до 50 мкл) собирать кровь для исследований специфической активности эритропоэтина, сохраняет жизнь животного. Этот метод подходит и для более крупных пород лабораторных грызунов.

### Список источников

1. Взятие крови у животных: учеб.-метод. пособие для студентов. Витебск: ВГАВМ, 2019. С. 32.
2. Степанова О.И. Метод взятия крови из малой подкожной вены у мышей / Науч. центр биомедицинских технологий РАМН. М., 2006. № 2. С. 137–139.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33215-2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур. М.: Стандартиформ, 2016. С. 12.

4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33216-2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами. М.: Стандартинформ, 2016. С. 9.
5. Пат. RU2719912 Российская Федерация, МПК G09B 23/28 (2006.01). Способ забора крови у крыс из периферических вен хвоста: / Тимкин П.Д., Кропотова М.Е., Петренко Н.И.; патентообладатель ФГБОУ ВО Амурская ГМА. заявл. 03.07.2019; опублик. 23.04.20.
6. Пат. RU2317543 Российская Федерация, МПК G01N 33/48 (2006.01), G01N 1/100 (2006/1). Способ взятия крови у лабораторных мышей: / Зарицкая В.В., Зарицкий А.А., Мандро Н.М.; патентообладатель ФГОУ ВПО ДГАУ. заявл. 08.06.2006; опублик. 20.02.2008.
7. Erythropoietin bioassays <124> / USP 42-NF 39. 2021.
8. Erythropoietin Concentrated Solution 01/2017:2758 European Pharmacopoeia 10.0. 2019. Vol. 2. P. 2540–2544.
9. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes Strasbourg, 18. III. 1986. P. 11.

## References

1. *Vzjatje krovi u životnyh* [Taking blood from animals. Educational and methodical handbook for students]. Vitebsk, VGAVM Publ., 2019. P. 32.
2. Stepanova O.I. [Method of taking blood from the small subcutaneous vein in mice]. *Naučnyj centr biomedicinskich tehnologij RAMN* [Scientific Center of Biomedical Technologies of the Russian Academy of Medical Sciences]. Moscow, 2006, No 2, pp. 137-139.
3. *Mežgosudarstvennyj standart GOST 33215-2014* [Interstate standard GOST 33215-2014. Guidelines for the maintenance and care of laboratory animals. Rules of equipment of premises and organization of procedures]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 12 p.
4. *Mežgosudarstvennyj standart GOST 33216-2014* [Interstate standard GOST 33216-2014 Guidelines for the maintenance and care of laboratory animals. Rules for the maintenance and care of laboratory rodents and rabbits]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 9 p.
5. Пат. RU2719912 Russian Federation, IPC G09B 23/28 (2006.01). Method of blood collection in rats from peripheral veins of the tail: / Timkin P.D., Kropotova M.E., Petrenko N.I.; patent holder of the Amur State Medical University – application 03.07.2019; publ. 23.04.20.
6. Пат. RU2317543 Russian Federation, IPC G01N 33/48 (2006.01), G01N 1/100 (2006/1), Method of taking blood from laboratory mice: / Zaritskaya V.V., Zaritsky A.A., Mandro N.M.; patent holder of FGOU VPO DGAU. – application 08.06.2006; publ. 20.02.2008.
7. Erythropoietin bioassays <124> / USP 42-NF 39. – 2021.
8. Erythropoietin Concentrated Solution 01/2017:2758 European Pharmacopoeia 10.0. 2019, V. 2, pp. 2540-2544.
9. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes Strasbourg, 18. III. 1986. P. 11

Статья поступила в редакцию 30.01.2023; одобрена после рецензирования 22.02.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 30.01.2023; approved after reviewing 22.02.2023; accepted for publication 02.06.2023.

### **Информация об авторе**

Т. Е. Петухова – технолог отдела клеточных технологий, аспирант.

### **Information about the author**

T. E. Petukhova – technologist of the Department of Cellular Technologies, post-graduate student.

## БОТАНИКА

Научная статья

УДК ...

doi: 10.17072/1994-9952-202\_-\_-...-...

