

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 1 (49)

2025

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЗООЛОГИЯ

- Потапов Г. С., Бовыкина Г. В., Полумордвинов О. А., Стойко Т. Г.**  
Идентификация криптических видов *Bombus lucorum*-complex  
и *Bombus terrestris* в Пензенской области с помощью метода полимеразной  
цепной реакции – полиморфизма длины фрагментов рестрикции ..... 3
- Асанов А. Ю.** Морфологическая характеристика леща *Abramis brama*  
(Linnaeus, 1758) Пензенского (Сурского) водохранилища ..... 11

### ЭКОЛОГИЯ

- Феоктистов П. Д., Сенкевич В. А.** Весенние зоопланктонные  
сообщества прудов г. Заречный (Пензенская область) ..... 21
- Корепов М. В., Павлов П. О., Якунин С. В.** Структура населения птиц  
ключевых ландшафтов национального парка «Сенгилеевские горы»  
в гнездовой период ..... 40
- Смирнов Д. Г., Джамирзоев А. Г.** Осеннее население рукокрылых (Chiroptera)  
и его экологические особенности в кластере «Дельта Самура»  
национального парка «Самурский» (Дагестан, Россия) ..... 51
- Сунь Ц., Фотев Ю. В.** Оценка жизнеспособности in vitro  
и морфологии пыльцы образцов вигны (*Vigna unguiculata*)  
при интродукции на юге Западной Сибири ..... 65
- Степанова И. А., Гарицкая М. Ю.** Мониторинг озеленения и застройки  
пойменной зоны реки Урал в границах города Оренбурга  
с применением геоинформационных технологий ..... 78

### ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Сунь Ц., Фотев Ю. В.** Характеристика устьичного аппарата вигны  
(*Vigna unguiculata*) при интродукции на юге Западной Сибири ..... 88

# UNIVERSITY PROCEEDINGS VOLGA REGION

## NATURAL SCIENCES

№ 1 (49)

2025

## CONTENTS

### ZOOLOGY

- Potapov G.S., Bovykina G.V., Polumordvinov O.A., Stojko T.G.** Identification of the cryptic species of *Bombus lucorum*-complex and *Bombus terrestris* in the Penza region using the PCR–RFLP method..... 3
- Asanov A.Yu.** Morphological characteristics of bream *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) Penza (Sura) reservoir ..... 11

### ECOLOGY

- Feoktistov P.D., Senkevich V.A.** Spring zooplankton communities of ponds of Zarechny (Penza region)..... 21
- Korepov M.V., Pavlov P.O., Yakunin S.V.** Bird population structure of key landscapes of the Sengileevsky Mountains National Park during the breeding season..... 40
- Smirnov D.G., Dzhamirzoev A.G.** Autumn population of bats (Chiroptera) and its ecological features in the cluster «Delta Samur» of the «Samursky» national park (Dagestan, Russia)..... 51
- Sun J., Fotev Yu.V.** Evaluation of in vitro viability and pollen morphology of asparagus vigna (*Vigna unguiculata*) accessions during introduction in the south of Western Siberia ..... 65
- Stepanova I.A., Garitskaya M.Yu.** Monitoring of landscaping and development of the floodplain area of the Ural River within the boundaries of the city of Orenburg using geoinformation technologies..... 78

### PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Sun J., Fotev Yu.V.** Characteristics of the stomatal apparatus of Vigna (*Vigna unguiculata*) during introduction in the south of Western Siberia..... 88

УДК 595.799

doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-1

## Идентификация криптических видов *Bombus lucorum-complex* и *Bombus terrestris* в Пензенской области с помощью метода полимеразной цепной реакции – полиморфизма длины фрагментов рестрикции

Г. С. Потапов<sup>1</sup>, Г. В. Бовыкина<sup>2</sup>, О. А. Полумордвинов<sup>3</sup>, Т. Г. Стойко<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова УрО РАН, Архангельск, Россия

<sup>3,4</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup>grigorij-potapov@yandex.ru, <sup>2</sup>galka.bovickina@gmail.com,  
<sup>3</sup>entomol-penza@yandex.ru, <sup>4</sup>tgstojko@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Изучение распространения криптических видов *Bombus lucorum-complex* является одной из наиболее трудных задач в региональных энтомологических исследованиях. В Пензенской области имеются сведения только о двух видах шмелей *B. terrestris* и *B. lucorum*, не подтвержденные молекулярно-генетическими методами, а *B. cryptarum* не был зарегистрирован. В то же время разработан метод упрощенной молекулярной идентификации видов ПЦР–ПДРФ, позволивший на Европейском Севере России детально изучить распространение шмелей трех видов. Преимущество данного метода в том, что при его применении не требуется дорогостоящее секвенирование ДНК. Целью исследования явилась идентификация видов *Bombus lucorum-complex* и *B. terrestris* на территории Пензенской области с использованием метода ПЦР–ПДРФ анализа. *Материалы и методы.* Подробное описание ПЦР–ПДРФ метода представлено ранее, в работе Bovykina et al., 2024. Изучено 10 экземпляров, сделаны фото внешнего вида шмелей (вид сбоку) и центральной части заднего края второго тергита брюшка. *Результаты.* На территории Пензенской области подтверждено обитание *B. terrestris*, *B. cryptarum* и *B. lucorum*. В коллекции появились эталонные образцы этих видов, рассмотрена их биотопическая приуроченность, а также проанализированы морфологические признаки. *Выводы.* В результате проведенного анализа подтверждено наличие в Пензенской области шмелей *B. terrestris*, *B. cryptarum* и *B. lucorum*. Морфологические признаки эталонных экземпляров являются образцом для идентификации остальных шмелей в коллекции.

**Ключевые слова:** криптические виды, шмели, *Bombus lucorum-complex*, *Bombus cryptarum*, метод ПЦР–ПДРФ, Пензенская область

**Для цитирования:** Потапов Г. С., Бовыкина Г. В., Полумордвинов О. А., Стойко Т. Г. Идентификация криптических видов *Bombus lucorum-complex* и *Bombus terrestris* в Пензенской области с помощью метода полимеразной цепной реакции – полиморфизма длины фрагментов рестрикции // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 3–10. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-1

## Identification the cryptic species of *Bombus lucorum*-complex and *Bombus terrestris* in Penza region using the PCR–RFLP method

G.S. Potapov<sup>1</sup>, G.V. Bovykina<sup>2</sup>, O.A. Polumordvinov<sup>3</sup>, T.G. Stojko<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research  
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

<sup>3,4</sup>Penza State University, Penza, Russia

<sup>1</sup>grigorij-potapov@yandex.ru, <sup>2</sup>galka.bovickina@gmail.com,

<sup>3</sup>entomol-penza@yandex.ru, <sup>4</sup>tgstojko@mail.ru

**Abstract.** *Background.* Studying the distribution the cryptic species of *Bombus lucorum*-complex is one of the most difficult tasks in regional entomological research. In Penza region there is information about only two species of bumblebees *B. terrestris* and *B. lucorum*, not confirmed by molecular genetic methods, and the species *B. cryptarum* has not been registered. At the same time, a simplified molecular identification method PCR–RFLP of species has been developed, which made it possible to study in detail the distribution of three bumblebee species in the European North of Russia. The advantage of this method is that it does not require expensive DNA sequencing. The aim of the study was to identify the species *Bombus lucorum*-complex and *B. terrestris* in Penza region using the PCR–RFLP analysis method. *Materials and methods.* A detailed description of the PCR–RFLP method was presented earlier in the work of Bovykina et al., 2024. Ten specimens were studied, and photographs of the bumblebees' external appearance (side view) and the central part of the posterior edge of the 2<sup>nd</sup> tergite of the abdomen were taken. *Results.* The presence of *B. terrestris*, *B. cryptarum* and *B. lucorum* has been confirmed in Penza Region. Reference samples of these species have appeared in the collection, their biotopic preference has been considered, and their morphological features have been analyzed. *Conclusions.* As a result of the analysis, the presence of *B. terrestris*, *B. cryptarum* and *B. lucorum* bumblebees in Penza region was confirmed. The morphological features of the reference specimens are a model for identifying the remaining bumblebees in the collection.

**Keywords:** cryptic species, bumblebees, *Bombus lucorum*-complex, *Bombus cryptarum*, PCR–RFLP method, Penza region

**For citation:** Potapov G.S., Bovykina G.V., Polumordvinov O.A., Stojko T.G. Identification the cryptic species of *Bombus lucorum*-complex and *Bombus terrestris* in Penza region using the PCR–RFLP method. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2025;(1):3–10. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-1

### Введение

Изучение распространения криптических видов *Bombus lucorum*-complex (*B. lucorum* (Linnaeus 1761), *B. cryptarum* (Fabricius 1775) и *B. magnus* Vogt 1911) является одной из наиболее трудных задач в региональных энтомологических исследованиях [1, 2]. Основная причина этого заключается в значительной сложности, а нередко и невозможности их достоверной идентификации только по морфологическим признакам. Если крупные репродуктивные самки в ряде случаев возможно точно идентифицировать, то этого нельзя сделать с рабочими особями и самцами [2, 3]. Кроме видов *Bombus lucorum*-complex определенную сложность доставляет идентификация и *B. terrestris* (Linnaeus 1758) [2]. Однако проведение ДНК-баркодинга с этой целью в большинстве случаев невозможно по финансовым причинам и возникающим трудозатратам.

В итоге к настоящему времени подробные сведения о распространении и экологии данных видов существуют только для некоторых регионов Европы [1, 2, 4, 5].

В Пензенской области имеются сведения о наличии на территории региона только *B. terrestris* и *B. lucorum* [6–9]. *B. cryptarum* в исследуемом регионе не был зарегистрирован [2, 10]. Однако находки *B. terrestris* и *B. lucorum* на территории Пензенской области не были подтверждены молекулярно-генетическими методами. В то же время на Европейском Севере России, в Архангельской области, Республике Карелия и Мурманской области с помощью метода упрощенной молекулярной идентификации – анализа полиморфизма длины фрагментов рестрикции (ПДРФ) ПЦР-продуктов – детально изучено распространение *B. terrestris*, *B. lucorum* и *B. cryptarum* на территории региона [11, 12]. Преимущество данного метода заключается в его экономичности (не требуется проведение секвенирование ДНК).

Цель настоящей работы – идентификация видов *Bombus lucorum-complex* и *B. terrestris* на территории Пензенской области с использованием метода ПДРФ-анализа.

### Материалы и методы

Из 18 образцов шмелей, собранных в Пензенской области и находящихся в коллекции Педагогического института им. В. Г. Белинского Пензенского государственного университета, методом ПДРФ-анализа изучено 10 экземпляров (табл. 1). Подробное описание данного метода представлено в ранее опубликованных исследованиях [11].

Таблица 1

Список экземпляров *Bombus lucorum-complex* и *B. terrestris* из Пензенской области, идентифицированных с помощью ПДРФ-анализа

| Вид                     | Место сбора                                            | Каста | Координаты       | Дата сбора   | Коллектор           |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|-------|------------------|--------------|---------------------|
| 1                       | 2                                                      | 3     | 4                | 5            | 6                   |
| 1. <i>B. terrestris</i> | Каменский р-н, с. Новая Есинеевка, огород              | ♀     | 53.2240, 43.8255 | 02.V.2002    | О. А. Полумордвинов |
| 2. <i>B. terrestris</i> | Каменский р-н, с. Новая Есинеевка, луг                 | ♂     | 53.2240, 43.8255 | 17.VIII.2002 | О. А. Полумордвинов |
| 3. <i>B. terrestris</i> | Колышлейский р-н, ГПЗ «Островцовская лесостепь», степь | ♀     | 52.8271 44.4289  | 16.V.2012    | Т. В. Добролюбова   |
| 4. <i>B. terrestris</i> | г. Пенза, мкр. Победа, луг в лесу                      | ♀     | 53.2519, 45.1074 | 20.V.1975    | Р. К. Бояров        |
| 5. <i>B. terrestris</i> | г. Никольск, цветник                                   | ♀     | 53.7202, 46.0888 | 21.V.2014    | Н. Е. Добролюбов    |
| 6. <i>B. cryptarum</i>  | г. Пенза, мкр. Западная Поляна, лес                    | ♀     | 53.1874, 44.9790 | 10.V.1974    | Р. К. Бояров        |
| 7. <i>B. cryptarum</i>  | Пензенский р-н, с. Большая Елань, остепненный овраг    | ♀     | 53.0781, 44.6986 | 27.VII.2003  | Т. Г. Стойко        |

Окончание табл. 1

| 1                      | 2                                                               | 3 | 4                | 5            | 6                   |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------|---|------------------|--------------|---------------------|
| 8. <i>B. cryptarum</i> | Неверкинский р-н, ГПЗ «Кунчеровская лесостепь», степь           | ♀ | 52.8373, 46.3231 | 29.V.2013    | Т. В. Добролюбова   |
| 9. <i>B. lucorum</i>   | Кузнецкий р-н, р. Белая, урочище «Шалкеев Кордон», торфяной луг | ♀ | 52.9743, 46.8625 | 23.VIII.2005 | Е. А. Заикина       |
| 10. <i>B. lucorum</i>  | Кузнецкий р-н, р. Белая, урочище «Шалкеев кордон», луг в лесу   | ♂ | 52.9743, 46.8625 | 07.VIII.2024 | О. А. Полумордвинов |

### Результаты

В ходе проведения исследования на территории Пензенской области подтверждено наличие *B. terrestris*, *B. cryptarum* и *B. lucorum*. В связи с тем, что при идентификации экземпляров шмелей использовался метод генетической диагностики (ПДРФ-анализ), в коллекции появились эталонные образцы этих видов. Несмотря на то, что исследовано ограниченное число экземпляров шмелей (10), можно предварительно рассмотреть их биотопическую приуроченность на территории Пензенской области. *B. terrestris* распространен в регионе достаточно широко (от Каменского до Никольского р-ов) и в различных типах биотопов: на лугах, в лесу, в степи и в населенных пунктах (рис. 1, табл. 1). *B. cryptarum* отмечен в лесу, на остепненных склонах оврага и на степном участке заповедника «Приволжская лесостепь». *B. lucorum* найден на востоке области в Кузнецком р-не в пойме р. Белая, на лугу и в смешанном лесу (урочище «Шалкеев кордон»).

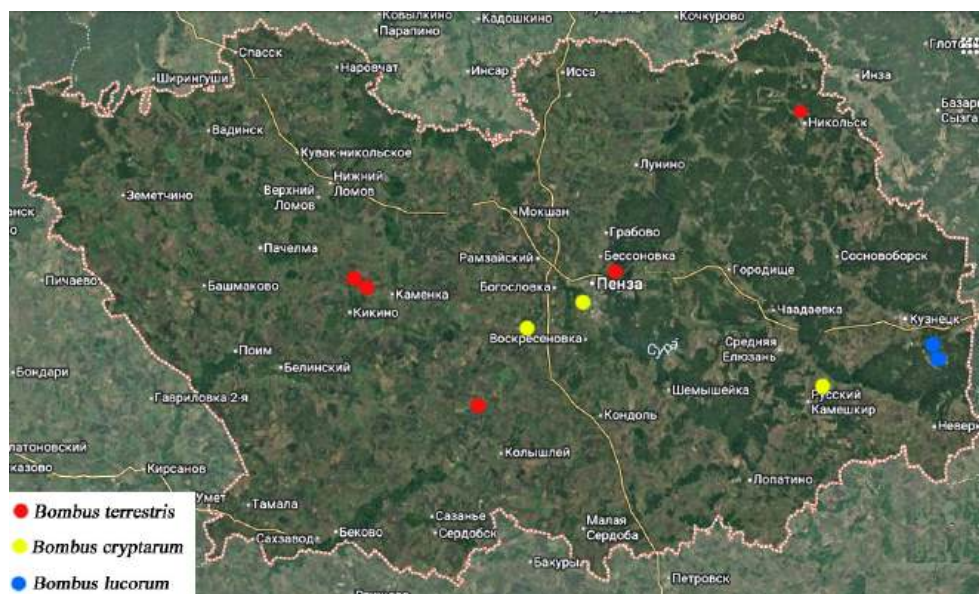


Рис. 1. Карта Пензенской области. Красными точками обозначены находки *Bombus terrestris*, желтыми – *B. cryptarum*, голубыми – *B. lucorum*

На рис. 2 показаны морфологические признаки эталонных по результатам генетического анализа экземпляров *B. terrestris*, *B. cryptarum* и *B. lucorum* – оттенки и выраженность желтых волосков на передней части спинки и втором тергите, а также характер шагреневости центральной части заднего края второго тергита. У *B. terrestris* (рис. 2, 1–5) волоски на передней части спинки яично-желтые, темнее, чем у двух других видов, а у некоторых особей почти исчезают. Второй тергит в центрально-апикальной области гладкий и блестящий. Кутикула нечерепитчатая или очень слабо выражена черепитчатая. У *B. cryptarum* (рис. 2, 6–8) на передней части спинки полоска светло-желтых волосков широкая. Центрально-апикальная область второго тергита с густой пунктировкой и четко выраженными краями, поскольку обрамлена сильно черепитчатой и матовой кутикулой. У *B. lucorum* второй тергит в центрально-апикальной области с мелкими, неглубокими и редко расположенными точками, кутикула слегка черепитчатая и матовая, покрыта штриховкой.



Рис. 2. Внешний вид шмелей (вид сбоку) и центральная часть заднего края второго тергита брюшка: *Bombus terrestris* (1–5); *B. cryptarum* (6–8) и *B. lucorum* (9–10)

### Заключение

В результате проведенного генетического анализа подтверждено обитание в Пензенской области шмелей трех видов – *B. terrestris*, *B. cryptarum* и *B. lucorum*. Описанные морфологические признаки эталонных по результатам генетического анализа экземпляров могут быть использованы при идентификации вновь изучаемых шмелей в коллекции и по результатам натурных исследований.

### Список литературы

1. Scriven J. J., Woodall L. C., Tinsley M. C. [et al.]. Revealing the hidden niches of cryptic bumblebees in Great Britain: Implications for conservation // Biological Conservation. 2015. Vol. 182. P. 126–133. doi: 10.1016/j.biocon.2014.11.027
2. Rasmont P., Ghisbain G., Terzo M. Hymenoptera of Europe 3. Bumblebees of Europe and neighbouring regions. Verrières-le-Buisson : N.A.P Editions, 2021. 631 p.
3. Bossert S. Recognition and identification of species in the *Bombus lucorum*-complex – A review and outlook // Deutsche Entomologische Zeitschrift. 2015. Vol. 62, № 1. P. 19–28. doi: 10.3897/dez.62.9000
4. Pamilo P., Tengö J., Rasmont P. [et al.]. Pheromonal and enzyme genetic characteristics of the *Bombus lucorum* species complex in Northern Europe // Entomologica Fennica. 1997. Vol. 7. P. 187–194.

5. Murray T. E., Fitzpatrick Ú., Brown M. J. F., Paxton R. J. Cryptic species diversity in a widespread bumble bee complex revealed using mitochondrial DNA RFLPs // *Conservation Genetics*. 2008. Vol. 9. P. 653–666. doi: 10.1007/s10592-007-9394-z
6. Ефремова З. А. Шмели Поволжья : учеб. пособие к спецкурсу. Ульяновск : УГПИ им. И. Н. Ульянова, 1991. 92 с.
7. Стойко Т. Г., Аникин С. Н. Коллекция шмелей и шмелей-кукушек (*Bombus*, *Psithyrus*) кафедры зоологии и экологии Пензенского педагогического университета / Фауна и экология животных : межвуз. сб. науч. тр. Пенза : Пенз. гос. пед. ин-т им. В. Г. Белинского, 2002. Вып. 3. С. 48–51.
8. Шибаев С. В., Полумордвинов О. А. Обзор фауны перепончатокрылых (Insecta, Hymenoptera) Пензенской области // *Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского*. 2012. № 29. С. 274–279.
9. Добролюбова Т. В. Шмели (Hymenoptera: Apidae, Bombini) Пензенской области и роль Государственного заповедника «Приволжская лесостепь» в их охране // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2015. № 2. С. 42–54.
10. Левченко Т. В. Материалы по фауне пчел (Hymenoptera: Apoidea) Московской области. 3. Семейство Apidae. Род *Bombus* Latreille, 1802 // Эверсманния. Энтомологические исследования в России и соседних регионах. 2012. Вып. 31–32. С. 72–88.
11. Bovykina G. V., Potapov G. S., Kolosova Yu. S., Kondakov A. V. RCR-RFLP approach for identification of cryptic species of *Bombus lucorum*-complex in Northern European Russia // *Ecologica Montenegrina*. 2024. Vol. 77. P. 132–145. doi: 10.37828/em.2024.77.14
12. Bovykina G. V., Potapov G. S., Kolosova Yu. S., Kondakov A. V. The distribution of cryptic species of the *Bombus lucorum*-complex in Russian Eastern Fennoscandia // *Ecologica Montenegrina*. 2025. Vol. 83. P. 166–174. doi: 10.37828/em.2025.83.17

## References

1. Scriven J.J., Woodall L.C., Tinsley M.C. et al. Revealing the hidden niches of cryptic bumblebees in Great Britain: Implications for conservation. *Biological Conservation*. 2015;182:126–133. doi: 10.1016/j.biocon.2014.11.027
2. Rasmont P., Ghisbain G., Terzo M. *Hymenoptera of Europe 3. Bumblebees of Europe and neighbouring regions*. Verrières-le-Buisson: N.A.P Editions, 2021:631.
3. Bossert S. Recognition and identification of species in the *Bombus lucorum*-complex – A review and outlook. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*. 2015;62(1):19–28. doi: 10.3897/dez.62.9000
4. Pamilo P., Tengö J., Rasmont P. et al. Pheromonal and enzyme genetic characteristics of the *Bombus lucorum* species complex in Northern Europe. *Entomologica Fennica*. 1997;7:187–194.
5. Murray T.E., Fitzpatrick Ú., Brown M.J.F., Paxton R.J. Cryptic species diversity in a widespread bumble bee complex revealed using mitochondrial DNA RFLPs. *Conservation Genetics*. 2008;9:653–666. doi: 10.1007/s10592-007-9394-z
6. Efremova Z.A. *Shmeli Povolzh'ya: ucheb. posobie k spetskursu* = Bumblebees of the Volga region: textbook. manual for the special course. Ul'yanovsk: UGPI im. I.N. Ul'yanova, 1991:92. (In Russ.)
7. Stoyko T.G., Anikin S.N. *Kollektsiya shmeley i shmeley-kukushek (Bombus, Psithyrus) kafedry zoologii i ekologii Penzenskogo pedagogicheskogo universiteta / Fauna i ekologiya zhivotnykh: mezhvuz. sb. nauch. tr.* = Collection of bumblebees and cuckoo bumblebees (*Bombus*, *Psitnorus*) of the Department of Zoology and Ecology of Penza Pedagogical University/ Fauna and ecology of animals: intercollegiate proceedings. Penza: Penz. gos. ped. in-t im. V.G. Belinskogo, 2002;(3):48–51. (In Russ.)
8. Shibaev S.V., Polumordvinov O.A. Review of the Hymenoptera Fauna (Insecta, Hymenoptera) of Penza region. *Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo* = Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinskiy. 2012;(29):274–279. (In Russ.)

9. Dobrolyubova T.V. Bumblebees (Hymenoptera: Apidae, Bombini) of Penza region and the role of the State Nature Reserve “Privolzhskaya Lesostep” in their protection. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2015;(2):42–54. (In Russ.)
10. Levchenko T.V. Materials on the fauna of bees (Hymenoptera: Apoidea) of Moscow region. 3. Apidae. Class *Bombus* Latreille, 1802. *Eversmanniya. Entomologicheskie issledovaniya v Rossii i sosednikh regionakh* = Eversmannia. Entomological research in Russia and neighboring regions. 2012;(31–32):72–88. (In Russ.)
11. Bovykina G.V., Potapov G.S., Kolosova Yu.S., Kondakov A.V. RCR-RFLP approach for identification of cryptic species of *Bombus lucorum*-complex in Northern European Russia. *Ecologica Montenegrina*. 2024;77:132–145. doi: 10.37828/em.2024.77.14
12. Bovykina G.V., Potapov G.S., Kolosova Yu.S., Kondakov A.V. The distribution of cryptic species of the *Bombus lucorum*-complex in Russian Eastern Fennoscandia. *Ecologica Montenegrina*. 2025;83:166–174. doi: 10.37828/em.2025.83.17

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Григорий Сергеевич Потапов

кандидат биологических наук,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории экологии популяций  
и сообществ,  
Федеральный исследовательский центр  
комплексного изучения Арктики имени  
академика Н. П. Лаверова УрО РАН  
(Россия, г. Архангельск,  
пр-т Никольский, 20)  
E-mail: grigoriy-potapov@yandex.ru

#### Grigory S. Potapov

Candidate of biological sciences,  
leading researcher of the laboratory  
of ecology of populations  
and communities,  
N. Laverov Federal Center for Integrated  
Arctic Research of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
(20 Nikolskiy avenue, Arkhangelsk,  
Russia)

#### Галина Владимировна Бовыкина

младший научный сотрудник,  
Федеральный исследовательский центр  
комплексного изучения Арктики имени  
академика Н. П. Лаверова УрО РАН  
(Россия, г. Архангельск,  
пр-т Никольский, 20)  
E-mail: galka.bovickina@gmail.com

#### Galina V. Bovykina

Junior researcher,  
N. Laverov Federal Center for Integrated  
Arctic Research of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
(20 Nikolskiy avenue, Arkhangelsk,  
Russia)

#### Олег Александрович Полумордвинов

старший лаборант, лектор музея,  
кафедра зоологии и экологии,  
Пензенский государственный  
университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: entomol-penza@yandex.ru

#### Oleg A. Polumordvinov

Senior laboratory assistant,  
museum lecturer,  
sub-department of zoology and ecology,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### Тамара Григорьевна Стойко

кандидат биологических наук, доцент,  
доцент кафедры зоологии и экологии,  
Пензенский государственный  
университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: tgstojko@mail.ru

#### Tamara G. Stojko

Candidate of biological sciences,  
associate professor, associate professor  
of the sub-department of zoology  
and ecology,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 05.04.2025**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 28.04.2025**

**Принята к публикации / Accepted 07.05.2025**

УДК 597.551.2

doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-2

## Морфологическая характеристика леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) Пензенского (Сурского) водохранилища

А. Ю. Асанов

Приволжский научный центр аквакультуры и водных биоресурсов,  
Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

kfvniro-as@list.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Биология леща и ряда других основных промысловых рыб Пензенского (Сурского) водохранилища достаточно хорошо изучена. Исключение составляет описание морфологических признаков рыб, для исследования которых требуется определенный объем выборки, который достаточно сложно набрать при отсутствии промыслового лова. Целью данной работы является с помощью методики фотодокументации описать морфометрию леща Пензенского водохранилища и уточнить его место среди других популяций леща на территории страны. *Материалы и методы.* Использовался способ фотодокументации, адаптированный непосредственно для работы с лещом. Отбор материала проводился из сетных уловов на Пензенском водохранилище с 01.09.2023 по 01.04.2025. Использована выборка в размере 30 экз. с длиной тела 21,5–49,0 см. Фотодокументация выполнялась фотоаппаратами Canon Power Shot A3100 IS и Nikon COOLPIX A. Промеры производились линейкой на распечатанных изображениях в формате A4 с целью их перепроверки, малочисленные промеры на голове рыбы – в программе Image J на экране компьютера. Подсчет количества лучей в плавниках и чешуек в боковой линии производился на экране компьютера. Материал обрабатывали по традиционным методикам с учетом требований к промерам морфологических признаков для карповых рыб. *Результаты.* Формула плавников леща Пензенского водохранилища – D III 9 (7–10), A III 25 (24–27). Глоточные зубы однорядные – 5–5, 5–6. Количество позвонков с уростилем – 44–45 (ср. 44,8). Количество жаберных тычинок – 21–26 (ср. 23,3). Отмечается высокий коэффициент вариации признаков по наибольшей высоте анального плавника, расстоянию между брюшным и анальным плавником, длиной рыла и диаметром глаза. Из 25 пластических признаков у самцов и самок леща обнаружены достоверные различия по четырем. В сравнении с популяциями из р. Оки, р. Припяти и оз. Ильмень лещ Пензенского водохранилища отличается наибольшей высотой тела, коротким постдорсальным расстоянием, длинным основанием анального плавника, большим расстоянием между грудным и брюшными плавниками, меньшим между брюшным и анальным плавниками, коротким рылом, длинным заглазничным отделом головы, узким лбом. *Выводы.* Представлена морфологическая характеристика леща Пензенского водохранилища. По традиционной классификации популяция занимает промежуточное положение между типичным лещом (Балтийского бассейна) и восточным лещом (бассейна Каспийского моря). По более поздней систематизации леща Пензенского водохранилища можно отнести к центральной географической группе популяций и к средневожской группировке.