## Правила оформления статей в Вестник Пермского университета. Серия Биология

**Иван Иванович Иванов**<sup>1✉</sup>, **Петр Петрович Петров**<sup>2</sup>, **Семен Семенович Сидоров**<sup>3</sup>

<sup>1✉</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, ivanovii@mail.ru, <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

<sup>2</sup> Московский государственный университет, Москва, Россия, PPetrov@yandex.ru, <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

<sup>3</sup> Ростовский государственный педагогический университет, Ростов, Россия, Sid709@iegm.ru, <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

**Аннотация.** В аннотации отражается основное содержание статьи: актуальность, материал и методика, основные результаты. Аннотация должна содержать от 150 до 250 слов. Например: определен показатель жизнеспособности лиофилизированных культур *Rhodococcus ssp.* после длительного хранения, достаточный для восстановления клеточной популяции. Консервацию алканотрофных родококков рекомендовано производить в условиях предварительного их культивирования на питательных средах. Ключевых слов или словосочетаний должно быть не более 15; они должны отделяться друг от друга запятой, точка в конце не ставится.

**Ключевые слова:** оформление, статья, правила

**Для цитирования:** Иванов И. И., Петров П. П., Сидоров С. С. Правила оформления статей в Вестник Пермского университета. Серия Биология // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 202\_. Вып. \_. С. ...-....

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 17-77-3019; авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море.

## BOTANY

Original article

## Rules for the registration of articles in the Bulletin of Perm University. Biology Series

**Ivan I. Ivanov**<sup>1✉</sup>, **Petr P. Petrov**<sup>2</sup>, **Semyon S. Sidorov**<sup>3</sup>

<sup>1✉</sup> Perm State University, Perm, Russia, ivanovii@mail.ru, <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

<sup>2</sup> Moscow State University, Moscow, Russia, PPetrov@yandex.ru, <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

<sup>3</sup> Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch RAS, Perm, Russia, <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

**Abstract.** The abstract reflects the main content of the article: relevance, material and methodology, main results. The abstract should contain up to 250 words. For example: the viability index of lyophilized cultures of *Rhodococcus spp.* after long-term storage, sufficient to restore the cell population, has been determined. It is recommended to preserve alkanotrophic rhodococci under conditions of their preliminary cultivation on nutrient media. There should be no more than 15 keywords or phrases; they should be separated from each other by a comma, no dot at the end.

**Keywords:** design, article, rules

**For citation:** Ivanov I. I., Petrov P. P., Sidorov S. S. [Rules for the registration of articles in the Bulletin of Perm University. Biology Series]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. \_ (202\_): pp. ...-.... (In Russ.). [http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-202\\_-\\_-...-2....](http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-202_-_-...-2....)

**Acknowledgments:** the work was supported by the Russian Science Foundation, Project № 17-77-300; the authors are grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea.

## Введение

Оформление статей в «Вестник Пермского университета», Серия Биология выполняется в редакторе MicrosoftWord (версии 6.0, 7.0, 97, 2003) в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021 по настоящему образцу-шаблону; в нем содержатся основные *правила*, которыми должны руководствоваться авторы статей, а также стили, которыми форматируются стандартные элементы статьи. Количественные параметры большинства принятых форматов приводятся в тексте настоящих *правил*. Даны примеры оформления некоторых элементов статьи (формул, рисунков, таблиц, списка литературы и др.).

### Параметры страницы

Формат листа, используемый для написания статьи – А4.  
Размеры верхнего и нижнего полей – 2.6 см, правого и левого – 2.5 см.  
Расстояние до верхнего и нижнего колонтитулов – 1.25 см.

### Основной текст

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 Cyr*, размер – 10 пт (стиль **Текст**). Латинские названия таксонов (до семейства включительно) должны быть набраны *курсивом* (кроме авторов таксонов). Литературные ссылки даются на фамилии авторов и располагаются в хронологическом порядке.

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). Для избежания “жидких” строк в тексте использовать переносы. Переносы в словах можно делать также в заголовках таблиц и в подписях к рисункам, однако они не допускаются в названии статьи и заголовках всех уровней. Желательно приводить значения цифровых величин в одной строке с сокращенным наименованием единиц измерения. Желательно также оставлять один пробел после одиночных точки или запятой, а также и других знаков, например: (4, 5), А.В. Иванов // J. Chem. Phys.

Не следует использовать нумерованные списки, а также форматировать с использованием неразрывного пробела между знаками.