**Ключевые слова:** лещ, Пензенское (Сурское) водохранилище, морфология, морфометрия, меристические и пластические особенности, фотодокументация

**Для цитирования:** Асанов А. Ю. Морфологическая характеристика леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) Пензенского (Сурского) водохранилища // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 11–20. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-2

## Morphological characteristics of bream *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) of the Penza (Sura) reservoir

A.Yu. Asanov

Volga Research Center of aquaculture and aquatic Bioresources,  
Penza State Agricultural University, Penza, Russia

kfvniro-as@list.ru

**Abstract.** *Background.* The biology of bream and a number of other main commercial fish of the Penza (Sura) Reservoir has been studied quite well. The exception is the description of the morphological features of fish, the study of which requires a certain amount of fresh field material, which is quite difficult to collect in the absence of commercial fishing. The purpose of this work is to begin filling the gap in ichthyological studies of the region using the methodology we propose – to describe the morphometry of the bream of the Penza Reservoir and clarify its place among other bream populations in the country. *Materials and methods.* To collect the material, we used a modern method of photo documentation adapted by us directly for working with bream. The selection of material was carried out from net catches on the Penza Reservoir from 09/01/2023 to 04/01/25. A sample of 30 specimens with a body length of 21.5–49.0 cm was used for the article. Photo documentation was carried out with Canon Power Shot A3100 IS and Nikon COOLPIX A cameras. Measurements on the fish body were made with a ruler on printed images in A4 format for the purpose of double-checking them, a small number of measurements on the fish head were made in the Image J program on the computer screen. The number of rays in the fins and scales in the lateral line was counted on the computer screen. The material was processed using traditional methods, taking into account the requirements for measurements of morphological features for carp fish. *Results.* The fin formula of the bream from the Penza Reservoir is D III 9 (7–10), A III 25 (24–27)). Single-row pharyngeal teeth – 5–5, 5–6. The number of vertebrae with urostyle is 44–45 (cf. 44.8). The number of gill rakers is 21–26 (cf. 23.3). A high coefficient of variation of the characters is noted for the greatest height of the anal fin, the distance between the ventral and anal fins, the snout length and the eye diameter. Of the 25 plastic characters in males and females of bream, reliable differences were found in four. For two characters: the height of the anal fin, the distance between the pectoral and ventral fins, the differences had a high significance level of -0.01, the t-criterion, respectively, was -3.4 and 3.9. In comparison with the populations from the Oka, the Pripyat and Lake Ilmen bream of the Penza Reservoir is distinguished by the greatest body depth, short postdorsal distance, long base of the anal fin, large distance between the pectoral and pelvic fins, smaller distance between the pelvic and anal fins, short snout, long postorbital part of the head, narrow forehead. This is due to the small size of the Penza Reservoir with no current and low degree of siltation. *Conclusions.* The morphological characteristics of the Penza Reservoir bream are presented. According to the traditional classification, it occupies an intermediate position between the typical bream (of the Baltic basin) and the eastern bream (of the Caspian Sea basin). According to Yu. G. Izyumov (1987), the Penza Reservoir bream can be attributed to the central geographic group of populations. According to A. V. Kozhara and A. N. Mironovsky (1988), to the Middle Volga group.

**Keywords:** bream, Penza (Sura) reservoir, morphology, morphometry, meristic and plastic features, photo documentation

**For citation:** Asanov A.Yu. Morphological characteristics of bream *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) of the Penza (Sura) reservoir. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(1):11–20. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-2

Изучение популяций рыб в естественных водоемах традиционно начинают с описания морфологических особенностей их особей, включающих меристические и пластические признаки [1, 2]. Во многих регионах с развитым промышленным ловом накоплены большие базы данных по морфометрии рыб [3, 4]. По рыбам Пензенской области, где отсутствует официальный рыбный промысел, подобных исследований не проводилось, что обусловлено практической сложностью отбора репрезентативного объема материала и достаточно кропотливой и длительной работой с ним. Как исключение, можно отметить локальные исследования по выюну *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758), пробные промеры единичных экземпляров леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) и плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) [5–7].

Биология основных видов рыб Пензенского (Сурского) водохранилища достаточно изучена [8]. Но без данных по морфометрии она не является полноценной и не показывает место данных популяций в распределении видов на территории страны. Активное развитие прудовой и пастбищной аквакультуры в Пензенской области также требует знаний по морфометрии культивируемых видов рыб, так как для товарного выращивания рыбопитомниками страны предлагается более 30 объектов рыбоводства, включая различные породы карпа и их гибридов, ряд кроссов и одомашненных форм, каждая из которых характеризуется диагностическими признаками, включающими и экстерьерные показатели – меристические и пластические признаки [9]. Целью данной работы является с помощью методики фотодокументации приступить к заполнению пробела в ихтиологических исследованиях региона – описать морфометрию леща Пензенского водохранилища и уточнить его место среди других популяций леща на территории страны.

### Материалы и методы

По традиционной методике исследования рыбы на морфометрию проводятся на свежем материале штангенциркулем и линейкой [10]. Для этого необходимо получить в полное распоряжение анализируемую рыбу определенных размеров, иметь минимальные бытовые и значительные временные условия для промеров и расчетов с последующей ее утилизацией. Замороженный и зафиксированный материал требует специальных мест хранения и не является достоверным, по мнению ряда авторов [3]. На практике, в условиях отсутствия разрешения на вылов рыбы и при исследовании малочисленных популяций задача трудно выполнима. Кроме того, изучение морфометрии рыб – скрупулезный процесс и проведение промеров от случая к случаю может приводить к системным ошибкам, которые невозможно перепроверить.

В Пензенской области отсутствует промысловый лов, и, как правило, используемая для анализа рыба, если нет возможности ее приобрести, предоставляется на очень короткий промежуток времени с условием недопущения потери ее товарного вида. В данном случае путем проведения качественной фотосъемки, появляется возможность накопить репрезентативный материал и с высокой степенью достоверности его обработать. Данная методика все активнее используется в отношении сиговых рыб [4]. Проведенные автором сравнительные промеры леща на свежем материале и по фотографии позволили наработать методический опыт по изучению морфологии ряда карповых рыб через фотодокументацию.

В нашем случае отбор леща на морфологию из Пензенского (Сурского) водохранилища производили в период с 01.09.2023 по 01.04.2025 из уловов сетными орудиями лова. Фотосъемку выполняли фотоаппаратами Canon Power Shot A3100 IS и Nikon COOLPIX A. Производили несколько снимков каждого экземпляра, расположенного на двойном упаковочном картоне с расправленными плавниками, закрепленными булавками: строго по центру леща, отдельно головы, спинного и анального плавников, туловища. Кроме стандартных измерений абсолютной длины рыбы и длины тела (от кончика рыла до конца чешуйчатого покрова) измеряли ширина лба. Фотографии переводили на компьютер и обрабатывали в Microsoft Office 2010, добиваясь оптимального изображения. Для проведения замеров в программе Image J с высокой точностью требуется большой экран компьютера и многократная проверка промеров. Поэтому, учитывая небольшой объем материала, промеры производили линейкой на распечатанных изображениях в формате A4, на которых представляли метки границ измерений. Расчет вели от длины тела рыбы на изображении. Промеры головы, подсчет количества лучей в плавниках и чешуек в боковой линии удобнее было производить на экране компьютера, регулируя изображение по размеру, свету и контрасту. Промеры на распечатанных изображениях многократно проверяли.

На фотографиях свежих ярко-красных жаберных лепестков леща часть мелких жаберных тычинок просматривается плохо, поэтому жаберные лепестки целесообразно сохранять в отдельных «жаберных» книжках.

Обработку материала проводили по традиционным методикам с учетом схемы промеров морфологических признаков для карповых рыб и замечаний современных авторов [3, 4, 10, 11]. Для обработки статистического материала использовали программу Microsoft Excel. Рассчитывали  $M$  – среднее арифметическое,  $m$  – ошибку средней,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение,  $CV$  – коэффициент вариации.

### Результаты и обсуждение

Для данной статьи использован материал по 30 экз. леща с длиной тела – 21,5–49,0 см (табл. 1). Из них: 21,5–30,0 см – 12 экз., 30,1–40,0 – 12 экз., 40,1–49,0 – 6 экз. Масса рыб – 223–2867 г, возраст – 4+–13+ лет. Формула плавников (30 экз.) – D III 9 (7–10), A III 25 (24–27) (табл. 1). Глоточные зубы однорядные (5 экз.) – 5–5, 5–6. Количество позвонков с уростилем (5 экз.) – 44–45 (ср. 44,8). Количество жаберных тычинок (7 экз.) – 21–26 (ср. 23,3). Стандартные для карповых рыб меристические и пластические признаки леща представлены в табл. 1.

Здесь необходимо отметить, что коэффициент вариации морфологических признаков леща со значениями более 10 отмечается по наибольшей высоте анального плавника, расстоянию между брюшным и анальным плавником, длине рыла и диаметру глаза.

Для выявления полового диморфизма у леща Пензенского (Сурского) водохранилища были вычислены морфологические признаки отдельно для самцов (11 экз.) и самок (9 экз.) (табл. 2). Достоверность отличий оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента.

Таблица 1

## Морфологические признаки леща Пензенского (Сурского) водохранилища

| Признаки                                                | Min-max   | <i>M</i> | <i>m</i> | $\sigma$ | <i>CV</i> |
|---------------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| Абсолютная длина рыбы, см – <i>ab</i>                   | 27,0–57,5 | 40,5     | 1,48     | 8,11     | 20,02     |
| Длина тела, см – <i>ad</i>                              | 21,5–49,0 | 32,8     | 1,30     | 7,13     | 21,73     |
| Масса тела, г – <i>Q</i>                                | 223–2867  | 976      | 123      | 677      | 69        |
| Меристические признаки                                  |           |          |          |          |           |
| Число ветвистых лучей в <i>D</i> (спинной плавник)      | 7–10      | 9,0      | 0,09     | 0,51     | 5,66      |
| Число ветвистых лучей в <i>A</i> (анальный плавник)     | 24–27     | 24,9     | 0,18     | 0,98     | 3,92      |
| Число чешуй в боковой линии – <i>L.l.</i>               | 51–56     | 54,3     | 0,22     | 1,20     | 2,21      |
| Пластические признаки:<br>в процентах от длины тела     |           |          |          |          |           |
| Длина туловища – <i>od</i>                              | 75,1–80,9 | 78,2     | 0,24     | 1,29     | 1,64      |
| Наибольшая высота тела – <i>gh</i>                      | 37,2–44,8 | 41,5     | 0,35     | 1,90     | 4,57      |
| Наименьшая высота тела – <i>lk</i>                      | 9,2–11,7  | 10,8     | 0,11     | 0,60     | 5,57      |
| Антедорсальное расстояние – <i>ag</i>                   | 57,9–63,2 | 59,9     | 0,21     | 1,17     | 1,95      |
| Постдорсальное расстояние – <i>rd</i>                   | 30,4–34,9 | 32,4     | 0,22     | 1,23     | 3,80      |
| Длина хвостового стебля – <i>fd</i>                     | 11,0–14,3 | 12,5     | 0,15     | 0,82     | 6,55      |
| Длина основания <i>D</i> – <i>gs</i> (спинной плавник)  | 12,2–16,0 | 13,6     | 0,15     | 0,83     | 6,09      |
| Наибольшая высота <i>D</i> – <i>tu</i>                  | 18,9–26,2 | 23,2     | 0,36     | 1,97     | 8,47      |
| Длина основания <i>A</i> – <i>уу</i> (анальный плавник) | 25,4–32,5 | 30,0     | 0,28     | 1,51     | 5,02      |
| Наибольшая высота <i>A</i> – <i>ej</i>                  | 14,6–21,9 | 18,3     | 0,34     | 1,89     | 10,35     |
| Длина <i>P</i> – <i>vx</i> (грудной плавник)            | 20,2–23,8 | 22,0     | 0,18     | 1,00     | 4,55      |
| Длина <i>V</i> – <i>zz</i> (брюшной плавник)            | 15,0–19,4 | 17,2     | 0,19     | 1,05     | 6,10      |
| Расстояние между <i>P</i> и <i>V</i> – <i>vz</i>        | 22,2–28,8 | 25,2     | 0,31     | 1,69     | 6,69      |
| Расстояние между <i>V</i> и <i>A</i> – <i>zy</i>        | 14,8–22,1 | 19,1     | 0,37     | 2,05     | 10,70     |
| в процентах от длины тела                               |           |          |          |          |           |
| Длина головы – <i>ao</i>                                | 19,8–24,8 | 22,3     | 0,22     | 1,22     | 5,48      |
| Длина рыла – <i>an</i>                                  | 3,6–5,3   | 5,3      | 0,11     | 0,62     | 11,78     |
| Диаметр глаза – <i>np</i>                               | 3,7–4,8   | 4,8      | 0,10     | 0,54     | 11,22     |
| Заглазничный отдел головы – <i>po</i>                   | 9,6–11,8  | 11,8     | 0,14     | 0,75     | 6,37      |
| Высота головы у затылка – <i>lm</i>                     | 17,4–20,9 | 20,9     | 0,23     | 1,27     | 6,06      |
| Ширина лба – <i>io</i>                                  | 7,1–8,0   | 8,0      | 0,10     | 0,52     | 6,53      |
| в процентах от длины головы                             |           |          |          |          |           |
| Длина рыла – <i>an</i>                                  | 17,0–23,4 | 23,4     | 0,46     | 2,50     | 10,69     |
| Диаметр глаза – <i>np</i>                               | 17,0–21,4 | 21,4     | 0,40     | 2,21     | 10,34     |
| Заглазничный отдел головы – <i>po</i>                   | 48,0–53,5 | 53,5     | 0,54     | 2,98     | 5,57      |
| Высота головы у затылка – <i>lm</i>                     | 85,0–92,3 | 92,3     | 0,77     | 4,22     | 4,57      |
| Ширина лба – <i>io</i>                                  | 31,3–35,7 | 35,7     | 0,51     | 2,56     | 7,17      |

Из 25 пластических признаков у самцов и самок были обнаружены достоверные различия по четырем. По двум признакам: высоте анального плавника и расстоянию между грудным и брюшным плавником, различия имели высокий уровень значимости ( $p = 0,01$ ). По двум другим признакам: высоте спинного плавника и расстоянию между брюшным и анальным плавником имели уровень значимости  $p = 0,05$ . Таким образом, самцы леща Пензенского водохранилища отличаются от самок более высокими анальным и спинным плавниками, большим расстоянием между грудным и брюшным, брюшным и анальным плавниками.

Таблица 2

Морфологические признаки самцов и самок леща  
Пензенского (Сурского) водохранилища

| Признаки*                   | Пензенское (Сурское)вдхр. |                 |       |           |                 |       |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------|-------|-----------|-----------------|-------|
|                             | самцы                     |                 |       | самки     |                 |       |
|                             | Min–max                   | $M \pm m$       | $CV$  | Min–max   | $M \pm m$       | $CV$  |
| <i>ab</i> , см              | 31–53                     | $40,7 \pm 1,84$ | 15,01 | 35–56     | $44,7 \pm 2,10$ | 14,11 |
| <i>ad</i> , см              | 25–45                     | $33,2 \pm 1,60$ | 16,02 | 28–46     | $36,4 \pm 1,80$ | 14,82 |
| <i>Q</i> , г                | 321–1968                  | $947 \pm 142$   | 50    | 466–2154  | $1275 \pm 190$  | 45    |
| <i>D</i>                    | 7–10                      | $10,0 \pm 0,24$ | 7,90  | 9         | 9,0             | –     |
| <i>A</i>                    | 24–27                     | $24,6 \pm 0,30$ | 3,98  | 24–26     | $25,2 \pm 0,26$ | 3,13  |
| <i>L.l</i>                  | 53–56                     | $54,5 \pm 0,30$ | 1,82  | 51–56     | $53,8 \pm 0,52$ | 2,88  |
| В процентах от длины тела   |                           |                 |       |           |                 |       |
| <i>od</i>                   | 76,5–80,2                 | $78,6 \pm 0,28$ | 0,36  | 75,1–80,9 | $77,8 \pm 0,51$ | 1,95  |
| <i>gh</i>                   | 39,5–44,8                 | $42,0 \pm 0,44$ | 1,05  | 39,0–44,7 | $42,4 \pm 0,57$ | 4,04  |
| <i>lk</i>                   | 10,1–11,7                 | $11,0 \pm 0,14$ | 1,27  | 9,2–11,2  | $10,5 \pm 0,21$ | 5,99  |
| <i>aq</i>                   | 58,5–61,7                 | $60,2 \pm 0,25$ | 0,42  | 57,9–63,2 | $60,2 \pm 0,52$ | 2,61  |
| <i>rd</i>                   | 31,0–34,6                 | $32,1 \pm 0,31$ | 0,97  | 30,8–33,6 | $32,2 \pm 0,31$ | 2,92  |
| <i>fd</i>                   | 11,4–14,3                 | $12,7 \pm 0,24$ | 1,89  | 11,6–13,2 | $12,3 \pm 0,19$ | 4,62  |
| <i>gs</i>                   | 12,4–17,0                 | $14,3 \pm 0,37$ | 2,59  | 12,5–14,8 | $13,5 \pm 0,23$ | 5,19  |
| <i>tu</i>                   | 20,8–26,2                 | $24,2 \pm 0,45$ | 1,86  | 19,2–25,4 | $22,3 \pm 0,69$ | 9,28  |
| <i>yy<sub>l</sub></i>       | 28,6–32,5                 | $30,1 \pm 0,39$ | 1,30  | 28,8–31,7 | $29,6 \pm 0,62$ | 6,25  |
| <i>ej</i>                   | 16,0–21,9                 | $19,1 \pm 0,48$ | 2,51  | 14,8–19,3 | $16,8 \pm 0,41$ | 6,28  |
| <i>vx</i>                   | 20,2–23,8                 | $21,8 \pm 0,31$ | 1,42  | 20,4–23,6 | $21,8 \pm 0,38$ | 5,22  |
| <i>zz<sub>l</sub></i>       | 16,0–19,4                 | $17,8 \pm 0,30$ | 1,69  | 16,2–17,9 | $16,9 \pm 0,17$ | 2,96  |
| <i>vz</i>                   | 22,9–27,1                 | $24,7 \pm 0,39$ | 1,58  | 24,7–28,8 | $27,0 \pm 0,37$ | 4,08  |
| <i>zy</i>                   | 17,9–22,1                 | $20,3 \pm 0,39$ | 1,92  | 16,1–21,6 | $18,8 \pm 0,56$ | 8,91  |
| В процентах от длины тела   |                           |                 |       |           |                 |       |
| <i>ao</i>                   | 20,8–24,0                 | $22,1 \pm 0,27$ | 1,22  | 20,0–24,5 | $22,4 \pm 0,43$ | 5,70  |
| <i>an</i>                   | 4,5–6,4                   | $5,1 \pm 0,14$  | 9,38  | 4,2–6,3   | $5,4 \pm 0,23$  | 12,85 |
| <i>np</i>                   | 3,7–5,7                   | $5,0 \pm 0,13$  | 12,92 | 4,3–5,4   | $4,9 \pm 0,13$  | 7,94  |
| <i>po</i>                   | 10,8–12,2                 | $11,4 \pm 0,17$ | 3,86  | 10,9–13,5 | $12,2 \pm 0,23$ | 5,73  |
| <i>lm</i>                   | 18,8–22,1                 | $20,9 \pm 0,26$ | 5,20  | 17,4–23,2 | $20,9 \pm 0,57$ | 8,17  |
| <i>io</i>                   | 7,1–8,3                   | $8,0 \pm 0,10$  | 5,58  | 7,6–8,9   | $8,2 \pm 0,16$  | 5,95  |
| В процентах от длины головы |                           |                 |       |           |                 |       |
| <i>an</i>                   | 21,7–29,1                 | $24,1 \pm 1,10$ | 9,92  | 20,7–26,5 | $23,9 \pm 0,70$ | 8,73  |
| <i>np</i>                   | 17,0–24,5                 | $23,3 \pm 0,49$ | 11,55 | 20,0–24,0 | $21,7 \pm 0,41$ | 5,62  |
| <i>po</i>                   | 50,0–56,3                 | $51,8 \pm 1,14$ | 3,43  | 52,0–56,0 | $53,7 \pm 0,42$ | 2,33  |
| <i>lm</i>                   | 85,0–94,6                 | $91,2 \pm 2,25$ | 3,34  | 86,2–96,2 | $91,3 \pm 1,03$ | 3,37  |
| <i>io</i>                   | 32,5–40,0                 | $36,0 \pm 0,79$ | 7,02  | 31,8–41,4 | $36,9 \pm 0,91$ | 7,40  |

\*– обозначения признаков такие же, как и в табл. 1.

В табл. 3 представлены морфологические признаки леща небольших популяций из р. Оки (30 экз.), р. Припяти (30 экз.) и крупной промысловой популяции оз. Ильмень (60 экз.) [12–14]. В сравнении с приведенными показателями лещ Пензенского водохранилища отличается наибольшей высотой тела, коротким постдорсальным расстоянием, длинным основанием анального плавника, большим расстоянием между грудным и брюшными плавниками,

меньшим расстоянием между брюшным и анальным плавниками, коротким рылом, длинным заглазничным отделом головы и узким лбом. В отличие от рек и крупного водоема оз. Ильмень (110 000 га) в целом данные признаки обусловлены отсутствием течения и небольшими размерами «молодого» (с 1978 г.) Пензенского водохранилища (11 000 га) и, соответственно, низкой степенью заиленности.

Таблица 3

Сравнение ряда морфологических признаков  
леща из различных водных объектов

| Признаки*                   | Пензенское водохранилище | Река Ока        | Река Припять      | Озеро Ильмень    |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
|                             | $M \pm m$                | $M \pm m$       | $M \pm m$         | $M \pm m$        |
| <i>ab</i> , см              | $40,5 \pm 1,48$          | $43,1 \pm 1,65$ | —                 | —                |
| <i>ad</i> , см              | $32,8 \pm 1,30$          | $34,0 \pm 1,39$ | $26,61 \pm 11,73$ | 32,9             |
| <i>Q</i> , г                | $976 \pm 123$            | $978 \pm 138$   | —                 | —                |
| <i>D</i>                    | $9,0 \pm 0,09$           | $8,9 \pm 0,03$  | $9,03 \pm 0,03$   | $9,20 \pm 0,05$  |
| <i>A</i>                    | $24,9 \pm 0,18$          | $24,9 \pm 0,32$ | $25,27 \pm 0,18$  | $26,00 \pm 0,11$ |
| <i>L.l</i>                  | $54,3 \pm 0,22$          | $53,8 \pm 0,36$ | $53,47 \pm 0,30$  | $53,20 \pm 0,10$ |
| В процентах от длины тела   |                          |                 |                   |                  |
| <i>od</i>                   | $78,2 \pm 0,24$          | —               | $77,12 \pm 0,39$  | —                |
| <i>gh</i>                   | $41,5 \pm 0,35$          | $39,9 \pm 0,33$ | $38,22 \pm 0,22$  | $39,72 \pm 0,19$ |
| <i>lk</i>                   | $10,8 \pm 0,11$          | $10,8 \pm 0,10$ | $10,82 \pm 0,26$  | $11,29 \pm 0,07$ |
| <i>aq</i>                   | $59,9 \pm 0,21$          | $60,5 \pm 0,41$ | —                 | $59,00 \pm 0,21$ |
| <i>rd</i>                   | $32,4 \pm 0,22$          | $36,2 \pm 0,24$ | —                 | $36,75 \pm 0,20$ |
| <i>fd</i>                   | $12,5 \pm 0,15$          | $14,0 \pm 0,26$ | —                 | $13,20 \pm 0,09$ |
| <i>gs</i>                   | $13,6 \pm 0,15$          | $13,3 \pm 0,15$ | —                 | $13,78 \pm 0,11$ |
| <i>tu</i>                   | $23,2 \pm 0,36$          | $23,9 \pm 0,38$ | —                 | $25,68 \pm 0,22$ |
| <i>yy<sub>1</sub></i>       | $30,0 \pm 0,28$          | $26,8 \pm 0,33$ | —                 | $28,40 \pm 0,20$ |
| <i>ej</i>                   | $18,3 \pm 0,34$          | —               | —                 | $18,57 \pm 0,18$ |
| <i>vx</i>                   | $22,0 \pm 0,18$          | $21,8 \pm 0,24$ | —                 | $20,74 \pm 0,13$ |
| <i>zz<sub>1</sub></i>       | $17,2 \pm 0,19$          | —               | —                 | $17,92 \pm 0,11$ |
| <i>vz</i>                   | $25,2 \pm 0,31$          | $22,3 \pm 0,27$ | —                 | $23,80 \pm 0,14$ |
| <i>zy</i>                   | $19,1 \pm 0,37$          | $21,2 \pm 0,29$ | —                 | $20,97 \pm 0,16$ |
| В процентах от длины тела   |                          |                 |                   |                  |
| <i>ao</i>                   | $22,3 \pm 0,22$          | 24,04           | $24,49 \pm 0,16$  | $22,92 \pm 0,11$ |
| <i>an</i>                   | $5,3 \pm 0,11$           | —               | —                 | $7,68 \pm 0,88$  |
| <i>np</i>                   | $4,8 \pm 0,10$           | —               | —                 | $4,98 \pm 0,06$  |
| <i>po</i>                   | $11,8 \pm 0,14$          | —               | —                 | $11,79 \pm 0,07$ |
| <i>lm</i>                   | $20,9 \pm 0,23$          | —               | —                 | $21,0 \pm 0,13$  |
| <i>io</i>                   | $8,0 \pm 0,10$           | —               | —                 | $9,83 \pm 0,08$  |
| В процентах от длины головы |                          |                 |                   |                  |
| <i>an</i>                   | $23,4 \pm 0,46$          | $31,2 \pm 0,38$ | $28,19 \pm 0,42$  | $33,33 \pm 0,39$ |
| <i>np</i>                   | $21,4 \pm 0,40$          | $20,8 \pm 0,50$ | $21,11 \pm 0,52$  | $21,73 \pm 0,25$ |
| <i>po</i>                   | $53,5 \pm 0,54$          | $51,1 \pm 0,46$ | $51,60 \pm 0,69$  | —                |
| <i>lm</i>                   | $92,3 \pm 0,77$          | $81,2 \pm 1,13$ | —                 | —                |
| <i>io</i>                   | $35,7 \pm 0,51$          | $38,4 \pm 0,36$ | $36,65 \pm 0,54$  | $42,97 \pm 0,38$ |

\*— обозначения признаков такие же, как и в табл. 1.

### Заключение

В сравнении с классическими морфологическими признаками по рассмотренным материалам лещ Пензенского водохранилища занимает промежуточное положение между типичным лещом (Балтийского бассейна) и восточным лещом (бассейна Каспийского моря) [15]. В целом, по мнению ряда современных авторов, различия между обыкновенным и восточным лещом (*Abramis brama orientalis* Berg, 1949) из бассейнов Каспийского и Аральского морей, послужившие основанием для выделения последнего в отдельный подвид, сглажены. Они считают леща видом *A. brama* с ареалом от Азово-Черноморского бассейна до водоемов Сибири, и в роде *Abramis* оставляют только один вид *A. brama*, без подвидов. При этом, по Изюмову [16], леща Пензенского водохранилища можно отнести к центральной географической группе популяций, по Кожару и Мироновскому [17] – к средневожской группировке популяций [2, 16–18].

### Список литературы

1. Асанов А. Ю. Биологические особенности и состояние запасов сазана Юго-Восточного Каспия : дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1992. 257 с.
2. Левашина Н. В. Формирование популяции леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) и промысловое использование его запасов в Волжско-Каспийском бассейне : дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2020. 164 с.
3. Решетников Ю. С., Попова О. А. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности полученных результатов // Труды ВНИРО. 2015. Т. 156. С. 114–131.
4. Мелехин А. В., Бочкарев Н. А., Кашулин Н. А. [и др.]. Фотодокументация морфологических данных у рыб // Вестник Кольского научного центра РАН. 2021. № 1. С. 30–36.
5. Асанов А. Ю. Морфобиологическая характеристика выюна *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) притока реки Пензы (Пензенская область) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 33–42. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-4
6. Даурбеков Д. Р., Асанов А. Ю. Экспертная оценка морфометрии леща *ABRAMIS BRAMA* (L., 1758) Сурского (Пензенского) водохранилища // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Пенза, 2024. С. 251–254.
7. Савостин В. С., Асанов А. Ю. Экспертная оценка морфометрии плотвы *RUTILUS RUTILUS* (L., 1758) пруда Абашевский Спасского района Пензенской области // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Пенза, 2024. С. 248–251.
8. Асанов А. Ю. Водные биологические ресурсы основных рыбохозяйственных водных объектов бассейна рек Суры и Мокши в пределах Пензенской области и Республики Мордовия. Пенза : ПГАУ, 2024. 316 с.
9. Каталог кроссов и одомашненных форм рыб России и СНГ / сост.: А. К. Богерук, Н. Ю. Евтихьева, Ю. И. Илясов. М. : Минсельхоз РФ, 2001. 206 с.
10. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищевая промышленность, 1966. 226 с.
11. Романов В. И., Петлина А. П., Бабкина И. Б. Методы исследования пресноводных рыб Сибири : учеб. пособие. Томск : Томский государственный университет, 2012. 252 с.
12. Иванчев В. П., Иванчева Е. Ю. Круглоротые и рыбы Рязанской области и прилегающих территорий : монография. Рязань : НП «Голос губернии», 2010. 292 с.

13. Лебедев Н. А. Морфометрическая характеристика леща *ABRAMIS BRAMA* (LINNAEUS, 1758) в нижнем течении р. Припяти // Веснік Мазырскагадзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І. П. Шамякіна. 2022. № 1. С. 29–33.
14. Веткасов С. А. Морфологическая характеристика леща озера Ильмень // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 1980. Вып. 125. С. 26–36.
15. Берг А. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран, часть 2. М. ; Л. : Изд-ва Академии наук СССР, 1949. С. 469–926.
16. Изюмов Ю. Г. Отбор по полигемным признакам и популяционная структура у леща // Сборник научных трудов ГосНИОРХа. 1987. № 261. С. 77–83.
17. Кожара А. В., Мироновский А. Н. Структура вида, изменчивость и некоторые аспекты микрофилогенеза леща // Вопросы ихтиологии. 1988. Т. 28, № 3. С. 383–395.
18. Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России / под ред. Ю. С. Решетникова. М. : Наука, 1998. 218 с.

### References

1. Asanov A.Yu. *Biological characteristics and state of carp stocks in the South-East Caspian*. PhD dissertation. Saint Petersburg, 1992:257. (In Russ.)
2. Levashina N.V. *Formation of the population of the bream Abramisbrama (Linnaeus, 1758) and commercial use of its stocks in the Volga-Caspian basin*. PhD dissertation. Astrakhan', 2020:164. (In Russ.)
3. Reshetnikov Yu.S., Popova O.A. On the methods of field ichthyological research and the accuracy of the results obtained. *Trudy VNIRO* = Proceedings of All-Russian Research Institute of the Educational Services Market. 2015;156:114–131. (In Russ.)
4. Melekhin A.V., Bochkarev N.A., Kashulin N.A. et al. Photo documentation of morphological data in fish. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN* = Bulletin of Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2021;(1):30–36. (In Russ.)
5. Asanov A.Yu. Morphobiological characteristics of the loach *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) of the tributary of the Penza River (Penza region). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2024;(4):33–42. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-4
6. Daurbekov D.R., Asanov A.Yu. Expert assessment of morphometry of bream *ABRAMIS BRAMA* (L., 1758) of the Sura (Penza) reservoir. *Innovatsionnye idei molodykh issledovateley dlya agropromyshlennogo kompleksa: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf.* = Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Penza, 2024:251–254. (In Russ.)
7. Savostin V.S., Asanov A.Yu. Expert assessment of morphometry of roach *RUTILUS RUTILUS* (L., 1758) of the pond Abashevsky Spassk district of Penza region. *Innovatsionnye idei molodykh issledovateley dlya agropromyshlennogo kompleksa: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf.* = Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Penza, 2024:248–251. (In Russ.)
8. Asanov A.Yu. *Vodnye biologicheskie resursy osnovnykh rybokhozyaystvennykh vodnykh ob'ektov basseyna rek Sury i Mokshi v predelakh Penzenskoy oblasti i Respubliki Mordoviya* = Aquatic biological resources of the main fishery water bodies of the Sura and Moksha river basins within Penza region and the Republic of Mordovia. Penza: PGAU, 2024:316. (In Russ.)
9. Bogeruk A.K., Evtikhieva N.Yu., Ilyasov Yu.I. (comp.). *Katalog krossov i odomashennykh form ryb Rossii i SNG* = Catalog of crosses and domesticated forms of fish of Russia and the CIS. Moscow: Minsel'khoz RF, 2001:206. (In Russ.)
10. Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* = Guide for fish studying. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1966:226. (In Russ.)

11. Romanov V.I., Petlina A.P., Babkina I.B. *Metody issledovaniya presnovodnykh ryb Sibiri: ucheb. posobie* = Methods of studying freshwater fish of Siberia: a textbook. Tomsk: Tomskiy gosudarstvennyy universitet, 2012:252. (In Russ.)
12. Ivanchev V.P., Ivancheva E.Yu. *Kruglorotye i ryby Ryazanskoy oblasti i prilezhashchikh territoriy: monografiya* = Cyclostomes and fishes of Ryazan region and adjacent territories: monograph. Ryazan': NP «Golos gubernii», 2010:292. (In Russ.)
13. Lebedev N.A. Morphometric characteristics of bream *ABRAMIS BRAMA* (LINNAEUS, 1758) in the lower reaches of the Pripyat River. *Vesnik Mazyrskagadzyarzhaynaga pedagogichnaga yuniversiteta imya I.P. Shamyakina* = Bulletin of Mozyr State Pedagogical University named after I.P. Shamyakin. 2022;(1):29–33. (In Russ.)
14. Vetkasov S.A. Morphological characteristics of bream of Lake Ilmen. *Sbornik nauchnykh trudov GosNIORKh* = Proceedings of State Research Institute of Lake and River Fisheries. 1980;(125):26–36. (In Russ.)
15. Berg A.S. *Ryby presnykh vod SSSR i sopredel'nykh stran, chast' 2* = Freshwater fishes of the USSR and adjacent countries, part 2. Moscow; Leningrad: Izd-va Akademii nauk SSSR, 1949:469–926. (In Russ.)
16. Izyumov Yu.G. Selection for polygenic traits and population structure in bream. *Sbornik nauchnykh trudov GosNIORKh* = Proceedings of State Research Institute of Lake and River Fisheries. 1987;(261):77–83. (In Russ.)
17. Kozhara A.V., Mironovskiy A.N. Species structure, variability and some aspects of microphylogenesis of bream. *Voprosy ikhtiologii* = Questions of ichthyology. 1988;28(3): 383–395. (In Russ.)
18. Reshetnikov Yu.S. (ed.). *Annotirovannyi katalog kruglorotykh i ryb kontinental'nykh vod Rossii* = Annotated catalog of cyclostomes and fishes of continental waters of Russia. Moscow: Nauka, 1998:218. (In Russ.)

#### Информация об авторах / Information about the authors

**Алик Юсупович Асанов**

кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник,  
Приволжский научный центр  
аквакультуры и водных биоресурсов,  
Пензенский государственный аграрный  
университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая 30)  
E-mail: kfvniro-as@list.ru

**Alik Yu. Asanov**

Candidate of biological sciences,  
senior researcher,  
Volga Research Center of aquaculture  
and aquatic Bioresources,  
Penza State Agricultural University  
(30 Botanicheskaya street, Penza, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /**

**The author declares no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 18.04.2025**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 21.05.2025**

**Принята к публикации / Accepted 28.05.2025**

УДК 574.583

doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-3

## Весенние зоопланктонные сообщества прудов г. Заречный (Пензенская область)

П. Д. Феоктистов<sup>1</sup>, В. А. Сенкевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup>pavel.feoctistov@gmail.com, <sup>2</sup>viktoriya0606@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Городские пруды испытывают огромную рекреационную нагрузку, не получая при этом должного ухода. Зоопланктонные сообщества – хорошие индикаторы состояния гидроэкосистемы. Цель исследования – изучить особенности видовой и пространственной структуры весенних зоопланктонных сообществ, оценить трофический статус и санитарное состояние прудов г. Заречный. *Материалы и методы.* Пробы для исследования зоопланктона отобраны в апреле 2024 г. на городских прудах г. Заречный (Пензенская область). Всего проанализировано 19 проб. Собранный материал обработан по общепринятым в гидробиологии методам. *Результаты.* Обнаружено 90 видов и подвидов зоопланктона (Rotifera – 69, Cladocera – 12, Copepoda – 9). Впервые для Пензенской области отмечены два вида коловраток (*Cephalodella auriculata* и *Trichocerca bicristata*). Высокая доля фитофильных видов свидетельствует о значительной степени зарастания водоемов макрофитами и накоплении органики. Пруды требуют определенной регуляции состояния, на что указывают структурные параметры зоопланктонных сообществ. В первом и втором Лермонтовских прудах дно покрыто толстым слоем ила, вода почти не перемешивается, развиваются застойные процессы. Видовой состав зоопланктонных сообществ немногочислен, доминирует всего один эвтрофный вид веслоногих ракообразных. Два других пруда (третий и четвертый) и пруд Лесной крупнее, с открытыми берегами, в них меньше накапливается листвы и ила, в ветреную погоду происходит перемешивание воды. В водоемах среди доминантов – коловратки (эврибионтный вид *Synchaeta pectinata* и холодолюбивые виды *Polyarthra dolichoptera* и *Keratella irregularis*). *Выводы.* Высокие количественные показатели зоопланктоценозов прудов весной можно объяснить хорошим прогреванием воды (на фоне необыкновенно теплой весны и небольших размеров водоемов) и развитием хорошей кормовой базы зоопланктона. Видовое богатство и пространственная структура зоопланктонного сообщества позволяют классифицировать исследованные пруды как эвтрофные. Рекреационный пруд Лесной требует очистки.

**Ключевые слова:** зоопланктонное сообщество, городские пруды, структурные параметры, качество воды

**Для цитирования:** Феоктистов П. Д., Сенкевич В. А. Весенние зоопланктонные сообщества прудов г. Заречный (Пензенская область) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 21–39. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-3

## Spring zooplankton communities of ponds in Zarechny (Penza region)

P.D. Feoktistov<sup>1</sup>, V.A. Senkevich<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>pavel.feoktistov@gmail.com, <sup>2</sup>viktoriya0606@mail.ru

**Abstract.** *Background.* City ponds experience a huge recreational load, without receiving proper care. Zooplankton communities are good indicators of the state of the hydroecosystem. The purpose of the research is to study the features of the species and spatial structure of spring zooplankton communities, to assess the trophic status and sanitary condition of the ponds of Zarechny. *Material and methods.* Samples for zooplankton research were collected in April 2024 from city ponds in Zarechny (Penza region). A total of 19 samples were analyzed. The collected material was processed using generally accepted methods in hydrobiology. *Results.* 90 species and subspecies of zooplankton were found (Rotifera – 69, Cladocera – 12, Copepoda – 9). For the first time in Penza region, two species of rotifers were noted (*Cephalodella auriculata* and *Trichocerca bicristata*). A high proportion of phytophilic species indicates a significant degree of overgrowing of water bodies with macrophytes and accumulation of organic matter. The ponds require a certain regulation of their state, as indicated by the structural parameters of zooplankton communities. In the first and second Lermontov ponds, the bottom is covered with a thick layer of silt, the water is almost not mixed, stagnant processes develop. The species composition of zooplankton communities is small, dominated by only one eutrophic species of copepods. The other two ponds (the third and fourth) and the Lesnoy pond are larger, with open banks, less foliage and silt accumulates in them, and the water mixes in windy weather. Rotifers (the eurybiont *Synchaeta pectinata* and the cold-loving *Polyarthra dolichoptera* and *Keratella irregularis*) are dominant in the reservoirs. *Conclusions.* High quantitative characteristics of zooplankton communities of ponds in spring can be explained by good warming of water (against the background of unusually warm spring and small sizes of reservoirs) and development of a good food base for zooplankton. Species richness and spatial structure of zooplankton community allow classifying the studied ponds as eutrophic. Recreational pond Lesnoy requires cleaning.

**Keywords:** zooplankton community, city ponds, structural characteristics, water quality

**For citation:** Feoktistov P.D., Senkevich V.A. Spring zooplankton communities of ponds in Zarechny (Penza region). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2025;(1):21–39. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-3

### Введение

Пруд в черте города, как оазис в пустыне, – небольшой кусочек настоящей природы среди каменных джунглей. Именно поэтому такие водоемы всегда испытывают огромную рекреационную нагрузку, позволяя жителям города отдохнуть от городской суеты, восстановить свое физическое и психическое здоровье. При этом горожане, а часто и органы местного самоуправления не следят за состоянием пруда, не чистят берега и дно от ила, засоряют территорию антропогенным мусором и осуществляют несанкционированные сбросы. Зоопланктонные сообщества являются хорошими индикаторами состояния гидроэкосистемы, реагируя даже на незначительные изменения среды. Гидробионты городских прудов всегда привлекают внимание исследователей.

На настоящий момент внушительный список работ посвящен изучению гидробиоценозов городских водоемов, в частности, их зоопланктонных сообществ [1–8]. Однако до сих пор остаются вопросы, и многие городские пруды не исследованы должным образом.

На территории г. Заречный (Пензенская область) располагаются пруды, которые активно используются горожанами в рекреационных целях. В настоящий момент эти водоемы считаются непригодными для отдыха и купания, вода в них не соответствует санитарно-гигиеническим нормам в связи с повышенной эвтрофикацией и наличием патогенных микроорганизмов [9].

Цель исследования – изучить особенности видовой и пространственной структуры весенних зоопланктонных сообществ, оценить трофический статус и санитарное состояние прудов г. Заречный.

### Материал и методы

На территории г. Заречный располагаются каскад Лермонтовских прудов (зона отдыха «Солнечная») и Лесной пруд (зона отдыха «Лесная») [10] (рис. 1). В настоящее время пруды считаются непригодными для отдыха и купания, а вода в них не соответствует санитарно-гигиеническим нормам в связи с повышенной эвтрофикацией и наличием патогенных микроорганизмов [9].



Рис. 1. Расположение Лермонтовских прудов и пруда Лесного на территории г. Заречный

Лермонтовские пруды появились на месте пожарного водохранилища. В 1982–1983 гг. были сооружены плотины и обустроены четыре каскадных пруда общей площадью 30 935 м<sup>2</sup> (табл. 1). Питают их атмосферные осадки и талые воды. К концу летнего сезона часто происходит снижение уровня воды и частичное пересыхание водоемов. В настоящее время водоемы отличаются друг от друга по степени зарастания, загрязненности бытовым мусором и освещенности (рис. 2). Склоны берегов пологие, без резких перепадов высот. Первые два водоема отделены друг от друга и от третьего с четвертым насыпью и сообщаются через сливную трубу. Несмотря на существующий заградительный мост между третьим и четвертым водоемами, их воды сообщаются.

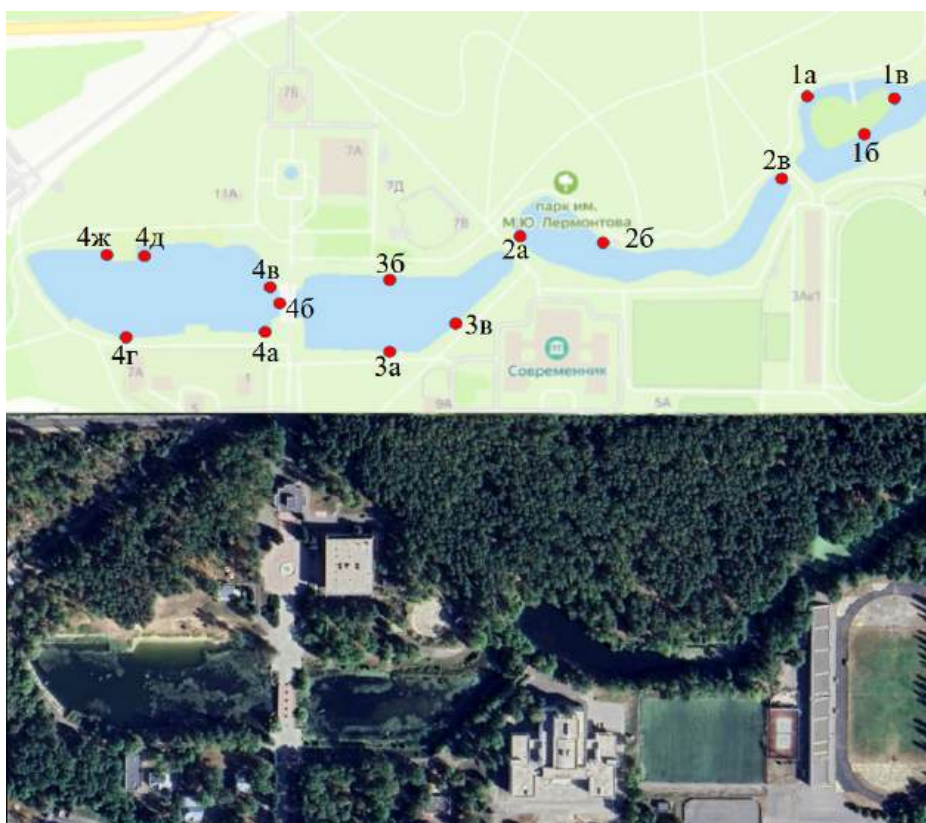


Рис. 2. Расположение станций отбора проб зоопланктона в Лермонтовских прудах (г. Заречный, Пензенская обл.)

Таблица 1

Ландшафтные показатели Лермонтовских прудов и пруда Лесного (г. Заречный, Пензенская обл.)

| Морфометрические показатели                  | Лермонтовские пруды |      |      |        | Лесной пруд |
|----------------------------------------------|---------------------|------|------|--------|-------------|
|                                              | 1                   | 2    | 3    | 4      |             |
| Длина $L$ , м                                | 125                 | 210  | 175  | 200    | 330         |
| Площадь водного зеркала $S$ , м <sup>2</sup> | 3600                | 6100 | 7850 | 11 400 | 41 200      |
| Максимальная ширина, м                       | 14                  | 45   | 60   | 75     | 220         |
| Прозрачность, %                              | 40                  | 55   | 70   | 68     | 60          |

В связи с тем, что первый и второй пруды расположены в зоне смешанного леса, наряду с естественным поступлением в них органики отмирающих прибрежных макрофитов, происходит дополнительное поступление органики в виде листового опада. В результате на дне скапливаются илистые толщины около метра сероводородные отложения. В этих стоячих водоемах, по-видимому, недостаточно кислорода для окисления сероводорода, круговорот веществ замедлен, и накопление ила продолжается. Можно предположить, что в этих водоемах происходит естественное заиливание и заболачивание. Содержание ила на дне и степень зарастания прудов постепенно снижаются к третьему и четвертому водоемам, на территории которых обустроена рекреационная зона. В водоемах обитают утки, земноводные, болотные черепахи.

Первый водоем Лермонтовских прудов имеет округлую форму, в центре которого располагается небольшой остров, который посещают горожане и загрязняют его бытовым мусором (рис. 3). Много погруженной растительности (рогоз *Typha* sp., роголистник *Ceratophyllum* sp.). Дно илистое, с резким запахом сероводорода, вода мутная, ее прозрачность в среднем около 40 %, присутствует большое количество отмершей органики. Уже в апреле поверхность воды по большей части затянута ряской.



Рис. 3. Каскад Лермонтовских прудов (г. Заречный):  
1, 2, 3, 4 – исследуемые водоемы

Второй водоем вытянут в длину с участками, отличающимися по количеству мертвой органики, толщине иловых отложений, степени загрязнения антропогенным мусором. При этом прибрежная растительность развита неравномерно. Она богаче на участке, расположенном ближе к первому пруду, а в средней части водоема уменьшается. По берегам произрастает рогоз *Typha* sp., осока *Carex* sp., тростник *Phragmites* sp., роголистник *Ceratophyllum* sp. Дно песчаное.

Третий и четвертый водоемы очень схожи между собой и свободно сообщаются друг с другом через арку под мостом. Оба пруда имеют почти прямоугольную форму, по берегам произрастает большое количество растительности

(рогоз *Typha* sp., тростник *Phragmites* sp., роголистник *Ceratophyllum* sp.). Дно песчаное. На территории четвертого водоема имеется зона отдыха с пляжем и открытой водой. Площадь водного зеркала в этих прудах значительно больше относительно предыдущих, поэтому в ветреную погоду происходит перемешивание воды и насыщение ее кислородом.

Пруд Лесной изначально представлял собой поросший деревьями овраг, который изредка наполнялся атмосферными осадками и талыми водами. Городские власти в начале 1960-х гг. переоборудовали его в постоянный водоем с полноценной зоной отдыха (рис. 4). Сейчас Лесной пруд питают подземными водами четыре скважины, а также атмосферные осадки и талые воды.



Рис. 4. Расположение станций отбора проб зоопланктона на пруду Лесной (г. Заречный, Пензенская обл.)

Водоем имеет продолговатую форму (335×128 м), площадью 41 200 м<sup>2</sup>, глубиной у плотины около 5,0 м, с иловыми отложениями [10] (рис. 5).



Рис. 5. Пруд Лесной (вид с восточной стороны) (г. Заречный, Пензенская обл.)

Пруд расположен в хвойном лесу, хорошо освещен, прозрачность воды в среднем около 80 %, содержание детрита небольшое. По берегам произрастает рогоз *Typha* sp., осока *Carex* sp., тростник *Phragmites* sp., роголистник *Ceratophyllum* sp., местами поверхность воды затянута ряской *Lemna* sp. Дно илисто-песчаное. Прибрежные участки водоема открытые, превращены в зону для купания с песчаным пляжем, активно используются горожанами для отдыха и досуга. Эти территории загрязнены бытовым мусором.

Исследования зоопланктонных сообществ городских прудов (г. Заречный, Пензенская обл.) проводили в апреле 2024 г. Выбрано от 3 до 6 станций на каждом водоеме (рис. 2, 4). Выбор места станций был основан на визуальном отличии разных участков водоема, что позволяет получить более полную картину видового состава зоопланктона. Поверхностную воду (10 л) процеживали через сеть Апштейна (размер ячеек 64 мкм) в пластмассовые емкости и фиксировали 4 % раствором формалина. Всего отобрано и проанализировано 19 проб. Во время взятия проб на каждой станции измеряли температуру воды (рис. 6). Средняя температура воды в первом и втором водоемах оказалась ниже (18,5 и 19,5 °C соответственно), чем в третьем и четвертом прудах (21 °C). В Лесном пруду средняя температура воды составила 20 °C.

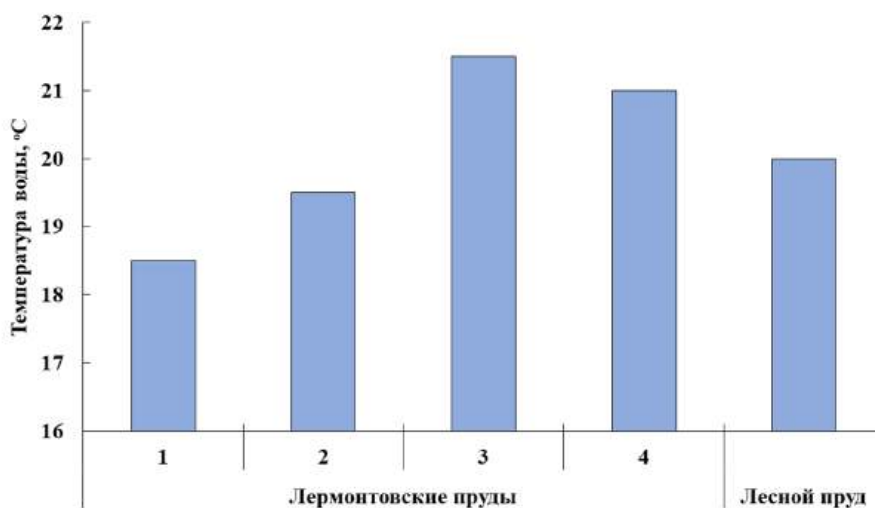


Рис. 6. Средние значения температуры воды в Лермонтовских прудах и пруду Лесном (г. Заречный, Пензенская обл.) в апреле 2024 г.

В лаборатории пробу зоопланктона сгущали до 100 мл отстаиванием. Затем всех особей зоопланктонных организмов определяли и подсчитывали в камере Богорова (объемом 2 мл) прямым микроскопированием (бинокляр ЛОМО МСП-1, увеличение  $\times 40$ ). При необходимости особей определяли под микроскопом (Биомед-6 ПР2, увеличение  $\times 400$ ). Для видовой идентификации использовали специализированные пособия [11–13].

На основе полученных данных по видовой структуре зоопланктонных сообществ рассчитывали видовое богатство ( $S$ ), плотность ( $N$ , тыс. экз./м<sup>3</sup>), выявляли доминирующие виды и относительное обилие таксономических групп, а также индекс Шеннона [14, 15]. Комплекс доминантных видов оценивали по численности:  $d = N / \sum N \times 100$ , где  $N$  – численность особей данного вида;

$\Sigma N$  – общая численность особей всех видов. Доминантными считали виды, доля которых от общего числа организмов составляет 10 и более процентов [16]. Все расчеты проводили с помощью программ MS Excel 2010, Past 2.15.

### Результаты и обсуждение

В прудах обнаружено 90 видов и подвидов зоопланктона (Rotifera – 69, Cladocera – 12, Copepoda – 9) (табл. 2). Из них 33 вида предпочитают зарослевые участки, при этом два вида преимущественно выбирают заболоченные местообитания (*Lecane scutata*, *Mytilina crassipes*). Высокая доля фитофильных видов (31–44 % от общего числа видов) свидетельствует о значительной степени зарастания водоемов макрофитами [1, 2]. Эти показатели свидетельствуют о значительном содержании органики.

Таблица 2

Видовой состав зоопланктонных сообществ Лермонтовских прудов и пруда Лесной в апреле 2024 г. (г. Заречный, Пензенская обл.)

| Таксон                                                      | Лермонтовские пруды |   |   |   | Лесной пруд |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|---|---|---|-------------|
|                                                             | 1                   | 2 | 3 | 4 |             |
| 1                                                           | 2                   | 3 | 4 | 5 | 6           |
| <b>Rotifera</b>                                             |                     |   |   |   |             |
| <i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)                      | –                   | + | + | + | –           |
| <i>Ascomorpha ecaudis</i> (Perty, 1850)                     | –                   | – | + | + | +           |
| <i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)                   | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)                   | –                   | – | + | – | –           |
| <i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas, 1776)               | +                   | – | – | – | –           |
| <i>Brachionus calyciflorus dorcasi</i> (Gosse, 1851)        | +                   | + | – | + | +           |
| <i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann, 1783)            | +                   | + | + | – | –           |
| <i>Cephalodella auriculata</i> (Müller, 1773)               | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1832)                 | +                   | + | – | + | +           |
| <i>Cephalodella ventripes</i> (Dixon-Nuttall, 1901)         | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Cephalodella cattelina</i> (Müller, 1786)                | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Colurella uncinata</i> (Müller, 1773)                    | +                   | + | + | + | +           |
| <i>Conochiloides coenobasis</i> (Skorikov, 1914)            | –                   | – | – | + | –           |
| <i>Conochilus hippocrepsis</i> (Schrank, 1803)              | –                   | – | + | + | +           |
| <i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet, 1892)               | –                   | – | + | – | –           |
| <i>Dissotrocha aculeata</i> (Ehrenberg, 1832)               | –                   | – | + | + | +           |
| <i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)                 | +                   | + | + | + | +           |
| <i>Euchlanis incisa</i> (Carlin, 1939)                      | +                   | + | + | + | –           |
| <i>Euchlanis lyra</i> Hudson, 1886                          | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)                  | –                   | + | – | – | –           |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)             | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)                   | –                   | – | + | + | +           |
| <i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)                    | –                   | – | – | + | +           |
| <i>Keratella irregularis</i> (Lauterborn, 1898)             | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Keratella testudo</i> (Ehrenberg, 1832)                  | –                   | + | – | – | –           |
| <i>Keratella valga</i> (Ehrenberg, 1834)                    | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Lecane</i> (s.str.) <i>curvicornis</i> (Murray, 1913)    | –                   | – | + | + | –           |
| <i>Lecane</i> (s.str.) <i>ludwigii</i> (Eckstein, 1883)     | –                   | + | – | – | –           |
| <i>Lecane</i> (s.str.) <i>luna</i> (Müller, 1776)           | –                   | – | – | – | +           |
| <i>Lecane</i> (s.str.) <i>luna presumpta</i> Ahlstrom, 1938 | +                   | + | – | – | –           |

## Продолжение табл. 2

| 1                                                     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|
| <i>Lecane (M.) arcuata</i> (Bryce, 1891)              | + | + | — | — | + |
| <i>Lecane (M.) bulla</i> (Gosse, 1886)                | + | + | + | + | + |
| <i>Lecane (M.) closterocerca</i> (Schmarda, 1859)     | + | + | + | + | — |
| <i>Lecane (M.) constricta</i> (Murray)                | — | — | + | + | — |
| <i>Lecane (M.) crenata</i> (Harring, 1913)            | — | — | + | + | — |
| <i>Lecane (M.) hamata</i> (Stokes, 1896)              | + | + | — | — | + |
| <i>Lecane (M.) lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)          | — | — | — | + | — |
| <i>Lecane (M.) scutata</i> (Harring et Myers, 1926)   | — | — | — | + | + |
| <i>Lepadella (s.str.) ovalis</i> (Müller, 1786)       | + | + | + | + | + |
| <i>Lepadella (s.str.) patella</i> (Müller, 1773)      | + | + | + | + | + |
| <i>Lophocharis salpina</i> (Ehrenberg, 1834)          | + | + | + | — | + |
| <i>Monommata longiseta</i> (Müller, 1786)             | — | — | + | + | — |
| <i>Mytilina mucronata</i> (Müller, 1773)              | + | + | + | — | + |
| <i>Mytilina crassipes</i> (Lucks, 1912)               | + | + | + | + | — |
| <i>Mytilina ventralis ventralis</i> (Ehrenberg, 1832) | + | + | + | + | + |
| <i>Notholca squamula</i> (Müller, 1786)               | — | — | — | — | + |
| <i>Platygaster quadricornis</i> (Ehrenberg, 1838)     | + | + | + | — | — |
| <i>Polyarthra dolichoptera</i> (Idelson, 1925)        | + | + | + | + | + |
| <i>Polyarthra major</i> (Burckhardt, 1900)            | + | — | — | — | — |
| <i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin, 1943)             | — | + | — | — | — |
| <i>Polyarthra euryptera</i> (Wierzejski, 1891)        | + | — | — | — | — |
| <i>Proales decipiens</i> (Ehrenberg, 1832)            | — | — | — | — | + |
| <i>Rotaria neptunia</i> (Ehrenberg, 1832)             | + | + | + | + | + |
| <i>Rotaria</i> sp.                                    | + | + | + | + | + |
| <i>Squatinella rostrum</i> (Schmarda, 1846)           | — | — | + | — | — |
| <i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)          | — | + | + | + | + |
| <i>Synchaeta oblonga</i> (Ehrenberg, 1831)            | + | + | + | + | + |
| <i>Synchaeta tremula</i> (Müller, 1786)               | — | — | — | — | + |
| <i>Testudinella mucronata</i> (Gosse, 1886)           | — | — | + | — | — |
| <i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)            | + | + | + | + | — |
| <i>Trichocerca (D.) brachyura</i> (Gosse, 1851)       | — | — | + | — | — |
| <i>Trichocerca (D.) porcellus</i> (Gosse, 1886)       | — | — | + | + | + |
| <i>Trichocerca (D.) similis</i> (Wierzejski, 1893)    | — | — | + | + | + |
| <i>Trichocerca (D.) tenuior</i> (Gosse, 1886)         | + | — | + | — | — |
| <i>Trichocerca (T.) bicristata</i> (Gosse, 1887)      | — | — | — | + | — |
| <i>Trichocerca (T.) longiseta</i> (Schränk., 1802)    | — | — | + | + | — |
| <i>Trichocerca (T.) pusilla</i> (Lauterborn, 1898)    | + | + | — | + | — |
| <i>Trichocerca (T.) rattus</i> (Müller, 1776)         | — | — | + | + | + |
| <i>Trichotria pocillum</i> (Müller, 1776)             | + | + | + | + | + |
| <b>Cladocera</b>                                      |   |   |   |   |   |
| <i>Alonella exigua</i> (Lilljeborg, 1901)             | — | — | — | + | — |
| <i>Bosmina (B.) longirostris</i> (O.F. Muller, 1785)  | — | + | — | + | — |
| <i>Ceriodaphnia</i> sp.                               | — | + | + | — | — |
| <i>Ceriodaphnia pulchella</i> (Sars, 1862)            | — | + | — | + | — |
| <i>Ceriodaphnia setosa</i> (Matile, 1890)             | — | + | — | — | — |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Muller, 1785)        | + | — | + | + | + |
| <i>Daphnia (D.)</i> sp. <i>pulex</i> (Leydig, 1860)   | — | + | — | — | — |
| <i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer, 1851)     | + | + | + | + | — |
| <i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)               | + | — | — | — | — |

Окончание табл. 2

| 1                                                  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
|----------------------------------------------------|----|----|----|----|----|
| <i>Pleuroxus truncatus</i> (O.F. Muller, 1785)     | –  | –  | +  | –  | –  |
| <i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Muller, 1776) | –  | –  | +  | +  | +  |
| <i>Simocephalus vetulus</i> (O.F. Muller, 1776)    | –  | +  | –  | –  | –  |
| <b>Copepoda</b>                                    |    |    |    |    |    |
| <i>Eudiaptomus vulgaris</i> (Schmeil, 1898)        | –  | –  | +  | –  | –  |
| <i>Cyclops kolensis</i> (Lilljeborg, 1901)         | –  | +  | –  | –  | –  |
| <i>Cyclops strenuus</i> (Fischer, 1851)            | +  | +  | +  | –  | –  |
| <i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)       | –  | +  | +  | –  | –  |
| <i>Diacyclops limnobioides</i> (Kiefer, 1936)      | –  | +  | –  | –  | –  |
| <i>Eucyclops macrurus</i> (Sars, 1863)             | –  | –  | –  | +  | +  |
| <i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)        | –  | –  | –  | +  | –  |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)         | –  | +  | +  | +  | –  |
| <i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer, 1853)       | –  | +  | +  | +  | +  |
| Число видов                                        | 33 | 44 | 49 | 47 | 43 |

Впервые для Пензенской области отмечены два вида коловраток: *Cephalodella auriculata* и *Trichocerca bicristata* (рис. 7). *C. auriculata* предпочитает зарослевые местообитания разных типов водных объектов, отмечена для Европейской части России, юга Западной Сибири и Узбекистана [17, 18]. *T. bicristata* населяет преимущественно зарослевые и заболоченные воды разных типов водных объектов, в России имеются находки в пойменных водоемах национального парка «Самарская Лука» [19], а также в озерах северо-западной части плато Путорана [20].