## Заголовки и колонтитулы

### Форматы

Стилевое оформление отдельных элементов статьи можно осуществлять простой заменой аналогичного элемента настоящего образца-шаблона, компьютерным копированием необходимого стиля, а также непосредственным использованием имеющихся стилей образца-шаблона с помощью меню “Стиль”. Так, “шапка” статьи набирается с использованием следующих стилей: Заголовок статьи – стиль **Заглавие статьи** – шрифт *Times New Roman Cyr*, 14 пт, полужирный, прописными буквами; фамилии и имена авторов – стиль **Авторы** (12 пт), адреса авторов – стиль **Адреса авторов** (10 пт), аннотация – стиль **Аннотация** (10 пт).

**Заголовки разделов и подразделов.** Заголовки разделов набираются с использованием стиля Заголовок 1 (12 пт), а заголовки подразделов – Заголовок 2, Заголовок 3 (10 пт).

## Формулы и уравнения

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):

$$a = \text{th } x + \int_a^b f(x)dx + \text{ch } x - 25 \sum_{i=1}^N k_i A_i \quad (3.1)$$

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.

## Рисунки

Рисунки должны быть пригодны к воспроизведению в черно-белом виде. Для вставки рисунка в текст можно: 1) из меню Вставка – Рисунок – Из файла вставить заранее подготовленный рисунок в графическом редакторе; 2) использовать опцию “*Рамка текста*”, вставив затем в созданную рамку рисунок из заранее подготовленного файла (рис. 1). Рисунки, выполненные из отдельных элементов, должны быть **сгруппированы**. Подписи к рисункам обязательны и набираются обычным прямым текстом размером 10 пт; обозначения к рисунку – размером 9 пт. Названия таксонов в подписях даются только по латыни, *курсивом*.

Для более высокого качества рисунков их следует предоставлять в редакцию отдельными документами в формате .tif или .jpg с разрешением не менее 300 dpi.

Рисунки, выполненные не компьютерным способом (например, тушью), должны быть вклеены в текст. Единственный в статье рисунок содержит только подпись и не обозначается как рис. 1.

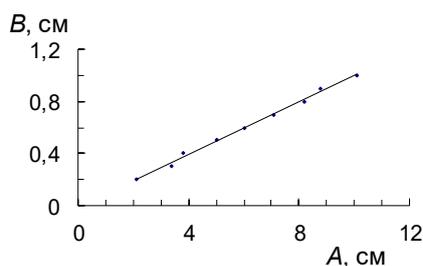


Рис. 1. Пример рисунка:

подрисуночная подпись для условного объекта с химической формулой  $K_2SO_4$

[Example of a drawing:

a caption for a conditional object with the chemical formula  $K_2SO_4$ ]

Размеры цифровых и буквенных обозначений, используемых на рисунках, должны быть сравнимы с размерами основного шрифта статьи. Деления шкал на рисунке желательно наносить с их внутренней стороны.

## Таблицы

Оформление таблиц осуществляется по тем же правилам, что и оформление рисунков. Заголовки таблиц обязательны и набираются **полужирным шрифтом** размером 10 пт, как показано в примере (табл. 1). Примечание: Если в заголовке используются латинские названия таксонов, они набираются *курсивом*. Все столбцы должны иметь заголовки.

Таблица 1

**Пример оформления таблицы и заголовка к ней для того же объекта  $K_2SO_4$**

**[Example of the design of a table and its header for the same  $K_2SO_4$  object]**

Область оценки	Дисперсия сигнала (D)	$\nu$ (МГц)	Среднее
A	79	8.91*	5.6
Б	170	13.0	208.0
В	165	12.8	124.05

\*Текст примечания.

Цифры в столбцах таблицы должны быть выровнены по точке десятичных дробей или по единице младшего разряда. Таблица может сопровождаться примечаниями.

Единственная в статье таблица не обозначается как «Таблица 1»; сразу набирается заголовок таблицы, а в тексте статьи дается ссылка на таблицу.

Суммарный объем иллюстративного и табличного материала не должен превышать  $\frac{1}{3}$  всей текстовой части (без библиографического списка, реферата и проч.) статьи.

## Список источников

1. Боч С.Г., Краснов И.И. К вопросу о границе максимального четвертичного оледенения в пределах Уральского хребта в связи с наблюдениями над нагорными террасами // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 1946. № 8. С. 46–72.