Рис. 7. Новые виды коловраток для Пензенской области:  
1 – *Cephalodella auriculata* (1а – латерально, 1б – дорсально, 1в, 1г – трофи);  
2 – *Trichocerca bicristata* (2а – латерально, 2б, 2в – трофи)

Во всех прудах встречается 11 видов коловраток: *Colurella uncinata*, *Euchlanis dilatata*, *Lecane bulla*, *Lepadella ovalis*, *L. patella*, *Mytilina ventralis ventralis*, *Polyarthra dolichoptera*, *Rotaria* sp., *R. neptunia*, *Synchaeta oblonga*, *Trichotria pocillum* (рис. 8). Присутствие полисапробного вида *R. neptunia*

во всех водоемах подтверждает значительное содержание органики в воде и у дна. В связи с тем, что Лермонтовские пруды представляют собой связанные между собой водоемы, число видов, обнаруженных ранней весной, только в этой системе составляет 16, а отмеченных в каждом из них относительно невелико (4–9). Наибольшим числом видов, характерных только для данного водоема, представлено зоопланктонное сообщество пруда Лесной (12 видов), что объясняется достаточной удаленностью от Лермонтовских и отсутствием связи с ними.

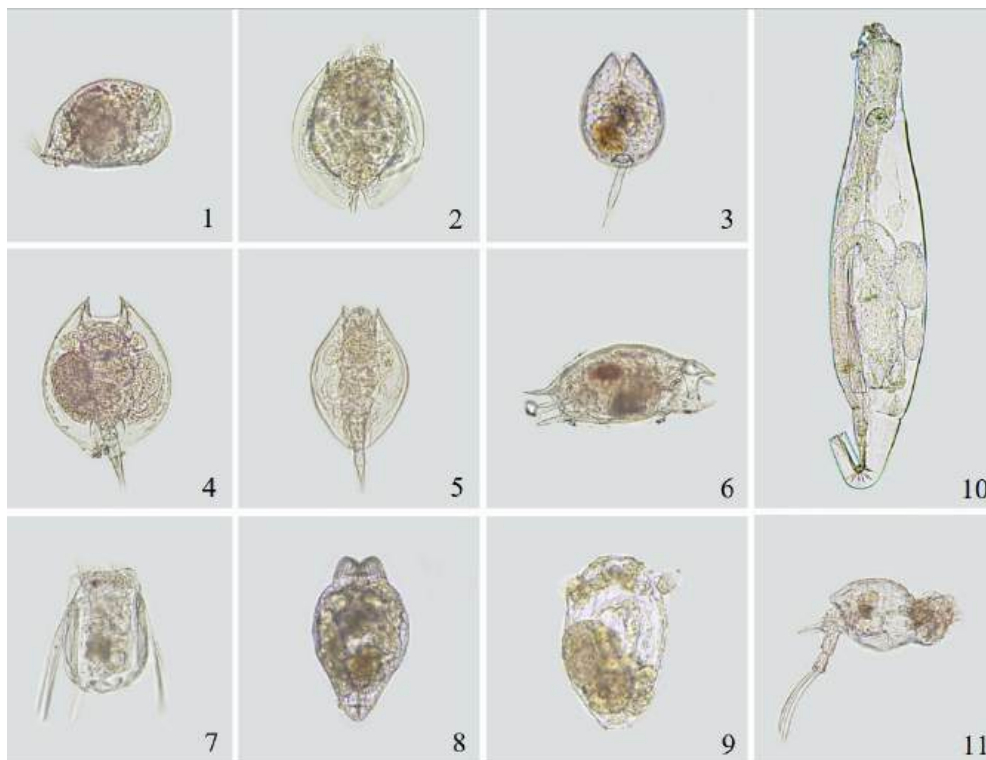


Рис. 8. Эврибионтные виды коловраток в прудах (г. Заречный, Пензенская обл.):  
1 – *Colurella uncinata*; 2 – *Euchlanis dilatata*; 3 – *Lecane bulla*; 4 – *Lepadella ovalis*;  
5 – *L. patella*; 6 – *Mytilina ventralis ventralis*; 7 – *Polyarthra dolichoptera*; 8 – *Rotaria* sp.;  
9 – *Synchaeta oblonga*; 10 – *Rotaria neptunia*; 11 – *Trichotria pocillum*

Самое высокое видовое богатство (рис. 9) отмечено в третьем Лермонтовском пруду, что соответствует и самым высоким значениям температуры воды (см. рис. 6). В остальных водоемах число видов также коррелирует с температурными показателями.

Значения численности зоопланктонных сообществ в первом и втором Лермонтовских прудах, а также в пруду Лесной выше, чем в остальных изученных водоемах. Высокая численность в первом и втором Лермонтовских прудах сформирована веслоногими ракообразными (общая численность 429,00 и 600,03 тыс. экз./м<sup>3</sup> соответственно), науплиусами (299,87 и 395,00 тыс. экз./м<sup>3</sup> соответственно) и коловратками (413,73 и 195,17 тыс. экз./м<sup>3</sup> соответственно). В то же время в пруду Лесной сообщество сформировано в основном коловратками (611,05 тыс. экз./м<sup>3</sup>).

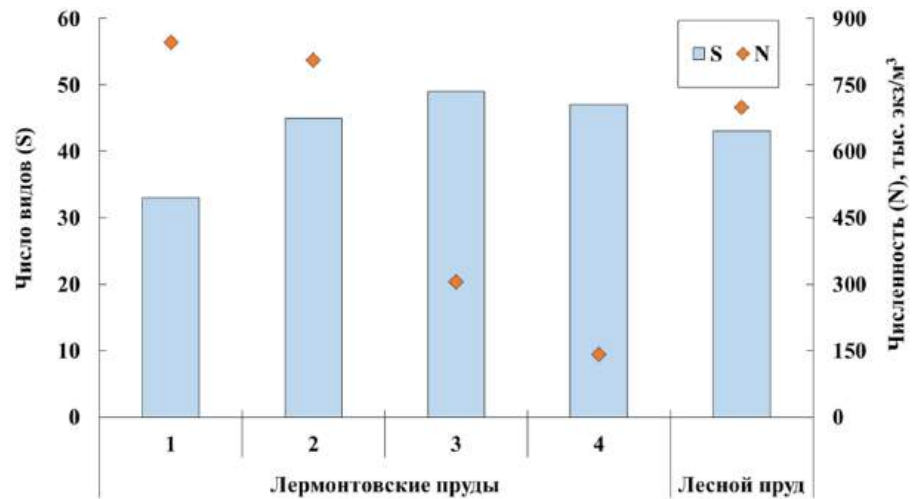


Рис. 9. Число видов и численность в зоопланктонных сообществах Лермонтовских прудов и пруда Лесной (г. Заречный, Пензенская обл.) в апреле 2024 г.

Для выявления особенностей распределения видового состава и численности зоопланктонных сообществ в исследуемых водоемах проанализирована структура по видовому составу и численности (рис. 10) и динамика доминирующего комплекса сообществ зоопланктона прудов (рис. 11).

Структура зоопланктонных сообществ по видовому составу и по численности в исследованных прудах отличается (рис. 10,а). По числу видов во всех водоемах преобладают коловратки (69–91 %), доля ракообразных значительно ниже (10–31 %). По численности коловратки преобладают в третьем и четвертом Лермонтовских прудах и пруду Лесной (62–87 %), доля веслоногих (12–37 %) и ветвистоусых ракообразных (1–2 %) небольшая (рис. 10,б). В то же время в первом и втором Лермонтовских прудах доля численности веслоногих ракообразных превышает 50 % (51–74 %), коловраток составляет менее половины (24–49 %), а кладоцеры почти незаметны (1,5 %).

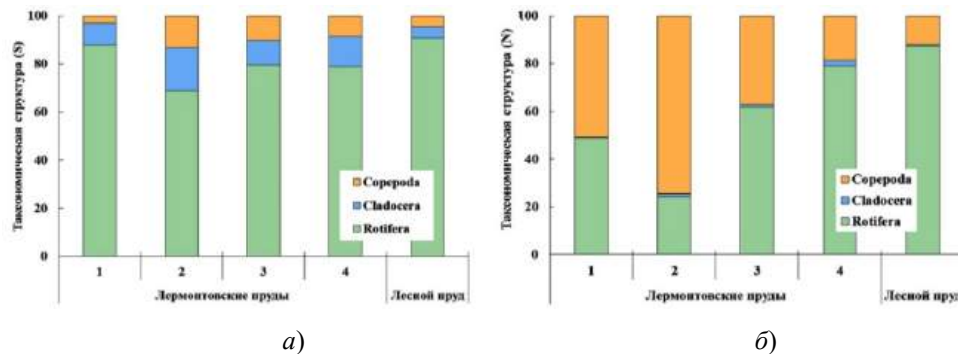


Рис. 10. Структура зоопланктонных сообществ Лермонтовских прудов и пруда Лесной (г. Заречный, Пензенская обл.) по числу видов (а) и численности (б) в апреле 2024 г.

Анализ доли численности доминантных видов показал, что во всех водоемах среди доминантов присутствуют ювенильные стадии веслоногих ракообразных (науплиусы). При этом в первом Лермонтовском пруду доминируют

только науплиусы (35 %). Науплиусы хищных копепод питаются простейшими, бактериями, детритом и фитопланктоном. Размеры захватываемых частиц лежат в пределах 2–40 мкм. Небольшое число доминантов свидетельствует о неблагоприятном состоянии водоемов [15, 21]. Во втором Лермонтовском пруду помимо личинок отмечен циклоп *Thermocyclops crassus* – теплолюбивый вид, очень характерен для пелагического планктона эвтрофных и мезотрофных озер, отсутствует в водоемах высокой дистрофности. Обитает также в прудах, гораздо реже встречается в очень мелких водоемах, куда, вероятно, проникает из более крупных [22]. *T. crassus* ведет преимущественно хищнический образ жизни. Основу его пищи составляют простейшие и молодь ветвистоусых рачков [23, 24].

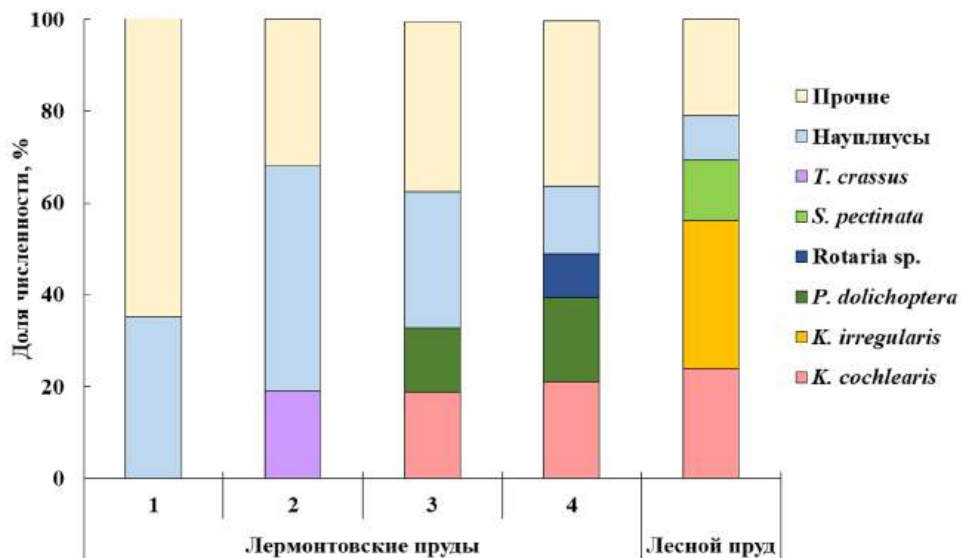


Рис. 11. Доминантный комплекс сообществ зоопланктона Лермонтовских прудов и пруда Лесной (г. Заречный, Пензенская обл.) в апреле 2024 г.

Высокая численность веслоногих ракообразных (ювенильных и взрослых) в двух Лермонтовских прудах может указывать на дефицит кислорода, с которым, как известно, могут справляться копеподы и их личинки [25]. Установлено, что теплолюбивый циклоп *T. crassus* способен жить при относительно низких температурах (9–20 °C), но когда появляется возможность выбора, предпочитает температуру воды выше 25 °C [26, 27]. Это типичный обитатель прибрежных зарослей макрофитов, предпочитающий эвтрофированные воды. Возможно поэтому второй Лермонтовский пруд, более теплый по сравнению с первым и более заросший макрофитами, стал наиболее предпочтительным местообитанием для данного вида циклопов.

Третий и четвертый Лермонтовские пруды, а также пруд Лесной отличаются высоким развитием коловраток. Все три водоема имеют среди доминантов коловратку *Keratella cochlearis*. В доминантном комплексе присутствуют также холодолюбивые коловратки *Polyarthra dolichoptera* и *Keratella irregularis* [11]. Их высокую численность можно объяснить тем, что пробы взяты в первый весенний месяц после зимы и сообщество еще не перестроилось на теплый вегетационный период [28].

Согласно полученным результатам зоопланктонные сообщества сгруппировались следующим образом. По видовому составу (индекс Раупа – Крика) выделилось три кластера (рис. 12,а). Зоопланктонные сообщества пруда Лесной отличаются от сообществ Лермонтовских прудов, которые в свою очередь образуют две группы территориально близких и связанных водоемов. На распределение по структурным параметрам (индекс Брея – Кертиса) повлияли особенности доминирования видов. Сообщества пруда Лесной и третьего и четвертого Лермонтовских прудов оказались в одном кластере, что связано с присутствием среди доминантов во всех трех прудах коловратки *Keratella cochlearis* (рис. 12,б).

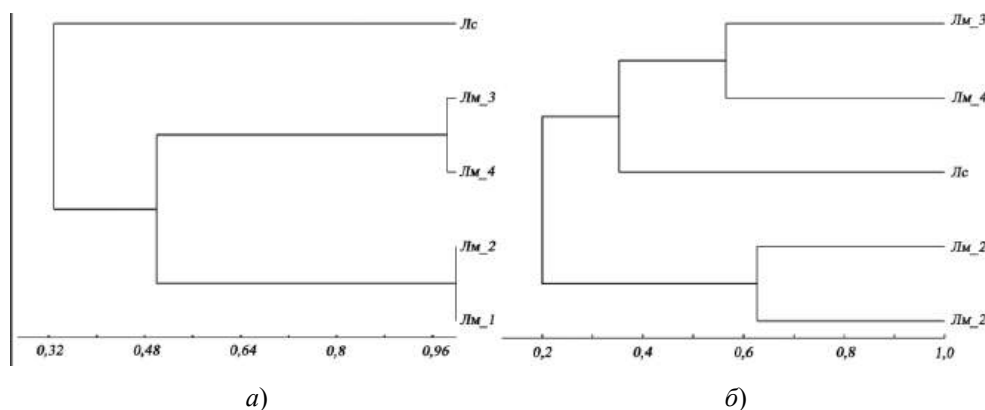


Рис. 12. Сходство видового состава (индекс Раупа – Крика) (а) и структурных параметров (индекс Брея – Кертиса) (б) зоопланктонных сообществ Лермонтовских прудов и пруда Лесной (г. Заречный, Пензенская обл.) в апреле 2024 г.

Согласно индексу Шеннона, пруды характеризуются разной степенью эвтрофирования (рис. 13). Воды третьего и четвертого Лермонтовских прудов оцениваются как «чистые» (олиготрофные, 2 класс качества), первого Лермонтовского пруда и пруда Лесной – «загрязненные» (мезотрофные, 3–4 классы качества), а воды второго Лермонтовского пруда соответствуют категории «грязные» (эвтрофные, 5 класс качества).

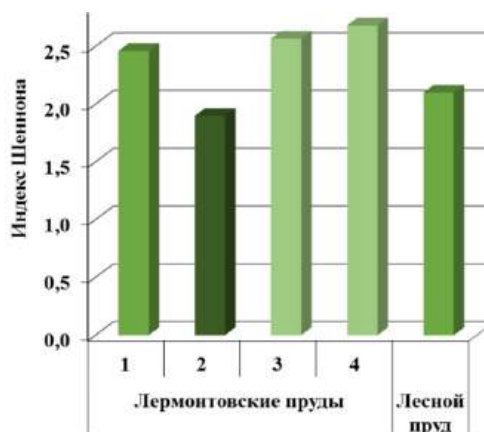


Рис. 13. Значения индекса Шеннона в Лермонтовских прудах и пруду Лесной (г. Заречный, Пензенская обл.) в апреле 2024 г.

### Заключение

Городские водоемы могут быть любимым местом для отдыха и в то же время быть источником опасности для жителей. Поэтому необходимы постоянные наблюдения за этим природным или рукотворным ресурсом. Настоящее наблюдение позволяет понять те процессы, которые протекают в городе и могут способствовать организации благоприятной для человека среды обитания. Пруды г. Заречный – рукотворные и требуют определенной регуляции состояния. Об этом свидетельствует и зоопланктонное сообщество. В первых двух Лермонтовских прудах (первый и второй), образованных в балке на участке смешанного леса, дно покрыто толстым слоем ила. Вода в водоемах почти не перемешивается, поэтому развиваются застойные процессы. Видовой состав зоопланктонных сообществ немногочислен, доминирует всего один эвтрофный вид веслоногих ракообразных. В то же время существуют нюансы, влияющие на состояние этого эвтрофного вида. Большая открытость второго водоема, разнообразные придонные условия, повышение температуры воды благоприятствуют более быстрому метаморфозу циклопов.

Два других пруда (третий и четвертый) и пруд Лесной также расположены в лесу, но они крупнее, с открытыми берегами, поэтому в них меньше накапливается листва и слой ила имеет значительно меньшую толщину. Несмотря на то, что они не проточные, в ветреную погоду происходит перемешивание воды. В водоемах доминантный комплекс богаче, в том числе колониальные *Synchaeta pectinata* и холодолюбивые *Polyarthra dolichoptera* и *Keratella irregularis*. Первый вид круглогодично отмечается в водоемах, а два других – в зимний период [28].

Богатый видовой состав и высокая численность зоопланктона весной 2024 г. в исследуемых прудах связаны с необыкновенно теплой весной. Конец апреля в г. Заречный характеризовался относительно высокими дневными (10–23 °C) и ночными температурами воздуха (9–19 °C) (Архив погоды за апрель 2024 в г. Заречный, <https://arhivpogodi.ru/arhiv/zarechnyy/2024/04>). Высокие количественные показатели зоопланктоценозов прудов весной можно объяснить хорошим прогреванием воды (на фоне необыкновенно теплой весны и небольших размеров водоемов) и развитием хорошей кормовой базы зоопланктона (бактерио- и фитопланктона) [29]. Видовое богатство и пространственная структура зоопланктонного сообщества позволяют классифицировать исследованные пруды как эвтрофные. Рекреационный пруд Лесной требует очистки.

### Список литературы

1. Мухортова О. В. Зоопланктон Верхнего северного пруда г. Самара // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2008. Т. 17, № 3. С. 554–564.
2. Мухортова О. В., Романова Е. П. Весенний комплекс зоопланктона прудов Ботанического сада г. Самары // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2008. Т. 10, № 2. С. 514–521.
3. Герасимов Ю. Л. Городской пруд как рекреационный ресурс (на примере пруда в Кировском районе г. Самары) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 1–4. С. 930–933.
4. Герасимов Ю. Л. Ракообразные памятника природы Пруда Сухого в г. Самара // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2021. Т. 30, № 1. С. 66–68.

5. Сенкевич В. А., Стойко Т. Г. Структура зоопланктонных сообществ прудов в Пензенской области (2013 г.) // Экологический сборник 5: Труды молодых ученых Поволжья. 2015. С. 338–344.
6. Ибадулаева Р. А., Каримова К. А., Герасимов Ю. Л. Ракообразные прудов в районе улицы Советской армии в г. Самаре // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2020. № 42-2. С. 3–8.
7. Стойко Т. Г., Сенкевич В. А., Пастухова Ю. А. Особенности структуры и временной динамики зоопланктонных сообществ малых искусственных водоемов урбанизированных территорий (на примере г. Пензы) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 67–78.
8. Сенкевич В. А., Стойко Т. Г. Зоопланктонное сообщество как индикатор состояния Арбековского пруда (г. Пенза) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 3. С. 74–87.
9. В Заречном ограничено купание в прудах. 12.07.2024 // Официальный сайт Администрации ЗАТО города Заречный Пензенской области. URL: <http://www.zarechny.zato.ru/news/2024/07/12/44311>
10. Энциклопедия города Заречного / под ред. А. П. Киреева. Заречный, 2008. 664 с.
11. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Л. : Наука, 1970. 744 с.
12. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зоопланктон. М. ; СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. Т. 1. 495 с.
13. Стойко Т. Г., Мазей Ю. А., Сенкевич В. А. Планктонные коловратки пензенских водоемов : монография. Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. 116 с.
14. Методы биологического анализа пресных вод. Л. : Зоол. ин-т АН СССР, 1976. 168 с.
15. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб. : Наука, 1996. 189 с.
16. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
17. Ермолаева Н. И. К экологии зоопланктона (Rotifera, Cladocera, Copepoda) озер юга Западной Сибири // Успехи современного естествознания. 2014. № 5. С. 80–84.
18. Kurashov E. A., Aleshina D. G., Guseva M. A. [et al.]. The role of environmental factors in the formation of zooplankton in tributaries of Lake Ladoga (Russia) // Applied Ecology & Environmental Research. 2017. Vol. 15, № 4. P. 1511–1540.
19. Тарасова Н. Г., Агапов А. А., Быкова С. В. [и др.]. Структура сообщества планктонных организмов пойменных водоемов национального парка «Самарская Лука» в период массового развития цианобактерий // Научные труды Национального парка «Хвалынский» : сб. науч. ст. Саратов ; Хвалынский : Амирит, 2023. С. 162–169.
20. Заделёнов В. А., Дубовская О. П., Бажина Л. В. Новые сведения о биоте некоторых озер западной части плато Путорана // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2017. Т. 10, № 1. С. 87–105.
21. Жданова С. М. Структура сообщества зоопланктона мелководного высокотрофного озера Неро : дис. ... канд. биол. наук. Борок, 2009. 177 с.
22. Рылов В. М. Cyclopoidea пресных вод // Фауна СССР. Ракообразные. М. ; Л., 1948. Т. III, вып. 3. 321 с.
23. Набережный А. И. Веслоногие ракообразные Copepoda // Мшанки, моллюски, членистоногие (из серии «Животный мир Молдавии»). Кишинев : Штиинца, 1984. С. 83–84.
24. Герасимова Т. Н., Садчиков А. П. Копеподы *Mesocyclops crassus* в пруду при высоком содержании органического вещества // Материалы по флоре и фауне Республики Башкортостан. 2021. № 33. С. 38–43.
25. Graham A. M., Barreto F. S. Loss of the HIF pathway in a widely distributed intertidal crustacean, the copepod *Tigriopus californicus* // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2019. Vol. 116, № 26. P. 12913–12918.

26. Duchovnay A., Reid J. W., McIntosh A. *Thermocyclops crassus* (Crustacea: Copepoda) present in North America: a new record from Lake Champlain // Journal of Great Lakes Research. 1992. Vol. 18, № 3. P. 415–419.
27. Verbitsky V. B., Lazareva V. I., Medyantseva E. N. The preferred and avoidance temperatures of *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) and their relation to the temperature of optimal, pessimal and normal performance of the species // Journal of Thermal Biology. 2018. Vol. 78. P. 106–113.
28. Жданова С. М., Малин М. И. Особенности подледного зоопланктона озера Плещеево (Ярославская обл., Россия) // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6, № 3. С. 39–52.
29. Дзюбан Н. А., Урбан В. В. Сезонные изменения зоопланктона в прибрежье Куйбышевского водохранилища // Волга-І. Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов водоемов : материалы І конференции по изучению водоемов бассейна Волги. Куйбышев, 1971. С. 135–146.

### References

1. Mukhortova O.V. Zooplankton of the upper Northern pond in Samara. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* = Samara Luka: issues of regional and global ecology. 2008;17(3):554–564. (In Russ.)
2. Mukhortova O.V., Romanova E.P. Spring complex of zooplankton of ponds of the Botanical Garden of Samara. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Proceedings of Samara Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2008;10(2):514–521. (In Russ.)
3. Gerasimov Yu.L. City pond as a recreational resource (using the example of a pond in Kirovsky district of Samara). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Proceedings of Samara Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2010;12(1–4):930–933. (In Russ.)
4. Gerasimov Yu.L. Crustaceans of the natural monument of Sukhoi Pond in Samara. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* = Samara Luka: issues of regional and global ecology. 2021;30(1):66–68. (In Russ.)
5. Senkevich V.A., Stoyko T.G. Structure of zooplankton communities of ponds in Penza region (2013). *Ekologicheskii sbornik 5: Trudy molodykh uchenykh Povolzh'ya* = Ecological collection 5: Proceedings of young scientists of Volga region. 2015:338–344. (In Russ.)
6. Ibadulaeva R.A., Karimova K.A., Gerasimov Yu.L. Crustaceans of ponds in the area of Soviet Army Street in Samara. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2020;(42–2):3–8. (In Russ.)
7. Stoyko T.G., Senkevich V.A., Pastukhova Yu.A. Features of the structure and temporal dynamics of zooplankton communities of small artificial reservoirs in urbanized areas (by the example of Penza). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2021;(4):67–78. (In Russ.)
8. Senkevich V.A., Stoyko T.G. Zooplankton community as an indicator of the state of the Arbekovsky pond (Penza). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2022;(3):74–87. (In Russ.)
9. Swimming in ponds is restricted in Zarechny. July 12, 2024. *Ofitsial'nyy sayt Administratsii ZATO goroda Zarechnyy Penzenskoy oblasti* = Official website of the Administration of the closed administrative-territorial entity of the city of Zarechny, Penza region. (In Russ.). Available at: <http://www.zarechny.zato.ru/news/2024/07/12/44311>
10. Kireeva A.P. (ed.). *Entsiklopediya goroda Zarechnogo* = Encyclopedia of Zarechny. Zarechny, 2008:664. (In Russ.)

11. Kutikova L.A. *Kolovratki fauny SSSR* = Rotifers of the fauna of the USSR. Leningrad: Nauka, 1970:744. (In Russ.)
12. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii*. Zooplankton = Identifier of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Zooplankton. Moscow; Saint Petersburg: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010;1:495. (In Russ.)
13. Stoyko T.G., Mazey Yu.A., Senkevich V.A. *Planktonnye kolovratki penzenskikh vodoemov: monografiya* = Planktonic rotifers of Penza reservoirs: monograph. Penza: Izd-vo PGU, 2016:116. (In Russ.)
14. *Metody biologicheskogo analiza presnykh vod* = Methods of biological analysis of fresh water. Leninrad: Zool. in-t AN SSSR, 1976:168. (In Russ.)
15. Andronikova I.N. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov* = Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types. Saint Petersburg: Nauka, 1996:189. (In Russ.)
16. Abakumov V.A. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* = Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992:318. (In Russ.)
17. Ermolaeva N.I. On the ecology of zooplankton (Rotifera, Cladocera, Sopepoda) of lakes in the south of Western Siberia. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* = Achievements of modern natural science. 2014;(5):80–84. (In Russ.)
18. Kurashov E.A., Aleshina D.G., Guseva M.A. et al. The role of environmental factors in the formation of zooplankton in tributaries of Lake Ladoga (Russia). *Applied Ecology & Environmental Research*. 2017;15(4):1511–1540.
19. Tarasova N.G., Agapov A.A., Bykova S.V. et al. The structure of the community of planktonic organisms of floodplain reservoirs of the national park “Samara Luka” during the period of mass development of cyanobacteria. *Nauchnye trudy Natsional'nogo parka «Khvalynskiy»: sb. nauch. st.* = Proceedings of the National park “Khvalynskiy”: collected articles. Saratov; Khvalynsk: Amirit, 2023:162–169. (In Russ.)
20. Zadelenov V.A., Dubovskaya O.P., Bazhina L.V. New information on the biota of some lakes in the western part of the Putorana Plateau. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya* = Journal of Siberian Federal University. Biology. 2017;10(1):87–105. (In Russ.)
21. Zhdanova S.M. *Structure of the zooplankton community of the shallow highly trophic lake Nero*. PhD dissertation. Borok, 2009:177. (In Russ.)
22. Rylov V.M. Freshwater cyclopoid. *Fauna SSSR. Rakoobraznye* = Fauna of the USSR. Crustaceans. Moscow; Leningrad, 1948;III(3):321. (In Russ.)
23. Naberezhnyy A.I. Copepoda. *Mshanki, mollyuski, chlenistonogie (iz serii «Zhivotnyy mir Moldavii»)* = Bryozoa, mollusks, arthropods (from the series “Animal World of Moldova”). Kishinev: Shtiintsa, 1984:83–84. (In Russ.)
24. Gerasimova T.N., Sadchikov A.P. Copepod *Mesosyslops crassus* in a pond with high organic matter content. *Materialy po flore i faune Respubliki Bashkortostan* = Materials on flora and fauna of the Republic of Bashkortostan. 2021;(33):38–43. (In Russ.)
25. Graham A.M., Barreto F.S. Loss of the HIF pathway in a widely distributed intertidal crustacean, the copepod *Tigriopus californicus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019;116(26):12913–12918. (In Russ.)
26. Duchovnay A., Reid J.W., McIntosh A. *Thermocyclops crassus* (Crustacea: Copepoda) present in North America: a new record from Lake Champlain. *Journal of Great Lakes Research*. 1992;18(3):415–419.
27. Verbitsky V.B., Lazareva V.I., Medyantseva E.N. The preferred and avoidance temperatures of *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) and their relation to the temperature of optimal, pessimal and normal performance of the species. *Journal of Thermal Biology*. 2018;78:106–113.

28. Zhdanova S.M., Malin M.I. Peculiarities of subglacial zooplankton of Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl region, Russia). *Transformatsiya ekosistem* = Transformation of ecosystems. 2023;6(3):39–52. (In Russ.)
29. Dzyuban N.A., Urban V.V. Seasonal changes in zooplankton in the coastal area of the Kuibyshev Reservoir. *Volga-I. Problemy izucheniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya biologicheskikh resursov vodoemov: materialy I konferentsii po izucheniyu vodoemov basseyna Volgi* = Volga – 1. Issues of studying and rational use of biological resources of water bodies: proceedings of the 1<sup>st</sup> conference on studying of water bodies of the Volga basin. Kuybyshev, 1971:135–146. (In Russ.)

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

**Павел Дмитриевич Феоктистов**

студент,  
Пензенский государственный  
университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: pavel.feoktistov@gmail.com

**Pavel D. Feoktistov**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Виктория Александровна Сенкевич**

кандидат биологических наук,  
доцент кафедры зоологии и экологии,  
Пензенский государственный  
университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: viktoriya0606@mail.ru

**Viktoriya A. Senkevich**

Candidate of biological sciences,  
associate professor of the sub-department  
of zoology and ecology,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 03.04.2025**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 25.04.2025**

**Принята к публикации / Accepted 07.05.2025**

УДК 597/599

doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-4

## Структура населения птиц ключевых ландшафтов национального парка «Сенгилеевские горы» в гнездовой период

М. В. Корепов<sup>1</sup>, П. О. Павлов<sup>2</sup>, С. В. Якунин<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Ульяновский государственный педагогический университет  
имени И. Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

<sup>2,3</sup>Ульяновский областной краеведческий музей  
имени И. А. Гончарова, Ульяновск, Россия

<sup>1</sup>korepov@list.ru, <sup>2</sup>pavelmml@mail.ru, <sup>3</sup>yakunin\_lab@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Исследование структуры населения птиц позволит определить роль различных ландшафтов в формировании биоразнообразия территории национального парка «Сенгилеевские горы» и заложить основу многолетнего мониторинга ключевых компонентов экосистем особо охраняемой природной территории. *Материалы и методы.* Исследования проводились в 2023–2024 гг. в четырех ключевых ландшафтах национального парка «Сенгилеевские горы». Основные характеристики населения птиц (видовой состав и обилие) получены в ходе комплексных маршрутных учетов. Суммарная протяженность пеших учетных маршрутов в ходе исследований составила 55 км. *Результаты.* Выявлено 77 видов птиц (от 43 до 50 в различных ландшафтах). Суммарная плотность населения птиц в различных местообитаниях варьировала от 473,3 (степи) до 923,7 ос/км<sup>2</sup> (широколиственные леса). В лесных сообществах повсеместно доминирует по численности зяблик *Fringilla coelebs*, в степных сообществах – лесной конек *Anthus trivialis*. Сходство орнитокомплексов сосновых и широколиственных лесов составляет 62 %, лесных сообществ и пойм – 50 %, пойменных и лесных сообществ и степей – 29 %. Сходство вариантов населения птиц в различные периоды гнездового сезона и годы в сосновых – 68–75 %, в широколиственных лесах – 65–73 %, в поймах – 40–52 %, в степях – 37–79 %. *Выводы.* Максимальное разнообразие орнитофауны отмечено в поймах. Максимальная плотность населения птиц выявлена в широколиственных лесах. Наибольшие показатели разнообразия и выравниваемости сообществ птиц (индекс Шеннона) характерны для пойм. Наибольшей стабильностью отличается орнитокомплекс сосновых лесов. Наибольшим сходством орнитокомплексов характеризуются лесные и пойменные ландшафты, наименьшим – степи.

**Ключевые слова:** орнитофауна, орнитокомплекс, национальный парк «Сенгилеевские горы»

**Для цитирования:** Корепов М. В., Павлов П. О., Якунин С. В. Структура населения птиц ключевых ландшафтов национального парка «Сенгилеевские горы» в гнездовой период // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 40–50. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-4

## Bird population structure of key landscapes of the National Park “Sengileevskiye Gory” during the breeding season

M.V. Korepov<sup>1</sup>, P.O. Pavlov<sup>2</sup>, S.V. Yakunin<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Ulyanovsk State Pedagogical University  
named after I.N. Ulyanov, Ulyanovsk, Russia

<sup>2,3</sup>Ulyanovsk Regional Museum of Local History  
named after I.A. Goncharov, Ulyanovsk, Russia

<sup>1</sup>korepov@list.ru, <sup>2</sup>pavelmml@mail.ru, <sup>3</sup>yakunin\_lab@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The study of the bird population structure will make it possible to determine the role of various landscapes in the formation of the biodiversity of the territory of the National Park “Sengileevskiye Gory” and lay the foundation for long-term monitoring of key components of ecosystems of a specially protected natural area. *Materials and methods.* The research was conducted in 2023–2024 in four key landscapes of National Park “Sengileevskiye Gory”. The main characteristics of the bird population (species composition and abundance) were obtained during complex route surveys. The total length of the hiking trails during the research was 55 km. *Results.* 77 bird species have been identified (from 43 to 50 in various landscapes). The total population density of birds in various habitats ranged from 473,3 individuals/km<sup>2</sup> (steppes) to 923.7 individuals/km<sup>2</sup> (broadleaf forests). The finch *Fringilla coelebs* everywhere dominates in numbers in forest communities, and the forest horse *Anthus trivialis* in steppe communities. The similarity of ornithocomplexes of pine and broadleaf forests is 62 %, forest communities and floodplains – 50 %, floodplain and forest communities and steppes – 29 %. The similarity of bird population variants in different periods of the breeding season and years is 68–75 % in pine forests, 65–73 % in broadleaf forests, 40–52 % in floodplains, and 37–79 % in steppes. *Conclusions.* The maximum diversity of avifauna is noted in floodplains. The maximum bird population density was found in broad-leaved forests. The highest indicators of diversity and alignment of bird communities (Shannon index) are typical for floodplains. The ornithocomplex of pine forests is characterized by the greatest stability. The greatest similarity of ornithocomplexes is characterized by forest and floodplain landscapes, the steppes are the least.

**Keywords:** avifauna, ornithocomplex, Sengileevsky Mountains National Park

**For citation:** Korepov M.V., Pavlov P.O., Yakunin S.V. Bird population structure of key landscapes of the National Park “Sengileevskiye Gory” during the breeding season. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(1):40–50. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-4

## Введение

Население птиц является одним из ключевых показателей биоценозов. Орнитокомплексы отличаются высоким разнообразием и сложной структурой, что делает их удобной модельной группой для изучения формирования и функционирования биоценозов. Исследование структуры населения птиц позволяет определить роль различных ландшафтов в формировании биоразнообразия территории, а также выявить роль отдельных видов в формировании орнитокомплексов различных природных зон [1, 2].

Национальный парк «Сенгилеевские горы» остается одним из самых молодых на территории России (создан в 2017 г.), поэтому работы по инвентаризации биоты и изучению количественных характеристик населения различных групп животных являются первоочередными и наиболее актуальными в научно-исследовательской деятельности учреждения. Полученные материалы позволят заложить основу многолетнего мониторинга ключевых компонентов экосистем рассматриваемой особо охраняемой природной территории.

## Материал и методика

Исследования населения птиц в гнездовой период в ключевых ландшафтах национального парка «Сенгилеевские горы» проводились в 2023–2024 гг. Учетные работы велись в четырех наиболее характерных и распространенных ландшафтах национального парка: сосновые леса, широколиственные леса, поймы и степи. В течение двух лет учеты проводились на постоянных маршрутах в весенне-летний период (в мае и июне), которые располагались как

в Правобережье (местообитания поймы и степи), так и в Левобережье (местообитания сосновые и широколиственные леса) Волги (рис. 1). Характеристика маршрутных учетов птиц представлена в табл. 1.

Таблица 1

Данные маршрутов по учету птиц в национальном парке «Сенгилеевские горы»

| Ландшафт                 | Географическая привязка | Длина маршрута | Даты проведения учетов                           |
|--------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------------------------------|
| 1. Сосновые леса         | Белоярский лес          | 3,2–3,4 км     | 22.05.2023; 9.06.2023;<br>24.05.2024; 14.06.2024 |
| 2. Широколиственные леса | Белоярский лес          | 2,6–3,0 км     | 20.05.2023; 9.06.2023;<br>24.05.2024; 14.06.2024 |
| 3. Поймы                 | Пойма р. Атца           | 3,1–3,7 км     | 13.05.2023; 2.06.2023;<br>13.05.2024; 11.06.2024 |
| 4. Степи                 | Шиловская лесостепь     | 4,1–4,3 км     | 18.05.2023; 4.06.2023;<br>12.05.2024; 12.06.2024 |

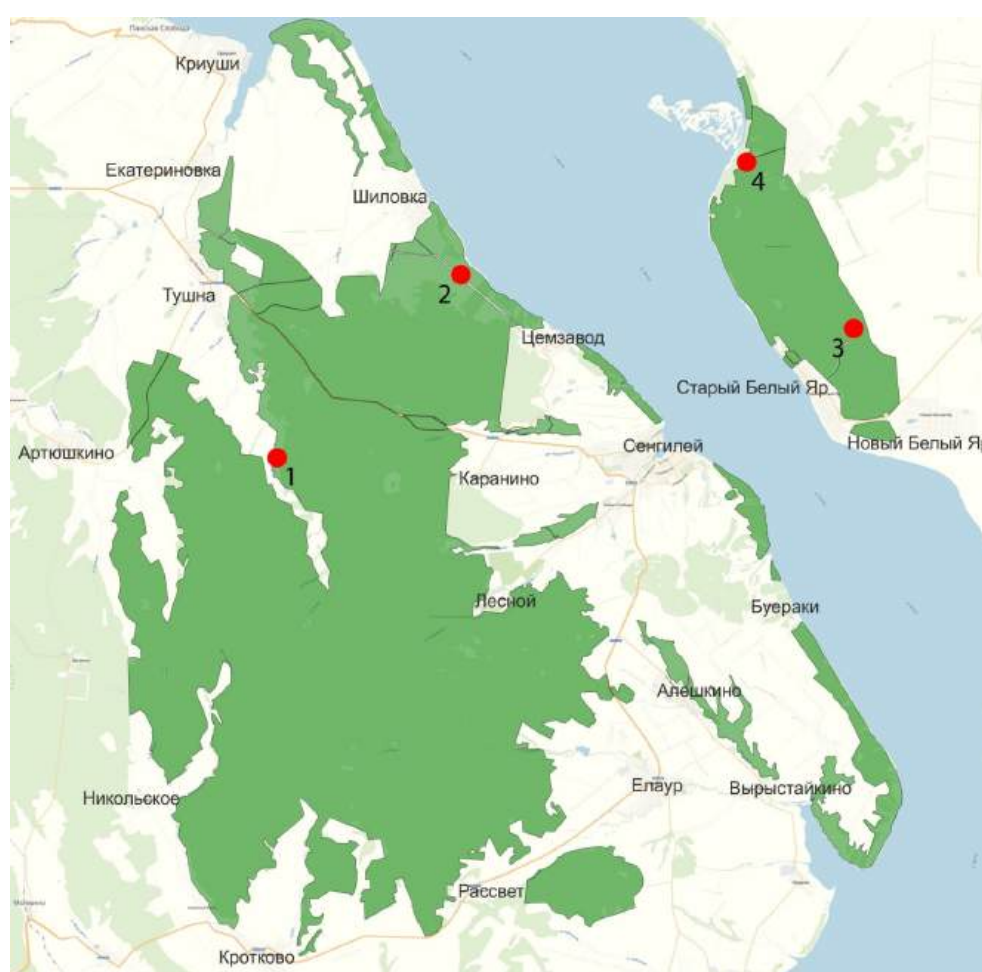


Рис. 1. Локализация маршрутов по учету птиц в национальном парке «Сенгилеевские горы»: 1 – поймы; 2 – степи; 3 – широколиственные леса; 4 – сосновые леса

Основные характеристики населения птиц (видовой состав и обилие) получены в ходе комплексных маршрутных учетов без ограничения ширины учетной полосы, с записью экспертных расстояний до каждой обнаруженной птицы и расчетом видовой плотности населения на основе гармонической средней из расстояний обнаружения [3, 4]. Расчеты основаны на динамической плотности, с учетом всех птиц, отмеченных в данном местообитании в гнездовой период, а не только гнездящихся. Расчет километража учетного хода вычислялся с помощью спутникового GPS-навигатора. Плотность населения птиц, а также статистические ошибки и несимметричные интервалы доверительных пределов (при уровне доверия 95 %) рассчитаны в программе Н. Г. Челинцева «Птицы учет». Суммарная протяженность пеших учетных маршрутов в ходе исследований составила 55 км.

Кластерный анализ сходства вариантов населения птиц проведен с использованием коэффициента сходства Серенсена – Чекановского для количественных признаков в программном модуле «GRAPHS» [5].

Номенклатура и систематика птиц приведены по Л. С. Степаняну [6].

### Результаты и обсуждение

В ходе исследований в весенне-летний (май–июнь) период 2023–2024 гг. в четырех ключевых ландшафтах национального парка «Сенгилеевские горы» выявлено 77 видов птиц (табл. 2), что составляет 45 % от общего разнообразия орнитофауны особо охраняемой природной территории [7]. Максимальное видовое разнообразие птиц в гнездовой период отмечено в поймах (50 видов), несколько меньшее – в сосновых (43 вида) и широколиственных (42 вида) лесах, а также в степях (43 вида). Наибольшая суммарная плотность населения птиц характерна для широколиственных лесов (923,7 ос/км<sup>2</sup>), далее следуют сосновые леса (682,0 ос/км<sup>2</sup>) и поймы (578,2 ос/км<sup>2</sup>), наименьшие показатели характерны для степей (473,3 ос/км<sup>2</sup>). Индекс Шеннона, характеризующий разнообразие и выравненность сообществ, максимальные показатели имеет в поймах (3,15), несколько меньшие – в широколиственных (2,89) и сосновых (2,87) лесах, наименьшие – в степях (2,39).

Таблица 2

Обилие птиц в ключевых ландшафтах национального парка «Сенгилеевские горы» (особей/км<sup>2</sup>)

| Вид                                             | Местообитание |                       |       |       |
|-------------------------------------------------|---------------|-----------------------|-------|-------|
|                                                 | сосновые леса | широколиственные леса | поймы | степи |
| 1                                               | 2             | 3                     | 4     | 5     |
| 1. Серая цапля<br><i>Ardea cinerea</i>          | –             | –                     | 1,84  | –     |
| 2. Кряква<br><i>Anas platyrhynchos</i>          | 0,20          | –                     | 9,19  | –     |
| 3. Обыкновенный осоед<br><i>Pernis apivorus</i> | –             | –                     | –     | 0,72  |
| 4. Черный коршун<br><i>Milvus migrans</i>       | 0,75          | –                     | 1,84  | 3,77  |
| 5. Болотный лунь<br><i>Circus aeruginosus</i>   | –             | –                     | –     | 0,20  |

Продолжение табл. 2

| 1                                                      | 2     | 3     | 4     | 5      |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| 6. Канюк<br><i>Buteo buteo</i>                         | 0,54  | –     | 3,04  | 3,53   |
| 7. Орел-карлик<br><i>Hieraaetus pennatus</i>           | –     | –     | 0,53  | 0,40   |
| 8. Орлан-белохвост<br><i>Haliaeetus albicilla</i>      | 0,25  | –     | 0,25  | –      |
| 9. Серая куропатка<br><i>Perdix perdix</i>             | –     | –     | 3,68  | 2,98   |
| 10. Перепел<br><i>Coturnix coturnix</i>                | –     | –     | –     | 0,99   |
| 11. Коростель<br><i>Crex crex</i>                      | –     | –     | 1,84  | –      |
| 12. Вяхрь<br><i>Columba palumbus</i>                   | 4,01  | 1,80  | 0,74  | 1,09   |
| 13. Клинтух<br><i>Columba oenas</i>                    | 0,75  | –     | –     | 2,88   |
| 14. Сизый голубь<br><i>Columba livia</i>               | 1,88  | –     | –     | –      |
| 15. Обыкновенная<br>кукушка<br><i>Cuculus canorus</i>  | –     | 3,30  | 4,90  | 1,15   |
| 16. Глухая кукушка<br><i>Cuculus saturatus</i>         | –     | 2,25  | –     | –      |
| 17. Длиннохвостая<br>неясыть<br><i>Strix uralensis</i> | –     | 1,50  | –     | –      |
| 18. Черный стриж<br><i>Apus apus</i>                   | 10,03 | –     | –     | –      |
| 19. Золотистая шурка<br><i>Merops apiaster</i>         | –     | –     | 9,80  | 3,19   |
| 20. Вертишейка<br><i>Jynx torquilla</i>                | –     | 4,50  | –     | –      |
| 21. Седой дятел<br><i>Picus canus</i>                  | –     | –     | 1,05  | –      |
| 22. Желна<br><i>Dryocopus martius</i>                  | –     | 0,60  | 0,74  | –      |
| 23. Пестрый дятел<br><i>Dendrocopos major</i>          | 2,01  | 16,68 | 1,23  | 1,04   |
| 24. Белоспинный дятел<br><i>Dendrocopos leucotos</i>   | –     | 3,45  | 1,47  | –      |
| 25. Малый дятел<br><i>Dendrocopos minor</i>            | –     | 4,50  | 0,74  | –      |
| 26. Береговая ласточка<br><i>Riparia riparia</i>       | –     | –     | –     | 6,20   |
| 27. Полевой жаворонок<br><i>Alauda arvensis</i>        | –     | –     | –     | 106,16 |
| 28. Лесной конек<br><i>Anthus trivialis</i>            | 61,90 | 99,83 | 61,17 | 118,08 |
| 29. Белая трясогузка<br><i>Motacilla alba</i>          | 8,15  | –     | 5,51  | –      |

## Продолжение табл. 2

| 1                                                       | 2     | 3     | 4     | 5    |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|
| 30. Обыкновенный жулан<br><i>Lanius collurio</i>        | 1,50  | –     | 3,68  | 5,68 |
| 31. Обыкновенная иволга<br><i>Oriolus oriolus</i>       | 10,69 | 3,09  | –     | –    |
| 32. Обыкновенный скворец<br><i>Sturnus vulgaris</i>     | 3,70  | –     | 71,01 | –    |
| 33. Сойка<br><i>Garrulus glandarius</i>                 | –     | –     | 0,07  | –    |
| 34. Сорока<br><i>Pica pica</i>                          | –     | –     | –     | 1,15 |
| 35. Галка<br><i>Corvus monedula</i>                     | –     | –     | –     | 3,13 |
| 36. Серая ворона<br><i>Corvus cornix</i>                | 2,42  | 1,24  | –     | 3,13 |
| 37. Ворон<br><i>Corvus corax</i>                        | 0,54  | 0,64  | 0,53  | 2,91 |
| 38. Речной сверчок<br><i>Locustella fluviatilis</i>     | 2,51  | –     | 7,97  | –    |
| 39. Обыкновенный сверчок<br><i>Locustella naevia</i>    | –     | –     | 1,84  | –    |
| 40. Садовая камышевка<br><i>Acrocephalus dumetorum</i>  | –     | 3,00  | 9,80  | –    |
| 41. Болотная камышевка<br><i>Acrocephalus palustris</i> | –     | 7,51  | 2,45  | 4,46 |
| 42. Зеленая пересмешка<br><i>Hippolais icterina</i>     | 76,76 | 37,84 | 15,56 | –    |
| 43. Ястребиная славка<br><i>Sylvia nisoria</i>          | –     | –     | –     | 0,85 |
| 44. Черноголовая славка<br><i>Sylvia atricapilla</i>    | 10,60 | 11,95 | 29,08 | –    |
| 45. Садовая славка<br><i>Sylvia borin</i>               | 35,11 | 55,38 | 23,90 | 6,21 |
| 46. Серая славка<br><i>Sylvia communis</i>              | –     | 4,50  | 25,56 | 9,13 |
| 47. Пеночка-весничка<br><i>Phylloscopus trochilus</i>   | 45,79 | 4,80  | –     | 1,49 |
| 48. Пеночка-теньковка<br><i>Phylloscopus collybita</i>  | 12,82 | 15,96 | 12,34 | 1,84 |
| 49. Пеночка-трещотка<br><i>Phylloscopus sibilatrix</i>  | 3,22  | 5,34  | –     | –    |
| 50. Зеленая пеночка<br><i>Phylloscopus trochiloides</i> | 15,79 | 35,29 | 5,51  | 4,72 |
| 51. Мухоловка-пеструшка<br><i>Ficedula hypoleuca</i>    | 83,58 | 58,86 | –     | –    |
| 52. Мухоловка-белошейка<br><i>Ficedula albicollis</i>   | –     | 66,82 | –     | 1,49 |
| 53. Малая мухоловка<br><i>Ficedula parva</i>            | 1,83  | –     | 1,47  | –    |

Продолжение табл. 2

| 1                                                                       | 2      | 3      | 4     | 5     |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| 54. Серая мухоловка<br><i>Muscicapa striata</i>                         | 37,54  | 109,61 | 5,51  | –     |
| 55. Луговой чекан<br><i>Saxicola rubetra</i>                            | –      | –      | 11,34 | 88,90 |
| 56. Обыкновенная<br>каменка<br><i>Oenanthe oenanthe</i>                 | –      | –      | 0,37  | –     |
| 57. Обыкновенная<br>горихвостка<br><i>Phoenicurus phoenicurus</i>       | 30,13  | 8,41   | –     | –     |
| 58. Зарянка<br><i>Erithacus rubecula</i>                                | 3,76   | 6,76   | 10,66 | –     |
| 59. Обыкновенный<br>соловей<br><i>Luscinia luscinia</i>                 | 4,89   | 15,32  | 18,94 | 1,29  |
| 60. Рябинник<br><i>Turdus pilaris</i>                                   | –      | –      | 8,27  | –     |
| 61. Черный дрозд<br><i>Turdus merula</i>                                | 2,26   | 11,67  | 11,06 | 0,69  |
| 62. Певчий дрозд<br><i>Turdus philomelos</i>                            | 3,33   | 7,08   | 4,41  | 0,40  |
| 63. Деряба<br><i>Turdus viscivorus</i>                                  | 2,82   | 4,88   | –     | 0,40  |
| 64. Буроголовая гаичка<br><i>Parus montanus</i>                         | 32,09  | 13,51  | –     | 0,99  |
| 65. Московка<br><i>Parus ater</i>                                       | 1,88   | –      | –     | –     |
| 66. Обыкновенная<br>лазоревка<br><i>Parus caeruleus</i>                 | –      | 19,14  | 11,64 | –     |
| 67. Большая синица<br><i>Parus major</i>                                | 8,84   | 42,45  | 23,19 | 2,30  |
| 68. Обыкновенный<br>поползень<br><i>Sitta europea</i>                   | 14,91  | 9,53   | 4,60  | –     |
| 69. Обыкновенная пищуха<br><i>Certhia familiaris</i>                    | 4,07   | –      | –     | –     |
| 70. Зяблик<br><i>Fringilla coelebs</i>                                  | 122,68 | 187,17 | 93,28 | 4,72  |
| 71. Обыкновенная<br>зеленушка<br><i>Chloris chloris</i>                 | 5,51   | 3,60   | 11,24 | 4,27  |
| 72. Черноголовый щегол<br><i>Carduelis carduelis</i>                    | 4,39   | 2,25   | 15,32 | 5,58  |
| 73. Коноплянка<br><i>Acanthis cannabina</i>                             | –      | –      | –     | 10,04 |
| 74. Обыкновенная<br>чечевица<br><i>Carpodacus erythrinus</i>            | 2,95   | 6,01   | 2,45  | 1,19  |
| 75. Обыкновенный<br>дубонос<br><i>Coccothraustes<br/>coccothraustes</i> | –      | 5,26   | 2,76  | –     |

## Окончание табл. 2

| 1                                                      | 2     | 3     | 4     | 5     |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 76. Обыкновенная овсянка<br><i>Emberiza citrinella</i> | 2,63  | 20,44 | 22,83 | 12,93 |
| 77. Садовая овсянка<br><i>Emberiza hortulana</i>       | –     | –     | –     | 41,09 |
| Итого:                                                 | 682,0 | 923,7 | 578,2 | 473,3 |

В сосновых лесах доминирующими (более 10 % от общего обилия) видами птиц являются зяблик *Fringilla coelebs* (18,0 %), мухоловка-пеструшка *Ficedula hypoleuca* (12,3 %) и зеленая пересмешка *Hippolais icterina* (11,3 %); в широколиственных лесах – зяблик *Fringilla coelebs* (20,3 %), серая мухоловка *Muscicapa striata* (11,9 %) и лесной конек *Anthus trivialis* (10,8 %); в поймах – зяблик *Fringilla coelebs* (16,1 %), обыкновенный скворец *Sturnus vulgaris* (12,3 %) и лесной конек *Anthus trivialis* (10,6 %); в степях – лесной конек *Anthus trivialis* (24,9 %), полевой жаворонок *Alauda arvensis* (22,4 %) и луговой чекан *Saxicola rubetra* (18,7 %).