2. Гирёва М.В. Роль фотооксидазной активности в восстановлении оксианионов теллурита и селенита у пурпурных бактерий: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.07. Пермь, 2005. 22 с.
3. Горчаковский П.Л. Основные проблемы исторической фитогеографии Урала. Свердловск, 1969. 286 с.
4. Дирина А.И. Право военнослужащих Российской Федерации на свободу ассоциаций // Военное право: сетевой журн. 2007. URL: <http://www.voennoepravo.ru/node/2149> (дата обращения: 19.09.2007).
5. Животный мир Вишерского края. Позвоночные животные: справоч. изд. / под общ. ред. А.И. Шепеля. Пермь: Кн. мир, 2004. 207 с.
6. Камелин Р.В., Юрцев Б.А. Новый вид *Astragalus igoschinae* (Fabaceae) с Полярного Урала // Ботанический журнал. 1982. Т. 67, № 9. С. 1285–1289.
7. Лавренко Е.М. История флоры и растительности СССР по данным современного распространения растений // Растительность СССР. М.; Л., 1938. Т. 1. С. 235–296.
8. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности. (История и современное состояние основных концепций) / отв. ред. А.И. Соломещ. Уфа: Гилем, 1998. 413 с.
9. О жилищных правах научных работников [Электронный ресурс]: постановление ВЦИК, СНК РСФСР от 20 авг. 1933 г. (с изм. и доп., внесенными постановлениями ВЦИК, СНК РСФСР от 1 нояб. 1934 г., от 24 июня 1938 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
10. Шанцер Е.В. Антропогенная система (период) // БСЭ. 3-е изд. 1970. Т. 2. С. 100–106.
11. Энциклопедия животных Кирилла и Мефодия. М.: Кирилл и Мефодий: New media generation, 2006. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).
12. Israeli E., Shaffer B.T., Lighthart B. Protection of freeze-dried *Escherichia coli* by trehalose upon exposure to environmental conditions // *Cryobiology*. 1993. Vol. 30. P. 519–523.
13. Mikata K., Banno I. Preservation of yeast cultures by L-drying viability after 5 years of storage at 5°C // *IFO Research Communications*. 1989. № 14. P. 80–103.
14. Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Clarendon Press, 1934. 632 p.

## References

1. Boch S. G., Krasnov I. I. [On the question of the boundary of the maximum Quaternary glaciation within the Ural Ridge in connection with observations over upland terraces]. *Bulleten' Komissii po izučeniju četvertičnogo perioda*. No. 8 (1946): pp. 46-72. (In Russ.).
2. Gireva M. V. *Rol' fotooksidaznoj aktivnosti v vosstanovlenii oksianionov tellurite i selenite u purpurnych bakterij. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [The role of photooxidase activity in the reduction of tellurite and selenite oxyanions in purple bacteria. Abstract Cand. Diss.]. Perm, 2005. 22 p. (In Russ.).
3. Gorchakovskiy P. L. *Osnovnyye problemy istoričeskoj fitogeografii Urala* [The main problems of the historical phytogeography of the Urals]. Sverdlovsk, 1969. 286 p. (In Russ.).
- ...
5. Shepel A. I., ed. *Životnyj mir Višerskogo kraja. Pozvonočnye životnye* [The animal world of the Vishersky region. Vertebrates: reference edition]. Perm, Knižnyj mir Publ., 2004. 207 p. (In Russ.).
- ...
12. Israeli E., Shaffer B.T., Lighthart B. Protection of freeze-dried *Escherichia coli* by trehalose upon exposure to environmental conditions. *Cryobiology*. V. 30 (1993): pp. 519-523.
- ...
14. Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford, Clarendon Press, 1934. 632 p.

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 гистологии;  
 П. П. Петров – кандидат биологических наук, доцент кафедры органической химии;  
 С. С. Сидоров – инженер лаборатории адаптации микроорганизмов.

### Information about the authors

I. I. Ivanov, doctor of biology, professor, head of the Department of histology;  
 P. P. Petrov – candidate of biology, associate professor of the Department of organic chemistry;  
 S. S. Sidorov – engineer of the laboratory of microbial adaptation.

**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; final conclusions.

Petrov P.P. – followon revision of the text; final 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.  
Серия БИОЛОГИЯ =  
2023. Выпуск 2**

**Bulletin of Perm University.  
BIOLOGY  
2023. Issue 2**

---

*Научное издание*

Редактор *Л. Л. Савенкова*

Корректор *Л. Л. Соболева*

Компьютерная верстка *С. А. Овеснова*

Подписано в печать 02.06.2023. Выход в свет 19.07.2023. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Усл. печ. л. 12,3. Тираж 500 экз. Заказ № 26

Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского  
университета  
614068, 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