Сходство доминирующих видов птиц в поймах и лесных сообществах объясняется преобладающим характером древесной растительности в данных местообитаниях, что, в свою очередь, обуславливает преобладание в данных орнитокомплексах дендрофильной группы птиц, где повсеместно доминирует зяблик *Fringilla coelebs*. Это обстоятельство обуславливает высокое сходство населения птиц данных сообществ. При этом максимальное сходство (62 %) наблюдается между сосновыми и широколиственными лесами, несколько меньшее – между лесными сообществами и поймами (50 %), что объясняется более высокой влажностью в пойменных сообществах и вкраплением пойменных лугов среди древесной пойменной растительности, создающих дополнительные станции для обитания птиц открытых пространств. Наименьшее сходство населения птиц пойменных и лесных сообществ имеет с населением птиц степей (29 %), что связано с преимущественно безлесным характером растительности степных сообществ (рис. 2) и, соответственно, преобладанием птиц открытых пространств.

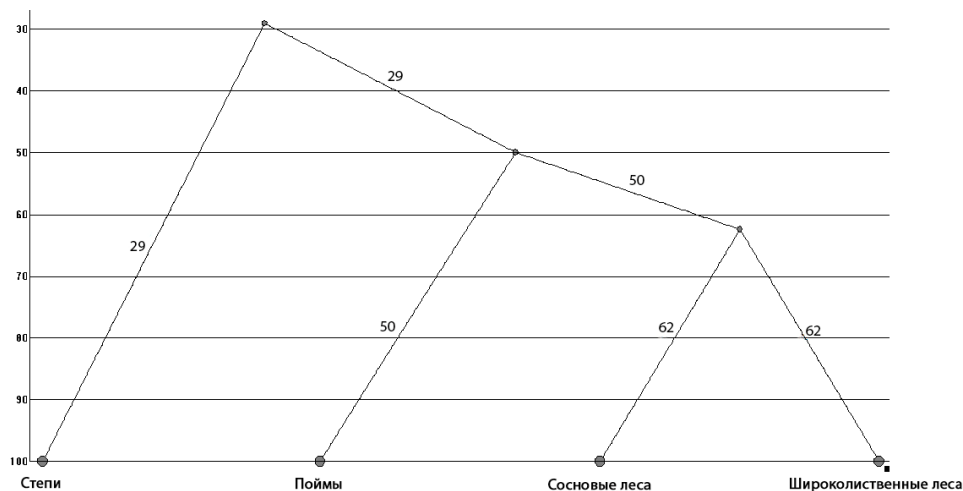


Рис. 2. Сходство населения птиц (%) ключевых ландшафтов национального парка «Сенгилеевские горы»

Если рассматривать результаты кластерного анализа отдельно по вариантам населения птиц (показатели разнообразия и обилия отдельных учетов) в каждом исследованном местообитании, то наблюдается четкая группировка вариантов населения птиц по ключевым ландшафтам (рис. 3). При этом наибольшее сходство вариантов населения птиц в различные периоды гнездового сезона и годы учетных работ наблюдается в сосновых (68–75 %) и широколиственных (65–73 %) лесах, наименьшее – в поймах (40–52 %) и степях (37–79 %).

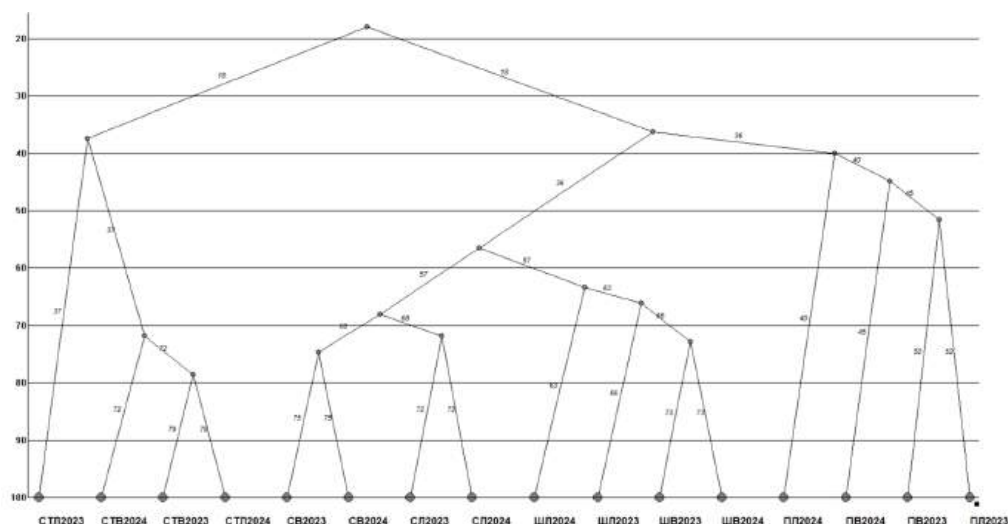


Рис. 3. Сходство вариантов населения птиц (%) в ключевых ландшафтах национального парка «Сенгилеевские горы».

Первые буквы соответствуют типам местообитаний: СТ – степи; С – сосновые леса; Ш – широколиственные леса; П – поймы; вторые буквы соответствуют сезонам учета: В – весна; Л – лето; цифры соответствуют годам учета

### Заключение

Таким образом, исследования орнитокомплексов ключевых ландшафтов национального парка «Сенгилеевские горы» (сосновые и широколиственные леса, поймы, степи) продемонстрировали сопоставимые показатели разнообразия птиц в гнездовой сезон в различных типах местообитаний. При этом наиболее сбалансированные сообщества птиц характерны для пойм (максимальный показатель индекса Шеннона), что обусловлено разнообразием стадий в данном ландшафте и его интразональным характером. В то же время наибольшее суммарное обилие птиц наблюдается в широколиственных лесах, что связано с их высокой продуктивностью. Наибольшим постоянством (стабильностью) отличается население птиц сосновых лесов, где сходство вариантов населения птиц в различные периоды гнездового сезона и годы имеет самые высокие показатели. Наибольшим своеобразием характеризуется население птиц степей, имеющее наименьшее сходство с другими сообществами национального парка «Сенгилеевские горы».

### Список литературы

1. Равкин Ю. С., Ливанов С. Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск : Наука, 2008. 205 с.

2. Равкин Е. С., Равкин Ю. С. Птицы равнин Северной Евразии: численность, распределение и пространственная организация сообществ. Новосибирск : Наука, 2005. 304 с.
3. Равкин Е. С., Челинцев Н. Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. М. : ВНИИ природа Госкомприроды СССР, 1990. 33 с.
4. Равкин Е. С., Челинцев Н. Г. Методические рекомендации по маршрутному учету населения птиц в заповедниках // Организация научных исследований в заповедниках и национальных парках : сб. докл. семинара-совещания. М., 1999. С. 143–155.
5. Новаковский А. Б. Возможности и принципы работы программного модуля Graphs. Сыктывкар : Изд-во Коми научного центра УрО РАН, 2004. 27 с.
6. Степанян Л. С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). М., 2003. 808 с.
7. Павлов П. О., Корепов М. В. Орнитофауна национального парка «Сенгилеевские горы» // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2023. Т. 32, № 4. С. 39–45.

### References

1. Ravkin Yu.S., Livanov S.G. *Faktornaya zoogeografiya: printsipy, metody i teoreticheskie predstavleniya* = Factorial zoogeography: principles, methods and theoretical concepts. Novosibirsk: Nauka, 2008:205. (In Russ.)
2. Ravkin E.S., Ravkin Yu.S. *Ptitsy ravnin Severnoy Evrazii: chislennost', raspredelenie i prostranstvennaya organizatsiya soobshchestv* = Birds of the Northern Eurasian plains: abundance, distribution and spatial organization of communities. Novosibirsk: Nauka, 2005:304. (In Russ.)
3. Ravkin E.S., Chelintsev N.G. *Metodicheskie rekomendatsii po kompleksnomu marshrutnomu uchetu ptits* = Methodological recommendations for complex route census of birds. Moscow: VNI priroda Goskomprirody SSSR, 1990:33. (In Russ.)
4. Ravkin E.S., Chelintsev N.G. Methodological recommendations for route census of bird populations in nature reserves. *Organizatsiya nauchnykh issledovaniy v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh: sb. dokl. seminar-soveshchaniya* = Organization of scientific research in reserves and national parks: collected articles of seminar-meeting. Moscow, 1999:143–155. (In Russ.)
5. Novakovskiy A.B. *Vozmozhnosti i printsipy raboty programmnoy modulya Graphs* = Capabilities and principles of operation of the Graphs software module. Syktyvkar: Izd-vo Komi nauchnogo tsentra UrO RAN, 2004:27. (In Russ.)
6. Stepanyan L.S. *Konspekt ornitologicheskoy fauny Rossii i sopredel'nykh territoriy (v granitsakh SSSR kak istoricheskoy oblasti)* = Abstract of the ornithological fauna of Russia and adjacent territories (within the borders of the USSR as a historical region). Moscow, 2003:808. (In Russ.)
7. Pavlov P.O., Korepov M.V. Avifauna of the National Park “Sengileevskiye Gory”. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* = Samara Luka: issues of regional and global ecology. 2023;32(4):39–45. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Михаил Владимирович Корепов

кандидат биологических наук,  
доцент кафедры биологии и химии,  
Ульяновский государственный  
педагогический университет  
имени И. Н. Ульянова  
(Россия, г. Ульяновск, пл. Ленина, 4)  
E-mail: korepov@list.ru

#### Mikhail V. Korepov

Candidate of biological sciences,  
associate professor of the sub-department  
of biology and chemistry,  
Ulyanovsk State Pedagogical University  
named after I.N. Ulyanov  
(4 Lenina square, Ulyanovsk, Russia)

**Павел Олегович Павлов**

заведующий сектором палеонтологии  
отдела природы,  
Ульяновский областной краеведческий  
музей имени И. А. Гончарова  
(Россия, г. Ульяновск,  
бул. Новый Венец, 3/4)  
E-mail: pavelmml@mail.ru

**Pavel O. Pavlov**

Head of the paleontology sector  
of the department of nature,  
Ulyanovsk Regional Museum of Local  
History named after I.A. Goncharov  
(3/4 Noviy Venets boulevard,  
Ulyanovsk, Russia)

**Семен Викторович Якунин**

магистрант,  
Ульяновский государственный  
педагогический университет  
имени И. Н. Ульянова  
(Россия, г. Ульяновск, пл. Ленина, 4);  
младший научный сотрудник  
отдела природы,  
Ульяновский областной краеведческий  
музей имени И. А. Гончарова  
(Россия, г. Ульяновск,  
бул. Новый Венец, 3/4)  
E-mail: yakunin\_lab@mail.ru

**Semyon V. Yakunin**

Master's degree student,  
Ulyanovsk State Pedagogical University  
named after I.N. Ulyanov  
(4 Lenina square, Ulyanovsk, Russia);  
junior researcher  
of the department of nature,  
Ulyanovsk Regional Museum of Local  
History named after I.A. Goncharov  
(3/4 Noviy Venets boulevard,  
Ulyanovsk, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 06.03.2025**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 24.04.2025**

**Принята к публикации / Accepted 07.05.2025**

УДК 599.426(470.67):591.9+591.5  
doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-5

## Осеннее население рукокрылых (Chiroptera) и его экологические особенности в кластере «Дельта Самура» национального парка «Самурский» (Дагестан, Россия)

Д. Г. Смирнов<sup>1</sup>, А. Г. Джамирзоев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

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

<sup>2</sup>Государственный природный биосферный  
заповедник «Дагестанский», Махачкала, Россия

<sup>1</sup>eptesicus@mail.ru, <sup>2</sup>veozrimahzd@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* В Республике Дагестан на территории кластера «Дельта Самура» национального парка «Самурский» предыдущими исследованиями установлено обитание 19 видов рукокрылых. Полученные сведения в основном относятся к летнему времени, тогда как активность рукокрылых продолжается и в осенние сроки и даже в первый месяц зимы, однако данных об этом крайне мало. В связи с этим целью нашей работы было изучение осеннего населения рукокрылых кластера «Дельта Самура» и выявление некоторых его экологических особенностей, связанных с активностью в этот период года. *Материалы и методы.* Работы проводили с 29 октября по 4 декабря 2024 г. на небольшом участке прибрежного лиственного леса, расположенном в окрестности с. Приморский Магарамкентского р-на. Учеты вели на специально заложенном маршруте, протяженностью около 2,5 км. Для регистрации рукокрылых и определения их полетной активности использовали ультразвуковой детектор BATLOGGER M. Классификацию сигналов проводили вручную с помощью BatSound, а верификацию путем сравнения с ваучерными записями статистическими методами. *Результаты.* В ходе осенних учетов были зарегистрированы эхолокационные сигналы, которые отнесены к 10 видам рукокрылых: *Myotis daubentonii*, *Plecotus auritus*, *Barbastella barbastellus*, *Nyctalus lasiopterus*, *N. noctula*, *N. leisleri*, *Pipistrellus pipistrellus*, *P. pygmaeus*, *P. Nathusii* и *Vespertilio murinus*. Выявлены относительное обилие видов, характер их ночной активности и биотопическое распределение отдельных видов на маршруте. *Выводы.* Осенью в районе проведения работ фоновыми видами являлись *P. pygmaeus* и *P. nathusii*. Обычными, а в некоторые дни учетов и многочисленными были *N. leisleri*, *N. noctula* и *P. pipistrellus*. Лишь по одной записи сделано *Pl. auritus* и *V. murinus*. Осенью начало ночной активности сдвинуто на более раннее время, а ее продолжительность сокращена в среднем до двух часов. Численное соотношение сигналов у некоторых видов менялось по дням и было связано с изменениями температуры окружающей среды. В биотопическом отношении зарегистрированные виды предпочитали охотиться на открытых и полукрытых пространствах и избегали закрытых.

**Ключевые слова:** дельта Самура, эхолокационные сигналы, детекторные учеты, состав видов, ночная активность рукокрылых, относительное обилие, пространственное распределение

**Для цитирования:** Смирнов Д. Г., Джамирзоев А. Г. Осеннее население рукокрылых (Chiroptera) и его экологические особенности в кластере «Дельта Самура» национального парка «Самурский» (Дагестан, Россия) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 51–64. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-5

## Autumn population of Chiroptera and its ecological features in the “Delta Samura” cluster of the national park “Samursky” (Dagestan, Russia)

D.G. Smirnov<sup>1</sup>, A.G. Dzhamirzoev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Penza State University, Penza, Russia

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

<sup>2</sup>State Nature Biosphere Reserve “Dagestanskiy”, Makhachkala, Russia

<sup>1</sup>eptesicus@mail.ru, <sup>2</sup>veozrimahzd@mail.ru

**Abstract.** *Background.* In the Republic of Dagestan, 19 species of bats were found in the “Delta Samura” cluster of the national park “Samursky”. The data obtained is mainly summertime, although bat activity continues in the autumn and even in the early months of winter, but there is very little data on this. Therefore, the aim of our work was to study the autumn population of bats in the “Delta Samura” cluster and to identify some of its ecological features related to activity during this period of the year. *Materials and methods.* The work was carried out from October 29 to December 4, 2024 in a small area of coastal deciduous forest near the village of Primorsky, Magaramkent district. The surveys were carried out along a specially laid out route of approximately 2.5 km in length. A BATLOGGER M ultrasonic detector was used to record bats and determine their flight activity. Signals were manually classified using BatSound and verified by comparison with voucher records using statistical methods. *Results.* During autumn surveys, echolocation calls were recorded and attributed to 10 bat species: *Myotis daubentonii*, *Plecotus auritus*, *Barbastella barbastellus*, *Nyctalus lasiopterus*, *N. noctula*, *N. leisleri*, *Pipistrellus pipistrellus*, *P. pygmaeus*, *P. nathusii* и *Vespertilio murinus*. The relative abundance of species, their nocturnal activity patterns and the biotopic distribution of individual species along the route were revealed. *Conclusions.* In autumn, *P. pygmaeus* and *P. nathusii* were background species in the study area. *N. leisleri*, *N. noctula* and *P. pipistrellus* were common and numerous on some survey days. *Pl. auritus* and *V. murinus* were recorded only once each. In autumn, the onset of nocturnal activity is earlier and its duration is shortened to one hour. The ratio of signals for some species varies from day to day and is related to changes in ambient temperature. The species recorded preferred to hunt in uncluttered (open habitat) moderately cluttered (edge) areas and avoided cluttered (closed) areas.

**Keywords:** Samur delta, echolocation calls, detector surveys, species composition, nocturnal activity of bats, relative abundance, spatial distribution

**For citation:** Smirnov D.G., Dzhamirzoev A.G. Autumn population of Chiroptera and its ecological features in the “Delta Samura” cluster of the national park “Samursky” (Dagestan, Russia). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2025;(1):51–64. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-5

### Введение

Исследование биологического разнообразия на особо охраняемых природных территориях – одна из основных задач природоохранной деятельности, направленной на инвентаризацию и мониторинг фауны и населения, определение и изучение экологии редких видов, оценку состояния их популяций, разработку и внедрение рекомендаций по их охране. В лесных сообществах важнейшим компонентом такого разнообразия являются рукокрылые, выполняющие ключевую экологическую роль, связанную с регуляцией численности

ночных летающих насекомых и распространением вещества и энергии в пространстве и во времени. На территории Дагестана крупнейшим широколиственным массивом, который концентрирует большое разнообразие рукокрылых, является Самурский лиановый лес, относящийся к кластеру «Дельта Самура» национального парка «Самурский».

Первые сведения о рукокрылых Самурского леса относятся к началу XX в. и его второй половине [1–4]. Они в основном имели отрывочный характер и были представлены единичными находками видов. Более детальные исследования этой группы млекопитающих предприняты в начале нулевых годов XXI в., а к концу его первого десятилетия для низовья р. Самур уже было установлено обитание 10 видов [5, 6]. Последующие работы показали, что состав видов рукокрылых здесь значительно шире. Ежегодные исследования в разных частях кластера позволили увеличить список сначала до 17 видов летучих мышей [7], а чуть позже и до 19 видов [8]. В настоящее время можно констатировать, что этот список полон и обнаружение новых видов маловероятно. В связи с этим весьма актуальным становится проведение мониторинговых исследований, направленных на изучение численности, пространственного распределения отдельных видов и оценка состояния их популяций. В последнее время очень полезным в этом аспекте стало использование методов акустического обнаружения и идентификации рукокрылых с помощью высокочувствительных ультразвуковых детекторов [9–14]. Такой тип работ на территории Самурского леса авторами проводится уже на протяжении нескольких последних лет, однако он по большей части направлен на изучение летнего населения. В то же время с учетом географического расположения и климатических особенностей региона активность рукокрылых продолжается и в осенние сроки и даже в первый месяц календарной зимы, однако сведения об этом крайне ограничены и нуждаются в пополнении, а обстоятельства в детальном рассмотрении. В связи с этим целью нашей работы было изучение осеннего населения рукокрылых кластера «Дельта Самура» национального парка «Самурский» и выявления некоторых экологических особенностей, связанных с активностью в этот период года.

### Материалы и методы

*Характеристика района исследования.* Кластер «Дельта Самура» подведомственного ФГБУ «Государственный заповедник "Дагестанский"» национального парка «Самурский» находится на крайнем юго-востоке Дагестана и включает в себя Самурский лиановый лес и прилегающую акваторию Каспийского моря. Согласно физико-географическому районированию [15], территория входит в состав Приморско-Дагестанской провинции Горно-Дагестанской ландшафтной области Большого Кавказа. Дельта представляет собой наклонную аллювиальную равнину, изрезанную многочисленными протоками реки Самур и Гюльгеричай. В устьевой части вместе с многочисленными родниковыми ручьями образовались небольшие заболоченные участки, мелководные озера и приморские лагуны, обильно зарастающие надводной растительностью и тростником. Средние зимние температуры воздуха здесь положительные, а летние – относительно высокие с небольшим количеством осадков. В целом дельта Самура является уникальной природной системой фильтрации, аккумуляции и перераспределения надземного и подземного

стока речных вод, благодаря чему в этой аридной зоне побережья Каспия сохранился единственный в России крупный массив реликтовых лиановых лесов с элементами гирканской третичной флоры. В биотическом отношении кластер представляет собой сложный комплекс преимущественно лесных ландшафтов, образованных тополевыми, ольховниками, дубравами и грабовыми лесами с элементами лугово-болотных ландшафтов и антропогенной трансформации [16–19].

*Методы сбора и обработки материала.* Работы в кластере «Дельта Самура» проводили с 29 октября по 4 декабря 2024 г. на небольшом участке прибрежного лиственного леса, расположенном в окрестности рыбообразных прудов у с. Приморский Магарамкентского р-на. Учеты вели на специально заложенном маршруте, общей протяженностью около 2,5 км. Маршрутная линия охватывала наиболее типичные места концентрации рукокрылых во время кормовой активности и пути их пролета: дороги и тропы, поляны и опушки, берега водоемов и открытые (без древостоя) участки с кустарниковой растительностью (рис. 1). Также в одной точке проводили отлов рукокрылых паутинными сетями.



Рис. 1. Район проведения работ в период с 10 октября по 4 декабря 2024 г. в кластере «Дельта Самура» национального парка «Самурский». Стрелки – маршрутная линия детекторного учета, кружок – место отлова рукокрылых сетями

Для лучшего понимания ассоциации видов к определенным кормовым станциям маршрутная линия была поделена на пять участков. Участок 1 расположен на расстоянии 200–400 м от береговой линии Каспийского моря, включает дорогу по валам старых рыбообразных прудов, обильно заросших надводной растительностью, небольшую поляну и водотоки лесных речек-карасу, с древесной растительностью и кустарниковыми зарослями по берегам.

Участок 2 – небольшая поляна с дорогой и строениями на краю лесного массива, с протоками лесных речек-карасу и густыми зарослями кустарниковой и лиановой растительности. Участок 3 – дорога вдоль высокоствольного старовозрастного широколиственного леса, местами открывающаяся прогалками на небольшие смежные поляны; дорожный коридор шириной около 4 м, местами с полной сомкнутостью крон. Участок 4 – нижняя часть довольно большой луговины на опушке старовозрастного широколиственного леса, с объектами Приморского рыбопроизводного завода. Участок 5 – верхние рыбопроизводные пруды (пруд 2), по валам и окрестностям которого произрастает древесная и густая кустарниковая растительность.

Для регистрации рукокрылых и определения их полетной активности использовали ультразвуковой детектор BATLOGGER M (Elekon AG, Switzerland), представляющий собой автоматизированную систему записи сигналов полного спектра, географических координат и температуры в режиме реального времени. Фиксацию сигналов начинали примерно через 20–30 мин после начала вылета рукокрылых из дневных убежищ. Общая продолжительность учетов в разные дни не всегда была одинаковой и составляла от 30 мин до 3 ч. Отсутствие строгой временной фиксации при проведении учетов компенсировали путем пересчета количества записей каждого вида на единицу времени, в качестве которой принимали один астрономический час.

Полученные записи вначале подвергали первичной фильтрации и классификации с использованием программы BatExplorer 2.0 (Elekon AG, Switzerland). На втором этапе сигналы анализировали вручную в программе BatSound 4.4 (Pettersson Elektronik AB). Для анализа отбирали только четкие импульсы из серий поисковых с пиковой интенсивностью не менее –30 дБ. При меньшем показателе интенсивности часть частотного спектра теряется, что приводит к недостаточности измерения и ошибочной идентификации. Записи, которые имели невысокую вероятность верного определения или по которым невозможно было определить видовую принадлежность, исключали из обработки. Таким образом, всего авторами было просмотрено 1134 файла с записями, сделанными детектором. Из этого числа подходящими для обработки оказалось 755 файлов, которые включали 9737 сигналов разных видов рукокрылых. Из обработки были исключены 379 файлов.

Основные измерения в BatSound проводили на осциллограммах и спектрограммах в окне Хэннинга по ранее описанным параметрам [9]. Для классификации записей использовали известные видовые характеристики сигналов [11, 13, 20, 21], а также проводили их сравнение с оригинальной библиотекой записей эхолокационных сигналов рукокрылых. Оригинальная библиотека включает несколько сотен ваучерных файлов, записанных с мая по октябрь в различных восточных регионах Европейской части России и российской части Восточного Кавказа от 26 европейских видов рукокрылых с соблюдением надлежащих условий для точной их идентификации [11, 22]. В качестве вспомогательного модуля для верификации данных использовали многомерный дискриминантный анализ, где ваучерные записи служили обучающими выборками. Анализируемые сигналы считали положительно классифицированными, если их процент коррекции с ваучерными сигналами составлял не менее 90 %. Все поисковые сигналы *P. nathusii* и *P. kuhlii*, которые по своим характеристикам практически не отличаются, мы относили к первому виду, руководствуясь тем, что *P. kuhlii* за несколько лет проведения в данной локации работ никогда не был отмечен.

После классификации подсчитывали количество записей для каждого установленного вида рукокрылых в расчете на один час учетного времени. Эти значения авторы рассматривали как *показатель активности видов*. Полученные данные по активности использовали для вычисления показателя их относительного обилия. *Под относительным обилием отдельного вида* понимали долю записей с его сигналами по отношению к общему числу записей всех видов, сделанных в конкретный день учета, выраженную в процентах. Для визуализации отношения видов рукокрылых к местам их регистрации на участках учетного маршрута использовали построение бипартидного графа. Для установления связи между количеством записей, сделанных для каждого вида, и изменениями температурных условий внешней среды по дням был применен непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $R_s$ ). Все тесты считали значимыми при  $p < 0,05$ . Расчеты осуществляли с помощью пакетов программ Statistica®6.0 и Past 1.8., а рисунки – с помощью Adobe Photoshop CS 7, QGIS 3.4.5 и пакета R.

### Результаты и обсуждение

В ходе осенних детекторных учетов были зарегистрированы эхолокационные сигналы, которые по итогу классификации отнесены к 10 видам рукокрылых: *Myotis daubentonii* (Kuhl 1817), *Plecotus auritus* (Linnaeus 1758), *Barbastella barbastellus* Schreber 1774, *Nyctalus lasiopterus* (Schreber 1780), *N. noctula* (Schreber 1774), *N. leisleri* (Kuhl 1817), *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber 1774), *P. pygmaeus* Leach 1825, *P. nathusii* (Keyserling, Blasius 1839) и *Vespertilio murinus* Linnaeus 1758. По результату отлова сетями, проведенного 10 октября на участке 1, авторами были пойманы одна молодая самка *N. leisleri* и один взрослый самец *P. pygmaeus*.

Численное соотношение видов в районе проведения работ было неодинаково и заметно менялось по дням (рис. 2).

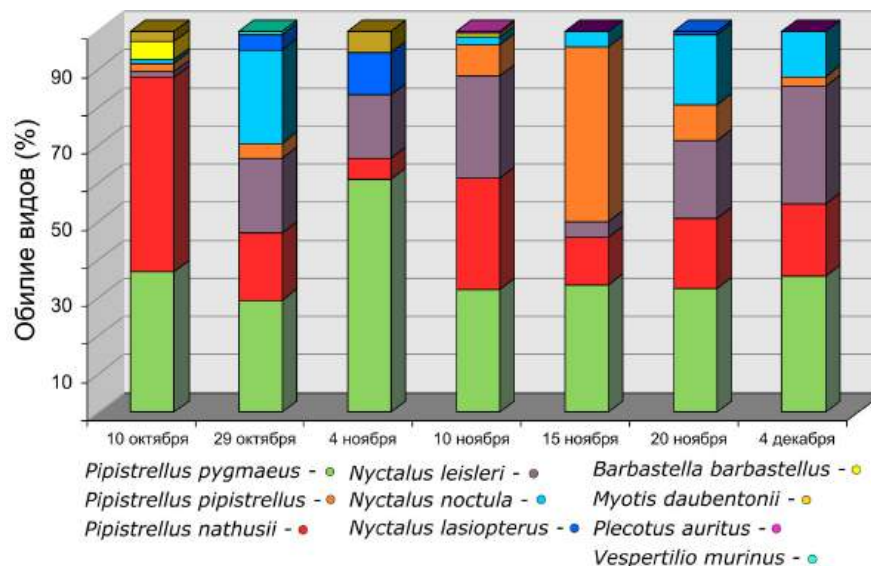


Рис. 2. Относительное обилие 10 видов рукокрылых, отмеченных в ходе детекторных учетов в период с 10 октября по 4 декабря 2024 г. в кластере «Дельта Самура» национального парка «Самурский»

Из числа выявленных только три вида авторы регистрировали каждый день – это *P. pygmaeus*, *P. nathusii* и *N. leisleri*. По количеству сигналов самыми многочисленными на маршруте были *P. pygmaeus* и *P. nathusii*, их обилие в разные дни изменялось от 27,6 до 61,1 % и от 5,6 до 51,1 % соответственно. Показатель относительного обилия у первого из них достигал максимума 4 ноября. В этот день, по сравнению с предыдущими, отмечено существенное падение температуры воздуха и резкое сокращение общего количества сигналов всех видов в кормовых стациях (рис. 3). У *P. nathusii* показатель обилия был максимален 10 октября. Этот день, наоборот, оказался самым теплым за весь период наблюдений, и вечером этого дня отмечено наибольшее количество сигналов и видов рукокрылых. Относительное обилие *N. leisleri* в большинстве случаев оставалось примерно постоянным за исключением 10 октября (рис. 2, 4) и 15 ноября, когда отмечено сравнительно небольшое количество его сигналов.

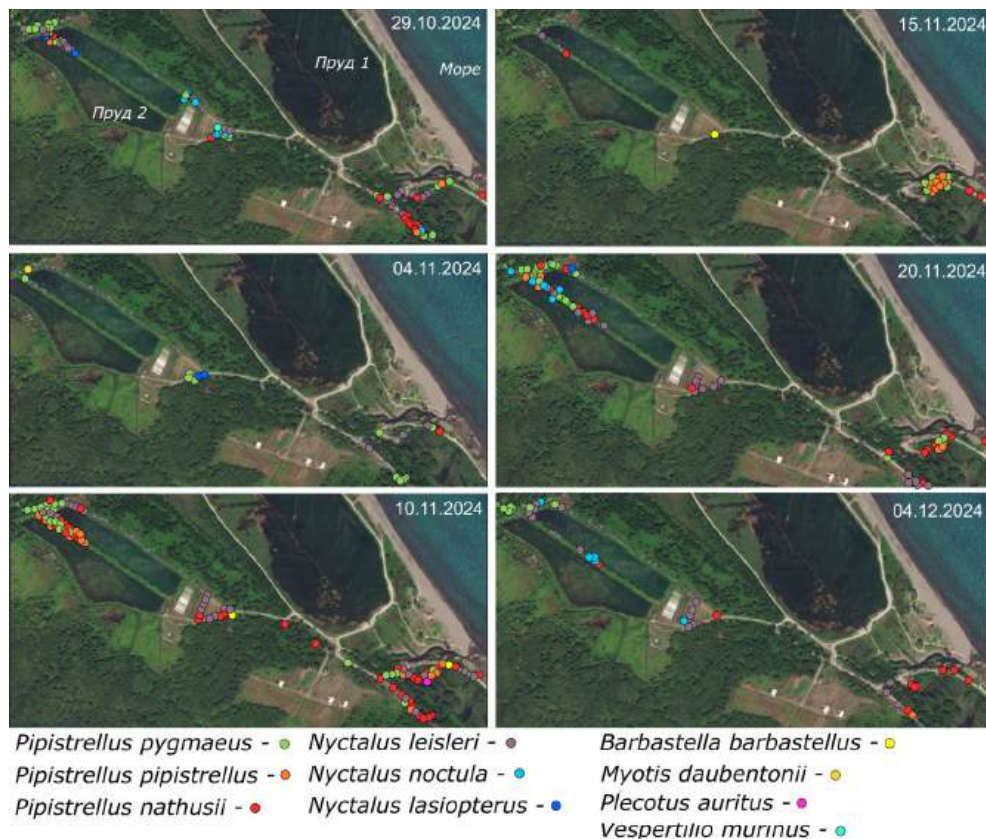


Рис. 3. Места регистрации сигналов 10 видов рукокрылых на учетном маршруте в период с 29 октября по 4 декабря 2024 г. в кластере «Дельта Самура» национального парка «Самурский»

Интерес представляют *N. noctula* и *P. pipistrellus*, сигналы которых почти каждый день в разной степени присутствовали в учетах, но за исключением лишь 4 ноября, когда они не отмечены. С чем связано такое неравномерное их пребывание в районе проведения работ, не понятно. Снижение температуры воздуха вряд ли могло оказать существенное влияние на актив-

ность этих видов, так как, например, 15 ноября при таком же падении температуры воздуха, как и 4 ноября (рис. 5), сигналы *P. pipistrellus* среди отмеченных в этот день видов были доминирующими. Мы не исключаем, что такое изменение показателя относительного обилия могло быть связано с перемещением видов к локальным местам зимовок или вследствие перекочек между ними. По всей видимости, сходную причину можно предположить и для *N. lasiopterus*, который в Дагестане является редким и отмечен авторами ранее в кластере «Дельта Самура» преимущественно осенью и весной [23]. В период проведения работ самыми малочисленными по количеству сигналов были *B. barbastellus*, *M. daubentonii*, *Pl. auritus* и *V. murinus*. Первые два вида в теплый период года относительно обычные. Например, *B. barbastellus* регулярно отмечен летом на опушечных стациях, а *M. daubentonii* многочислен над водоемами. Находки *Pl. auritus* и *V. murinus* всегда были редкими.

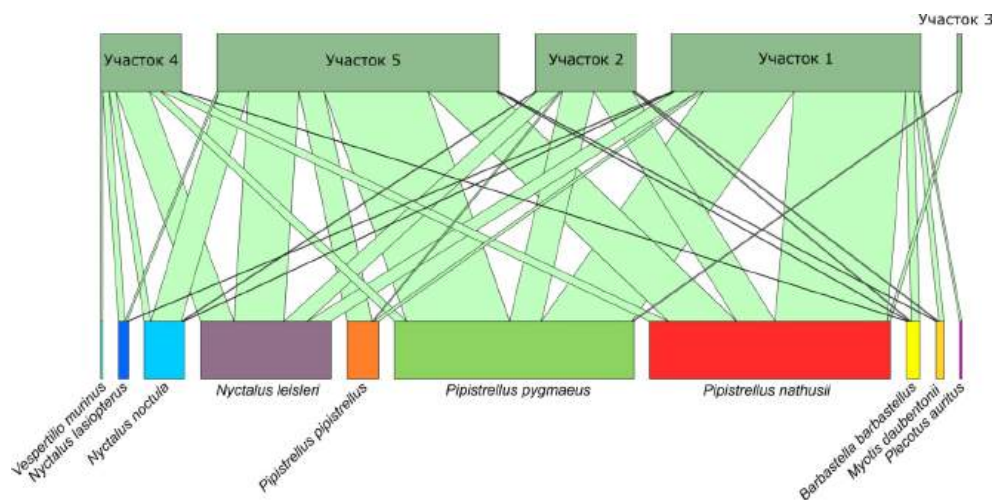


Рис. 4. Бипартитный граф, показывающий соотношение 10 видов рукокрылых с местами их регистрации на пяти участках учетного маршрута.

Связи между узлами представляют собой сумму всех случаев регистрации эхолокационных сигналов видов на разных участках маршрута

Анализ акустической активности рукокрылых на разных участках маршрута позволил выявить пространственное распределение видов и предпочитаемые места охоты (рис. 3). Наибольшее число сигналов рукокрылых было отмечено на участках 1, 2 и 5, тогда как наименьшее – на участке 3 (рис. 4). При понижении температуры окружающей среды 4 и 15 ноября сигналы преимущественно регистрировали на участке 1, а 4 декабря – на участках 1 и 5. Фоновые виды – *P. pygmaeus* и *P. nathusii* – встречались на всем протяжении маршрута. Однако самой привлекательной стацией для нетопырей, судя по количеству отмеченных сигналов, был западный край пруда 2 в пределах участка маршрута 5. Здесь кормилось большое количество особей, которые летали как над водоемом и прибрежным кустарником, так и вдоль дорог на дамбах, ограниченных древесной и кустарниковой растительностью. Охотившихся вечерниц визуально и с помощью детектора отмечали над опушками, полянами, кронами деревьев и водоемами. У *B. barbastellus* наибольшее число сигналов зафиксировано на участке 1 (рис. 4), где животные по большей части корми-

лись вдоль густой кустарниковой и тростниковой растительности, произрастающей по берегам реки-карасу и валам рыбообразного пруда. Здесь же отмечено большинство сигналов *M. daubentonii* и сделана единственная запись *Pl. auritus*. Единственная запись *V. murinus* сделана на участке 3.

Осенью вечерняя активность у рукокрылых по сравнению с активностью летнего периода начинается относительно рано. В конце первой декады октября первые эхолокационные сигналы летающих животных авторы зарегистрировали в 17:50 (по московскому времени). По мере уменьшения продолжительности дня и более раннего наступления сумерек время вылета рукокрылых и появления их в кормовых стациях смещалось на более ранние сроки. Так, 10 ноября первые сигналы отмечали уже в 17:06, а 4 декабря – в 16:38.

Продолжительность ночной активности по дням также изменялась и во многом отличалась от такового лета. В июне – августе рукокрылые кормятся на протяжении всего темного времени суток либо имеют двухфазную активность, которая приходится на первую половину ночи и на предрассветные часы. Осенью массовый лет животных укладывался в сравнительно короткий временной промежуток, начинающийся сразу после наступления сумерек. Например, 10 октября он приходился на период с 17:55 до 19:15 (рис. 5), после чего количество эхолокационных сигналов в местах обычной регистрации кормовой активности резко падало, а после 20:00 отмечали лишь единичные пролеты. В более поздние сроки (ноябрь – начало декабря) время активности сокращалось буквально до одного часа. Очень короткий период активного лета авторы связывают с существенным падением температуры воздуха. Днем она могла составлять от  $+16^{\circ}$  до  $+25^{\circ}$   $^{\circ}\text{C}$ , к вечеру снижалась до  $+12^{\circ}\dots +16^{\circ}$   $^{\circ}\text{C}$ , а ночью достигала  $+7^{\circ}\dots +11^{\circ}$   $^{\circ}\text{C}$ . По всей видимости, это фактор оказывал сильное влияние и на численность и биомассу летающих насекомых, служащих рукокрылым основной кормовой базой. При снижении температуры отмечалось резкое уменьшение их численности.

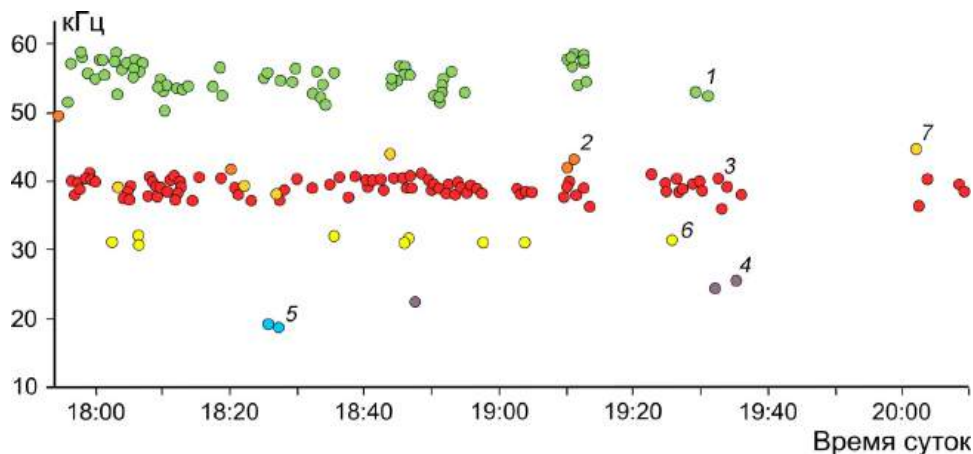


Рис. 5. Временная активность семи видов рукокрылых (показана количеством точек во временном промежутке), отмеченная 10 октября на учетном маршруте в кластере «Дельта Самура» национального парка «Самурский». Каждая точка соответствует одной записи сигнала. Ось ординат отражает показатель пиковой частоты сигналов: 1 – *Pipistrellus pygmaeus* (зеленый), 2 – *P. pipistrellus* (оранжевый), 3 – *P. nathusii* (красный), 4 – *Nyctalus leisleri* (фиолетовый), 5 – *N. noctula* (голубой), 6 – *Barbastella barbastellus* (желтый), 7 – *Myotis daubentonii* (темно-желтый)

Изучение активности рукокрылых по дням в период с 10 октября по 4 декабря показало очень сильную положительную ее связь с ходом температуры для таких видов, как *P. pygmaeus* ( $R_s = 0,92$ ,  $p = 0,001$ ), *P. nathusii* ( $R_s = 0,92$ ,  $p < 0,001$ ) и *N. leisleri* ( $R_s = 0,74$ ,  $p = 0,03$ ). Хорошая зависимость также прослежена для *P. pipistrellus* ( $R_s = 0,63$ ), *B. barbastellus* ( $R_s = 0,56$ ) и *N. noctula* ( $R_s = 0,56$ ), однако корреляционные показатели для этих видов оказались с низким уровнем значимости ( $p > 0,05$ ). Таким образом, анализ показал, что активность рукокрылых была существенно выше в те дни, когда температуры воздуха превышала  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и резко падала при более низких значениях (рис. 6). Например, 10 и 29 октября, 10 и 20 ноября, когда температура окружающей среды составляла от  $+13^{\circ}$  до  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$  было отмечено наибольшее количество эхолокационных сигналов. Наоборот, 26 ноября и 1 декабря, при вечерней температуре  $+7^{\circ}\dots+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , лет рукокрылых не отмечен, тогда как 4 декабря при температуре  $+9\text{ }^{\circ}\text{C}$  удалось зафиксировать небольшое количество сигналов. Общая же тенденция сводится к тому, что большинство рукокрылых продолжает проявлять летную активность на протяжении всей осени и даже в самом начале зимы. Это касается, по всей видимости, всех популяций независимо от их характера пребывания в регионе. По мере снижения температуры активность закономерно снижается, а к концу первой декады декабря летающих животных практически уже нет.

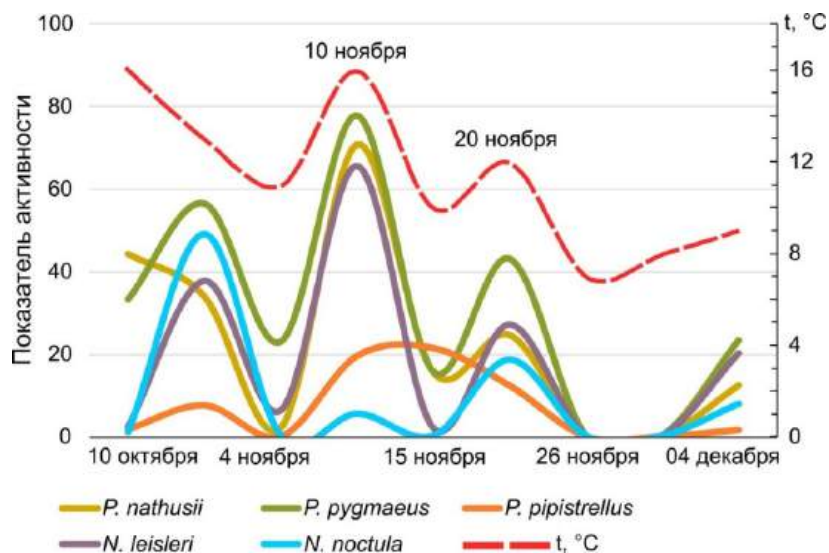


Рис. 6. Изменение показателя активности пяти видов рукокрылых в зависимости от температуры ( $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) в период с 10 октября по 4 декабря 2024 г. в кластере «Дельта Самура» национального парка «Самурский». Значения корреляции ( $R_s$ ) указаны в тексте

### Заключение

В ходе осенних маршрутных учетов, проведенных с помощью ультразвукового детектора, было отмечено 10 видов рукокрылых, что составило чуть больше половины (53 %) известного видового состава хироптерофауны кластера «Дельта Самура». Самыми массовыми на протяжении всего периода работ были *P. pygmaeus* и *P. nathusii*. Каждый день регистрировали *N. leisleri*,

а *N. noctula* и *P. pipistrellus* отсутствовали только в один из дней. Существенно меньше сигналов отмечено у *N. lasiopterus*, *B. barbastellus* и *M. daubentonii*, а для *Pl. auritus* и *V. murinus* за все время сделано лишь по одной записи. Осенью в отличие от летнего периода из-за сокращения продолжительности дня начало ночной активности сдвигается на более ранние часы. Большое значение для рукокрылых имеет температура окружающей среды, которая может влиять на численность и активность добычи, а также физиологические процессы в организме и расход энергии. Поэтому скорее всего из-за падения температур и снижения численности в кормовых станциях насекомых продолжительность ночной активности сокращалась до трех, а в некоторых случаях и до одного часа. Численное соотношение сигналов у видов менялось по дням, что у многих видов, как показали расчеты, также связано с изменениями температуры. Не исключено, что для некоторых видов (*P. pipistrellus* и *N. noctula*) причиной увеличения показателя относительного обилия в отдельные дни мог быть приток новых особей вследствие их перемещения с других территорий к локальным местам зимовок или же из-за мелких местных перекочевок. В биотопическом отношении зарегистрированные виды предпочитали охотиться на больших и малых лесных полянах, по опушкам, вдоль кустарниковых зарослей и на малой высоте над водоемами (*P. pygmaeus*, *P. pipistrellus*, *P. nathusii*, *B. barbastellus*, *N. leisleri* и *N. noctula*), а часть на большой высоте над прудами и над пологом леса (*N. leisleri*, *N. noctula* и *N. lasiopterus*). Меньше всего сигналов отмечено вдоль лесных дорог. Среди отмеченных видов рукокрылых в Красную книгу Республики Дагестан занесены *N. lasiopterus* и *B. barbastellus* [24].

#### Список литературы

1. Беме Л. Б. Результаты обследования заказников Самурский и Парабочевский ГНКЗ ДАССР // Известия Горского педагогического института. 1928. № 3. С. 141.
2. Темботов А. К. География млекопитающих Северного Кавказа. Нальчик : Эльбрус, 1972. 245 с.
3. Амирханов З. М. Размещение рукокрылых в Дагестане // Рукокрылые (Chiroptera). М. : Наука, 1980. С. 63–69.
4. Кожурина Е. И., Стрелков П. П. Редкие виды рукокрылых фауны бывшего СССР и России // Редкие виды млекопитающих России и сопредельных территорий. М. : Териол. о-во, 1999. С. 168–187.
5. Газарян С. В., Джамирзоев Г. С. Итоги и перспективы изучения хироптерофауны Дагестана // Млекопитающие горных территорий : материалы Междунар. конф. (4–9 сентября 2005 г.). М. : КМК, 2005. С. 49–57.
6. Газарян С. В., Джамирзоев Г. С. Хироптерофауна Самурского заказника и прилегающих территорий // Труды Государственного природного заповедника «Дагестанский». Махачкала, 2008. № 2. С. 101–104.
7. Смирнов Д. Г., Джамирзоев Г. С., Вехник В. П., Быков Ю. А. Редкие и малоизученные виды рукокрылых федеральных ООПТ Республики Дагестан // Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П. Г. Смидовича. Саранск : Заповедная Мордовия, 2021. Вып. 29. С. 391–401.
8. Джамирзоев Г. С., Смирнов Д. Г., Быков Ю. А. [и др.]. Рукокрылые федеральных ООПТ Дагестана. История изучения и видовой состав // Труды Государственного природного биосферного заповедника «Дагестанский». Махачкала : АЛЕФ, 2023. Вып. 19. С. 114–123
9. Смирнов Д. Г., Климов А. С., Нумеров А. Д., Труфанова Е. И. Опыт использования ультразвукового модуля EchoMeterTouch в исследованиях видового состава,

- встречаемости и биотопических предпочтений рукокрылых (Chiroptera, Vespertilionidae) в Воронежской области // Зоологический журнал. 2022. Т. 101, № 8. С. 914–928. doi: 10.31857/S0044513422080104
10. Parsons S., Jones G. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks // Journal of experimental biology. 2000. Vol. 203, № 17. P. 2641–2656.
  11. Russo D., Jones G. Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls // Journal of Zoology. 2002. Vol. 258. P. 91–103.
  12. Fukui D., Agetsuma N., Hill D. A. Acoustic Identification of Eight Species of Bat (Mammalia: Chiroptera) Inhabiting Forests of Southern Hokkaido, Japan: Potential for Conservation Monitoring // Zoological science. 2004. Vol. 21. P. 947–955.
  13. Walters C. L., Freeman R., Collen A. [et al.]. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats // Journal of Applied Ecology. 2012. Vol. 49. P. 1064–1074.
  14. Jones K. E., Russ J., Bashta A.-T. [et al.]. Indicator Bats Program: a system for the global acoustic monitoring of bats // Biodiversity monitoring and conservation: bridging the gaps between global commitment and local action / ed. by B. Collen, N. Pettorelli, J. E. M. Baillie, S. Durant. London : Wiley-Blackwell, 2013. P. 213–247.
  15. Атаев З. В. Физико-географическое районирование // Атлас Республики Дагестан. М. : Федеральная служба геодезии и картографии России, 1999. 19 с.
  16. Гаджиева З. Х., Соловьев Д. В. Климат // Физическая география Дагестана. М. : Школа, 1996. С. 150–184.
  17. Атаев З. В., Магомедова А. З. Климатические особенности бассейна реки Самур на Восточном Кавказе // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 172–174.
  18. Атаев З. В., Братков В. В. Абдулаев К. А., Гаджибеков М. И. Ландшафты национального парка «Самурский» // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2020. Т. 14, № 3. С. 63–80. doi: 10.31161/1995-0675-2020-14-3-63-80
  19. Джамирзоев Г. С., Букреев С. А., Атаев З. В. [и др.]. Особо охраняемые природные территории Республики Дагестан // Труды Государственного природного заповедника «Дагестанский». Махачкала : АЛЕФ, 2020. Вып. 16. 368 с.
  20. Barataud M. Acoustic ecology of European bats. Species Identification and Studies of Their Habitats and Foraging Behaviour. Biotope Editions, Mèze; National Museum of Natural History, Paris (collection Inventaires et biodiversité). 2015. 340 p.
  21. Russ J. Bat Calls of Britain and Europe. A Guide to Species Identification. London : Pelagic Publishing Ltd., 2021. 432 p.
  22. Waters D. A., Gannon W. L. Bat call libraries: management and potential use // Bat echolocation research / ed. by R. M. Brigham, E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, H. J. G. A. Limpens. Bat Conservation International. Austin, 2004. P. 150–157.
  23. Смирнов Д. Г., Джамирзоев Г. С., Газарян С. В. Гигантская вечерница – *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780) // Красная книга Республики Дагестан. Махачкала : Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. С. 687–689
  24. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала : Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. 800 с.

## References

1. Beme L.B. Results of the survey of the Samursky and Parabochesky State Nature Reserves of the Dagestan ASSR. *Izvestiya Gorskogo pedagogicheskogo instituta* = Proceedings of Gorkiy Pedagogical Institute. 1928;(3):141. (In Russ.)
2. Tembotov A.K. *Geografiya mlekopitayushchikh Severnogo Kavkaza* = Geography of mammals of the North Caucasus. Nal'chik: El'brus, 1972:245. (In Russ.)
3. Amirkhanov Z.M. Bats' distribution in Dagestan. *Rukokrylye (Chiroptera)* = Bats *Chiroptera*. Moscow: Nauka, 1980:63–69. (In Russ.)

4. Kozhurina E.I., Strelkov P.P. Rare species of bats of the fauna of the former USSR and Russia. *Redkie vidy mlekopitayushchikh Rossii i sopredel'nykh territoriy* = Rare species of mammals of Russia and adjacent territories. Moscow: Teriol. o-vo, 1999:168–187. (In Russ.)
5. Gazaryan S.V., Dzhmirzoev G.S. Results and prospects of studying the chiropterofauna of Dagestan. *Mlekopitayushchie gornyykh territoriy: materialy Mezhdunar. konf. (4–9 sentyabrya 2005 g.)* = Mammals of mountainous territories: proceedings of the International conference (September 4–9, 2005). Moscow: KMK, 2005:49–57. (In Russ.)
6. Gazaryan S.V., Dzhmirzoev G.S. Chiropterofauna of the Samursky Reserve and adjacent territories. *Trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Dagestanskiy»* = Proceedings of the State Nature Reserve “Dagestan”. Makhachkala, 2008;(2):101–104.
7. Smirnov D.G., Dzhmirzoev G.S., Vekhnik V.P., Bykov Yu.A. Rare and poorly studied species of bats of federal protected areas of the Republic of Dagestan. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika imeni P.G. Smidovicha* = Proceedings of the Mordovian State Nature Reserve named after P.G. Smidovich. Saransk: Zapovednaya Mordoviya, 2021;(29):391–401. (In Russ.)
8. Dzhmirzoev G.S., Smirnov D.G., Bykov Yu.A. et al. Bats of federal protected areas of Dagestan. History of study and species composition. *Trudy Gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika «Dagestanskiy»* = Proceedings of the State Nature Reserve “Dagestan”. Makhachkala: ALEF, 2023;(19):114–123. (In Russ.)
9. Smirnov D.G., Klimov A.S., Numerov A.D., Trufanova E.I. Experiments with the use of the EchoMeterTouch ultrasonic module in studies of the species composition, visibility and biotopic characteristics of bat-winged prey (Chiroptera, Vespertilionidae) in the Voronezh region. *Zoologicheskiy zhurnal* = Zoological journal. 2022;101(8): 914–928. (In Russ.). doi: 10.31857/S0044513422080104
10. Parsons S., Jones G. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *Journal of experimental biology*. 2000;203(17):2641–2656.
11. Russo D., Jones G. Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls. *Journal of Zoology*. 2002;258:91–103.
12. Fukui D., Agetsuma N., Hill D.A. Acoustic Identification of Eight Species of Bat (Mammalia: Chiroptera) Inhabiting Forests of Southern Hokkaido, Japan: Potential for Conservation Monitoring. *Zoological science*. 2004;21:947–955.
13. Walters C.L., Freeman R., Collen A. et al. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*. 2012;49:1064–1074.
14. Jones K.E., Russ J., Bashta A.-T. et al. Indicator Bats Program: a system for the global acoustic monitoring of bats. *Biodiversity monitoring and conservation: bridging the gaps between global commitment and local action*. Ed. by B. Collen, N. Pettorelli, J.E.M. Baillie, S. Durant. London: Wiley-Blackwell, 2013:213–247.
15. Ataev Z.V. Physical and geographical zoning. *Atlas Respubliki Dagestan* = Atlas of the Republic of Dagestan. Moscow: Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii, 1999:19. (In Russ.)
16. Gadzhieva Z.Kh., Solov'ev D.V. Climate. *Fizicheskaya geografiya Dagestana* = Physical geography of Dagestan. Moscow: Shkola, 1996:150–184. (In Russ.)
17. Ataev Z.V., Magomedova A.Z. Climatic features of the Samur River basin in the Eastern Caucasus. *Molodoy uchenyy* = Young scientist. 2013;(3):172–174. (In Russ.)
18. Ataev Z.V., Bratkov V.V., Abdulaev K.A., Gadzhibekov M.I. Landscapes of the National Park “Samursky”. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* = Proceedings of Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences. 2020;14(3):63–80. (In Russ.). doi: 10.31161/1995-0675-2020-14-3-63-80

19. Dzhmirzoev G.S., Bukreev S.A., Ataev Z.V. et al. Specially protected natural areas of the Republic of Dagestan. *Trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Dagestanskiy»* = Proceedings of the State Nature Reserve “Dagestan”. Makhachkala: ALEF, 2020;16:368. (In Russ.)
20. Barataud M. Acoustic ecology of European bats. Species Identification and Studies of Their Habitats and Foraging Behaviour. Biotope Editions, Mèze; National Museum of Natural History, Paris (collection Inventaires et biodiversité). 2015. 340 p.
21. Russ J. *Bat Calls of Britain and Europe. A Guide to Species Identification*. London: Pelagic Publishing Ltd., 2021:432.
22. Waters D.A., Gannon W.L. Bat call libraries: management and potential use. *Bat echolocation research*. Ed. by R.M. Brigham, E.K.V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, H.J.G.A. Limpens. Bat Conservation International. Austin, 2004:150–157.
23. Smirnov D.G., Dzhmirzoev G.S., Gazaryan S.V. Giant Noctule Bat – *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780). *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* = Red Book of the Republic of Dagestan. Makhachkala: Tipografiya IP Dzhmaludinov M.A., 2020:687–689. (In Russ.)
24. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* = Red Book of the Republic of Dagestan. Makhachkala: Tipografiya IP Dzhmaludinov M.A., 2020:800. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Дмитрий Григорьевич Смирнов

доктор биологических наук, доцент,  
профессор кафедры зоологии  
и экологии,  
Пензенский государственный  
университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: eptesicus@mail.ru

#### Dmitriy G. Smirnov

Doctor of biological sciences, associate  
professor, professor of the sub-department  
of zoology and ecology,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### Агарагим Гаджибекович Джамирзоев

студент,  
Дагестанский государственный  
университет  
(Россия, г. Махачкала,  
ул. Магомета Гаджиева, 41);  
научный сотрудник,  
Государственный природный  
биосферный заповедник  
«Дагестанский»  
(Россия, г. Махачкала, ул. Гагарина, 120)  
E-mail: veozrimahzd@mail.ru

#### Agaragim G. Dzhmirzoev

Student,  
Dagestan State University  
(41 Magomet Gadzhiev street,  
Makhachkala, Russia);  
researcher,  
State Nature Biosphere Reserve  
“Dagestanskiy”  
(120 Gagarina street, Makhachkala,  
Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 02.04.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 29.04.2025

Принята к публикации / Accepted 05.05.2025

УДК 635.654.3 638.138.1 581.162.41 574.24  
doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-6

## Оценка жизнеспособности *in vitro* и морфологии пыльцы образцов вигны (*Vigna unguiculata*) при интродукции на юге Западной Сибири

Ц. Сунь<sup>1</sup>, Ю. В. Фотев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

<sup>1</sup>t.sun1@g.nsu.ru, <sup>2</sup>fotev\_2009@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Вигна – новая для России овощная культура с высокой теплолюбивостью, препятствующей расширению области ее выращивания в регионах с континентальным климатом. На основе выбора оптимальной концентрации осмотически активного вещества (сахароза, ПЭГ 6000) оценена связь прорастания пыльцы образцов вигны *in vitro* при оптимальной (25 °C) и низкой (6 °C) температурах с ее морфометрическими показателями. *Материалы и методы.* Исследованы морфометрические особенности и реакция микрогаметофитов восьми образцов вигны (*Vigna unguiculata*) на низкую температуру *in vitro*. Оптимальную концентрацию осмотически активного вещества (сахароза, ПЭГ 6000) определяли при разной ее концентрации в среде (10, 20, 30 %). Для морфометрии пыльцевых зерен (п.з.) использовали электронный микроскоп Hitachi TM 4000 plus. *Результаты.* По критерию минимального варьирования прорастания пыльцы в растворах сахарозы и ПЭГ 6000 (53 % против 60–147 %) при достаточно высоком ее показателе прорастания для большинства образцов (6,2–27,4 %) наилучший результат показал ПЭГ 6000 при 20 % концентрации с добавлением борной кислоты (0,006 %). По холодостойкости пыльцы *in vitro* при температуре 6 °C выделялась пыльца образцов к-36 и Красная поздняя с показателем 52,0 и 53,5 % соответственно, тогда как пыльца сорта Юньнаньская при этих условиях не прорастала. Пыльца пяти сортов вигны трехлопастная, крупная, почти округлая в проекции полярной оси и округлая в экваториальной плоскости. Поверхность эскины с многочисленными бороздками, текстура поверхности крупносетчатая. Длина полярной оси п.з. 63,0–76,5 мкм, экваториальный диаметр 57,2–63 мкм и существенно различаются у разных образцов сортов вигны. Самую крупную пыльцу имел сорт Юньнаньская (76,5×65,2 мкм), а сравнительно небольшого размера – Графиня (63,0×57,2 мкм). *Выводы.* Оптимальной средой для прорастания пыльцы была среда с 20 % ПЭГ 6000 + 0,006 % борной кислоты. В экспериментах по прорастанию пыльцы при температуре 25 и 6 °C, холодостойкость отрицательно коррелировала с длиной полярной оси ( $r = -0,603 \dots -0,683$ ) и экваториальным диаметром ( $r = -0,375 \dots -0,549$ ).

**Ключевые слова:** вигна, *Vigna unguiculata*, пыльца, прорастание *in vitro*, сахароза, ПЭГ 6000, холодостойкость, морфология

**Финансирование:** работа поддержана бюджетным проектом ЦСБС СО РАН АААА-А21-121011290027-6.

**Для цитирования:** Сунь Ц., Фотев Ю. В. Оценка жизнеспособности *in vitro* и морфологии пыльцы образцов вигны (*Vigna unguiculata*) при интродукции на юге Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 65–77. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-6

## Evaluation of in vitro viability and pollen morphology of asparagus vigna (*Vigna unguiculata*) accessions during introduction in the south of Western Siberia

J. Sun<sup>1</sup>, Yu.V. Fotev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup>t.sun1@g.nsu.ru, <sup>2</sup>fotev\_2009@mail.ru

**Abstract.** *Background.* Vigna is a new for Russia vegetable crop with high heat requirements, which prevents the expansion of its cultivation in regions with a continental climate. Based on the selection of the optimal concentration of the osmotically active substance (sucrose, PEG 6000), the relationship between pollen germination of vigna accessions in vitro at optimal (25°) and low (6°) temperatures and its morphometric parameters was assessed. *Materials and methods.* The morphometric features and response of microgametophytes of 8 *Vigna unguiculata* accessions to low temperature in vitro were studied. The optimal concentration of the osmotically active substance (sucrose, PEG 6000) was determined at different concentrations in the medium (10, 20, 30 %). A Hitachi TM 4000 plus SEM was used for pollen grain morphometry. *Results.* According to the criterion of minimal variation of pollen germination in sucrose and PEG 6000 solutions (53 % versus 60–147 %) with a fairly high germination rate for most accessions (6.2–27.4 %), the best result was shown by PEG 6000 at a 20 % concentration with the addition of boric acid (0.006 %). According to the cold resistance of pollen in vitro at a temperature of 6°, pollen of k-36 and Krasnaya pozdnyaya accessions stood out with an indicator of 52.0 and 53.5 %, respectively, whereas pollen of the cv. Yunnanskaya did not germinate under these conditions. Pollen of five vigna cvs. is three-lobed, large, almost round in the projection of the polar axis and round in the equatorial plane. The surface of the exine has numerous grooves, the surface texture is coarsely meshed. The length of the p.z. polar axis 63.0–76.5 µm, the equatorial diameter is 57.2–66.3 µm and varies significantly among different vigna accessions. The largest pollen was found in the cv. Yunnanskaya (76.5×65.2 µm), while the cv. Grafinya had a comparatively small pollen (63.0×57.2 µm). *Conclusions.* The optimal medium for pollen germination was a medium with 20 % PEG 6000 + 0.006 % boric acid. In pollen germination experiments at 25° and 6°, cold resistance negatively correlated with the polar axis length ( $r = -0.603 - -0.683$ ) and the equatorial diameter ( $r = -0.375 - -0.549$ ).

**Keywords:** asparagus vigna, *Vigna unguiculata*, pollen, in vitro germination, sucrose, PEG 6000, cold resistance, morphology

**Financing:** the research was financed by the Central Siberian Botanical Garden SB RAS project No. AAAA-A21-121011290027-6.

**For citation:** Sun J., Fotev Yu.V. Evaluation of in vitro viability and pollen morphology of asparagus vigna (*Vigna unguiculata*) accessions during introduction in the south of Western Siberia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2025;(1):65–77. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-6

### Введение

Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – важная овощная и зернобобовая культура африканского происхождения, принадлежит к роду *Vigna* Savit семейства Fabaceae Lindl. [1]. Ее ежегодная площадь посевов в мире, преимуще-

ственно в качестве зернобобовой культуры, составляет около 15 млн га, а общий объем производства – около 8,9 млн т. Это основная продовольственная культура для жителей развивающихся стран к югу от африканской Сахары, в Южной Америке и в некоторых странах Азии [2]. Среди десяти крупнейших овощных культур Азии ежегодная площадь посевов вигны в КНР составляет около 500 000 га, что составляет 1/5 общей площади мира [3]. Нежные плоды вигны богаты белком с высоким содержанием лизина, микроэлементов Zn, Fe, Mo [4]. Вigna устойчива к засухе, растет на малоплодородных почвах и обладает высокой способностью к адаптации в разных условиях окружающей среды. Тем не менее южное происхождение культуры определило ее высокую теплотребовательность на всех этапах роста и развития. Так, ее семена при прорастании требуют температуру от 30 до 35 °C [5]. Именно температурный фактор является одним из основных, ограничивающих выращивание вигны в регионах с резко-континентальным климатом. При отборе более холодостойких форм, например томата и момордики *Momordica charantia* L., среди наиболее эффективных методов оказался метод оценки ростовой реакции пыльцы на искусственной среде *in vitro* при температуре 6–10 °C [6–8]. Есть данные о связи между холодостойкостью в гапло- и диплофазах жизненного цикла растений. Так, в межвидовой гибридной популяции  $F_2$  (*L. esculentum* «Пионерский» × *L. pimpinellifolium* «Red Currant») обнаружили положительную взаимосвязь между холодостойкостью пыльцы и интенсивностью гуттации проростков при низкой температуре ( $r = 0,697$ ) [6]. Для проращивания пыльцы томата *in vitro* в качестве осмотически активного вещества вместо сахарозы ранее было предложено использовать полиэтиленгликоль с молекулярной массой 6000 [6], не участвующий в процессах метаболизма растительных клеток [9].

Основанием для оценки низкотемпературной устойчивости в гаплофазе служат полученные разными авторами данные об экспрессии части генов спорофитного поколения в фазе зрелого мужского гаметофита [10]. Примерно 60 % структурных генов, которые экспрессируются в спорофитной части растений, также экспрессируются и подвергаются отбору в пыльце [11]. Например, в пыльце *Arabidopsis* более 40 % экспрессируемых генов, возможно, участвуют в развитии пыльцы и росте пыльцевой трубки при низкой температуре, включая гены, кодирующие ферменты модификации клеточной стенки [12].

Известно, что морфология пыльцы вместе с молекулярными подходами эффективно использовалась для идентификации образцов вигны и таксономии подрода *Ceratotropis* [13]. Тем не менее констатировано, что морфологические исследования пыльцы в роде *Vigna* Savy недостаточны [14].

Вigna – относительно новая для России теплолюбивая овощная культура. Хотя в 30–50-е гг. XX в. в СССР проводилась большая работа по ее интродукции и селекции [15, 16], сортов, пригодных для выращивания в регионах с холодным климатом, не было получено. В 2006 г. Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН (ЦСБС СО РАН) впервые в России зарегистрировал в Госсорткомиссии РФ два сорта этой культуры – Сибирский размер и Юньнаньская – для выращивания в 12 регионах страны [17]. Одним из важных выводов, полученных на основе первых результатов выращивания вигны в нашей стране, стал вывод об агробиологических особенностях этой культуры, ограничивающих расширение ее производства во многих регионах. Это слабая устойчивость к низким температурам и восприимчивость к отдельным возбудителям болезней.

Жизнеспособность пыльцы является одним из важных показателей, отражающих ее фертильность (плодовитость). Из исходного материала родительские формы могут быть выбраны на основе жизнеспособности пыльцы, что дает информацию для отбора родительских форм и создания гибридов.

Изучение морфологии пыльцы очень важно для понимания систематики, филогении и палеоботанической истории растений [18]. Определение меж- и внутривидовых взаимоотношений у растений опирается в значительной мере на изучение морфологии пыльцы, которая влияет на процессы опыления, оплодотворения и окончательного развития плодов. Идентификация и дифференциация таксонов растений, классификация близкородственных и неизвестных таксонов также опираются на морфологические данные пыльцы [19]. Размер, форма пыльцы, структура экзины являются одними из основных морфологических и структурных характеристик для идентификации видов растений [20]. Среди различных инструментов изучения морфологии пыльцы использование сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) является наиболее широко используемым инструментарием для изучения морфологии пыльцы, в том числе в целях классификации и идентификации видов или сортов [21]. Размер пыльцы – важная характеристика, влияющая на результат опыления растений. Растения с более крупной пылью имеют ряд преимуществ по сравнению с растениями с более мелкой пылью, например, более быстрое прорастание и более высокая жизнеспособность благодаря большим запасам энергии [22]. Размер пыльцевых зерен влияет на их способность прорасти и участвовать в сингамии [23]. Размер пыльцы положительно коррелирует с длиной пестика, длиной столбика и ростом пыльцевой трубки, влияет на привлекательность цветков для опылителей [24]. Путем наблюдения за морфологией пыльцы вигны с помощью СЭМ Айдж с соавторами обнаружили положительную и значимую корреляцию между длиной пыльцевой трубки и прорастанием пыльцы [25]. Цзян с соавторами наблюдали за морфологией пыльцы вигны под СЭМ и обнаружили, что стенка пыльцы вигны утолщается, а длина пыльцевой трубки уменьшается в условиях абиотического стресса [26]. В целом пыльцевой анализ позволяет определить репродуктивный потенциал растений [27]. Для более эффективного отбора и использования ресурсов зародышевой плазмы целесообразно в качестве объектов исследования использовать пыльцу разных образцов вигны, предварительно выбрав оптимальную концентрацию из двух осмотически активных веществ – сахарозы и ПЭГ 6000.

Цель исследования – на основе выбора оптимальной концентрации осмотически активного вещества (сахароза, ПЭГ 6000) оценить связь прорастания пыльцы образцов *V. unguiculata* in vitro при оптимальной и низкой температурах с ее морфометрическими показателями.

### Материалы и методы

Исследования проведены в лаборатории интродукции пищевых растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН). В качестве материала для исследований была использована пыльца восьми образцов зародышевой плазмы вигны, включая сорта (cv.): cv. Сибирский размер, cv. Юньнаньская, cv. Графиня, Красная поздняя, к-802, к-36, Красно-пестрая и Zinder из коллекции ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) и Коллекции живых растений

открытого и защищенного грунта ЦСБС СО РАН УНУ № USU 440534. Растения, использовавшиеся в качестве источника пыльцы, выращивали в неотапливаемой пленочной теплице ЦСБС СО РАН (54°82' в.д., 83°12' с.ш.).

Пыльцу вигны из цветков собирали в 10:00 утра и помещали в каплю среды на предметном стекле в закрытой чашке Петри, на дне которой была смоченная водой фильтровальная бумага. В ходе опыта использовали различные массовые концентрации (10, 20, 30 %) сахарозы и ПЭГ 6000 для выявления наиболее подходящего осмотического компонента сред. В каждый вариант среды на основе дистиллированной воды добавляли борную кислоту в концентрации 0,006 %. В результате по критерию минимального варьирования прорастания пыльцы (коэффициент вариации –  $C_v$ , %) при достаточно высоком показателе прорастания (жизнеспособности) отбирали лучший вариант для последующей оценки ее прорастания при оптимальной (25 °C в течение 3 ч) и низкой (6 °C в течение 24 ч) температуре. После завершения культивирования пыльцу в капле среды просматривали под микроскопом Carl Zeiss Primo Star (Германия) при увеличении  $\times 100$ . Прорастание определяли при длине пыльцевой трубки, превышающей 1/2 диаметра пыльцевого зерна [21]. Каждую обработку повторяли трижды, случайным образом учитывали три поля зрения. В каждом поле зрения находилось не менее 50 пыльцевых зерен для расчета среднего показателя прорастания и холодостойкости. Расчет показателя прорастания (жизнеспособности) пыльцы и холодостойкости проведен по формулам (1) и (2):

$$\text{Жизнеспособность (\%)} = \left( \frac{\text{Количество проросшей пыльцы}}{\text{Общее количество пыльцы}} \right) \times 100; \quad (1)$$

$$\text{Холодостойкость (\%)} = \left( \frac{\text{Скорость прорастания пыльцы при 6 °C}}{\text{Скорость прорастания пыльцы при 25 °C}} \right) \times 100. \quad (2)$$

Морфологию пыльцевых зерен исследовали при использовании сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM4000 plus (Япония), находящегося в ЦКП ЦСБС СО РАН. Морфологическое описание пыльцевых зерен проводили в соответствии с опубликованной методикой [28]. Из каждого образца случайным образом отбирали шесть пыльцевых зерен, фотографировали, измеряли и записывали их размеры в полярной и экваториальной плоскости, обращая внимание на морфологию экзины.

Для статистической обработки данных использовали стандартные методы обработки с помощью пакетов программ SPSS 25.0 и Minitab 4.0.

## Результаты и обсуждение

### *Влияние различных концентраций сахарозы и ПЭГ на прорастание пыльцы*

Сорта вигны показали значительные изменения в скорости прорастания пыльцы при использовании различных тестируемых сред (табл. 1). В 10–30%-м растворе сахарозы жизнеспособность пыльцы пяти образцов вигны составила 0,4–5,2 %. В 10–30%-м растворе ПЭГ 6000 этот же показатель был 16,4–21,9 %. В целом пыльца вигны лучше прорастала на растворе ПЭГ 6000, по сравнению с раствором сахарозы.

Таблица 1

Скорость прорастания пыльцы на средах  
с различной концентрацией сахарозы и ПЭГ 6000

| Концентрация осмотически активного вещества | Тип пыльцы         |                  |                  |                  |                  | Cv, % |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
|                                             | Сибирский размер   | Юньнаньская      | Графиня          | Красно-пестрая   | Zinder           |       |
| 10 % раствор сахарозы                       | $0,0 \pm 0,0^{d*}$ | $1,0 \pm 0,6^c$  | $0,0 \pm 0,0^d$  | $0,8 \pm 0,8^c$  | $0,0 \pm 0,0^c$  | 138   |
| 20 % раствор сахарозы                       | $3,9 \pm 2,5^d$    | $8,2 \pm 0,7^b$  | $0,0 \pm 0,0^d$  | $0,5 \pm 0,3^c$  | $0,0 \pm 0,0^c$  | 142   |
| 30 % раствор сахарозы                       | $17,8 \pm 0,4^c$   | $7,4 \pm 0,8^b$  | $0,0 \pm 0,0^d$  | $0,9 \pm 0,9^c$  | $0,0 \pm 0,0^c$  | 147   |
| 10 % раствор ПЭГ 6000                       | $16,4 \pm 0,8^c$   | $41,3 \pm 0,7^a$ | $15,4 \pm 0,9^c$ | $0,0 \pm 0,0^c$  | $8,8 \pm 1,0^b$  | 94    |
| 20 % раствор ПЭГ 6000                       | $27,4 \pm 0,6^b$   | $6,2 \pm 2,2^b$  | $24,1 \pm 1,1^b$ | $13,3 \pm 0,9^b$ | $12,0 \pm 0,6^a$ | 53    |
| 30 % раствор ПЭГ 6000                       | $32,0 \pm 1,0^a$   | $3,0 \pm 2,2^c$  | $33,7 \pm 2,1^a$ | $27,9 \pm 3,3^a$ | $12,7 \pm 1,2^a$ | 60    |
| Cv, %                                       | 77                 | 133              | 119              | 157              | 112              |       |

\* Одинаковые буквы при значениях указывают на отсутствие различий между ними при 0,05 % уровне значимости.

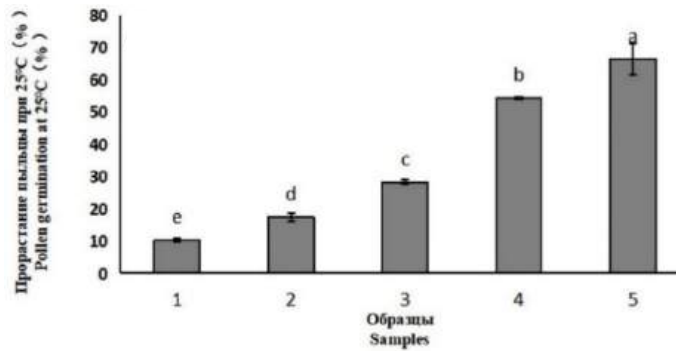
Среди различных растворов ПЭГ 6000 средний показатель прорастания пыльцы в 30%-м растворе ПЭГ 6000 был самым высоким (21,9 %), за ним следовали 20%-й раствор (16,6 %) и 10%-й раствор ПЭГ 6000 (16,4 %). В 30%-м растворе ПЭГ 6000 жизнеспособность пыльцы четырех образцов из пяти (Графиня (33,7 %), Сибирский размер (32,0 %), Красно-пестрая (27,9 %) и Zinder (12,7 %)) достигла максимального значения. Однако для сорта Юньнаньская прорастание пыльцы было наилучшим в 10%-м растворе ПЭГ 6000. При концентрациях ПЭГ 6000 20 и 30%-я всхожесть этого сорта снижалась, соответственно, в 7–14 раз. Причина может быть связана с генетическими различиями между образцами. В 20%-м растворе ПЭГ 6000 средний показатель прорастания был несколько ниже, чем в 30%-м растворе ПЭГ 6000, но при этом наблюдалась минимальная изменчивость его по разным образцам вигны – 53 % против 60 %.

Изменчивость (Cv, %) показателя прорастания пыльцы образцов вигны в растворах разных осмотиков (сахароза, ПЭГ 6000) располагалась в порядке от низкой к высокой: cv. Сибирский размер (77), Zinder (112), cv. Графиня (119), cv. Юньнаньская (133), Красно-пестрая (157). Всхожесть пыльцы сорта Сибирский размер в условиях осмотического стресса относительно стабильна и степень изменчивости минимальна, тогда как всхожесть коллекционного образца Красно-пестрая нестабильна и степень изменчивости значительна. В силу имеющихся данных о связи устойчивости к стрессу и энергетического гомеостаза [29], возможно, сорт Сибирский размер можно рассматривать в качестве генетического источника с высокой адаптивной способностью по этому признаку в гаплофазе.

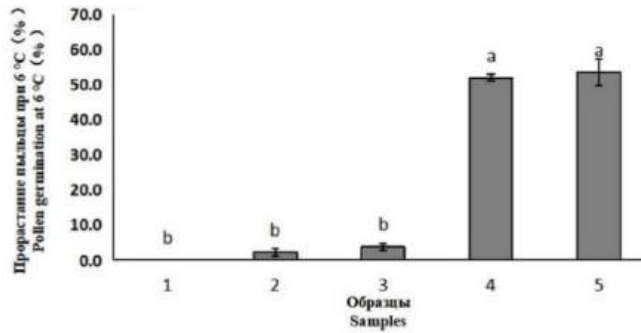
Таким образом, ПЭГ 6000 в концентрации 20 % оказался оптимальным вариантом осмотически активного вещества для прорастания пыльцы образцов вигны *in vitro*.

*Влияние низкой температуры на жизнеспособность пыльцы*

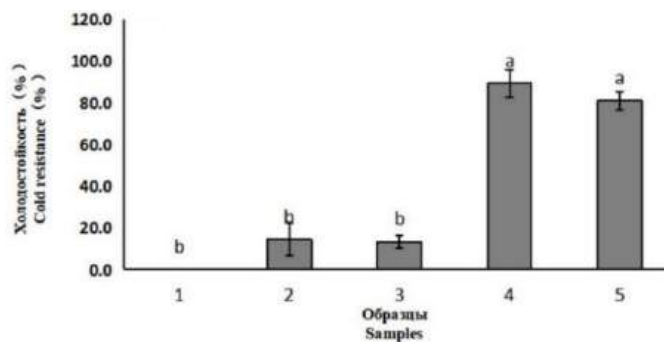
В дальнейшем, на варианте с ПЭГ 6000 20 % было оценено прорастание пыльцы образцов вигны при оптимальной (25 °C) и низкой (6 °C) температуре (рис. 1). При температуре 25 °C наблюдались существенные различия в жизнеспособности пыльцы изучаемых образцов вигны. Наибольший показатель имел образец Красная поздняя (66,46 %), за ней следовал к-36 (54,36 %), к-802 (28,24 %), св. Графиня (17,37 %) и св. Юньнаньская (10,24 %).



a)



б)



в)

Рис. 1. Жизнеспособность и холодостойкость пыльцы разных сортов вигны:  
 а – при температуре 25 °C (контроль); б – при низкой температуре (6 °C);  
 в – холодостойкость. Образцы: 1 – св. Юньнаньская; 2 – св. Графиня;  
 3 – к-802; 4 – к-36; 5 – Красная поздняя. Одинаковые буквы  
 при значениях указывают на отсутствие различий между ними ( $p > 0,05$ )

При температуре 6 °С пыльца сорта Юньнаньская не прорастала, а жизнеспособность пыльцы четырех других образцов (св. Графиня, к-802, к-36 и Красная поздняя) была ниже, чем у контроля (25 °С), на 87, 87, 4 и 20 % соответственно. Холодостойкость каждого сорта в порядке убывания составила: к-36 (89,2 %) – Красная поздняя (80,9 %) – св. Графиня (14 %) – к-802 (13,3 %) – св. Юньнаньская (0 %) (рис. 1, в). Таким образом, пыльцу первых двух образцов с высокой холодостойкостью при прорастании пыльцы *in vitro* можно рассматривать в качестве исходного материала для селекции на холодостойкость.

#### *Морфологическая характеристика пыльцевых зерен вигны*

Для исследования морфометрических и морфологических различий пыльцы пяти образцов вигны при использовании сканирующего электронного микроскопа (SEM) было обнаружено, что все пыльцевые зерна представляли собой одиночные пыльцевые зерна одинаковой формы (рис. 2).

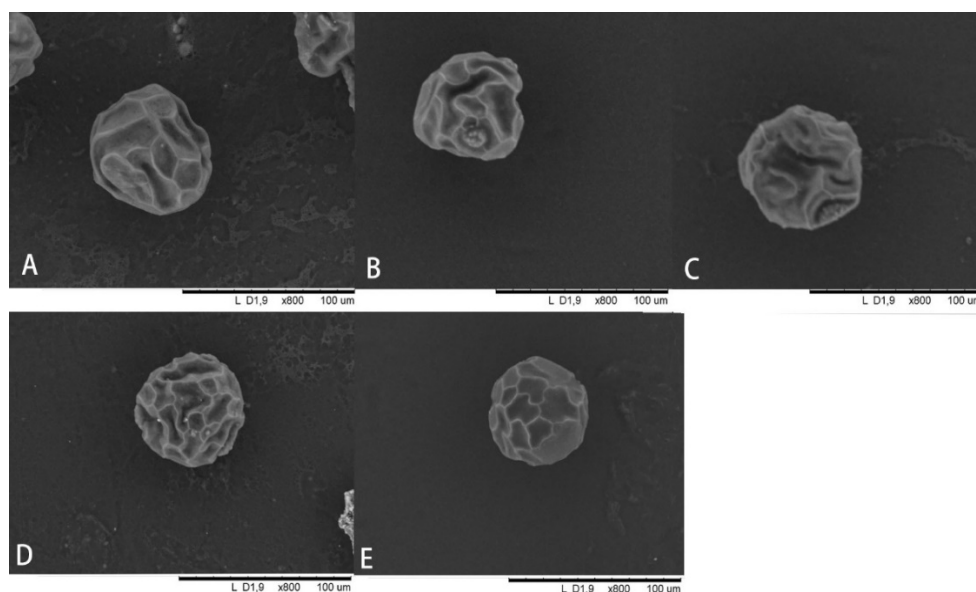


Рис. 2. Морфология пыльцы вигны, исследованная с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM4000 plus:

*A* – Юньнаньская; *B* – Графиня; *C* – к-802; *D* – к-36; *E* – Красная поздняя

Пыльцевые зерна образцов были крупными (*dimension magna*), имели почти сферическую форму и были радиально-симметричными. Поверхность экины с многочисленными бороздками, текстура поверхности сетчатая. По размеру пыльцевых зерен (как известно, размер пыльцы обычно выражается длиной полярной оси пыльцы), имеются существенные различия между св. Юньнаньская, к-802 и другими образцами вигны. Среди исследованных образцов наибольший размер отмечен у пыльцевых зерен св. Юньнаньская ( $76,5 \pm 5,8$ ), а наименьший – у св. Графиня ( $63,0 \pm 1,2$ ) (табл. 2).

Таблица 2

## Морфологическая характеристика пыльцевых зерен вигны

| Образцы         | Длина полярной оси, $\mu\text{m}$ (PD) | Длина экваториальной оси, $\mu\text{m}$ (ED) | PD/ED           | Форма          | Структура экины |
|-----------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| cv. Юньнаньская | $76,5 \pm 5,8^{a*}$                    | $65,2 \pm 4,2^{a,b}$                         | $1,2 \pm 0,0^a$ | Почти округлая | Крупно-сетчатая |
| cv. Графиня     | $63,0 \pm 1,2^b$                       | $57,2 \pm 0,9^b$                             | $1,1 \pm 0,0^a$ | Почти округлая | Крупно-сетчатая |
| к-802           | $71,9 \pm 0,7^a$                       | $66,3 \pm 2,4^a$                             | $1,1 \pm 0,0^a$ | Почти округлая | Крупно-сетчатая |
| к-36            | $63,3 \pm 2,0^b$                       | $58,0 \pm 2,1^{a,b}$                         | $1,1 \pm 0,0^a$ | Почти округлая | Крупно-сетчатая |
| Красная поздняя | $64,3 \pm 1,5^b$                       | $60,4 \pm 1,1^{a,b}$                         | $1,1 \pm 0,0^a$ | Почти округлая | Крупно-сетчатая |

\* Одинаковые буквы при значениях указывают на отсутствие различий между ними ( $p > 0,05$ ).

## Результаты корреляционного анализа

При температуре 25 °С установлена отрицательная корреляция между жизнеспособностью пыльцы и длиной полярной оси ( $r = -0,603$ ), между жизнеспособностью пыльцы и длиной экваториальной оси ( $r = -0,375$ ) (табл. 3). Установлена отрицательная корреляция с 0,05 % уровнем значимости между жизнеспособностью пыльцы при 25 °С и коэффициентом вариации этого показателя ( $r = -0,924$ ); также достоверная отрицательная корреляция между показателем прорастания пыльцы при 6 °С и коэффициентом вариации этого показателя ( $r = -0,693$ ). Вероятно, в данном случае причиной такой устойчивой связи могут быть механизмы поддержания клеточного гомеостаза в гаплофазе.

Установлена отрицательная корреляционная связь средней силы между прорастанием пыльцы при низкой температуре (6 °С) и длиной полярной ( $r = -0,612$ ), а также экваториальной ( $r = -0,481$ ) осей.

Таблица 3

Корреляционная связь между показателями прорастания пыльцы, длиной экваториальной и полярной оси в условиях оптимальной (25 °С) и низкой (6 °С) температуры

| Показатели прорастания (ПП) пыльцы, % | Длина полярной оси | Длина экваториальной оси | Коэффициент вариации прорастания пыльцы |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| ПП при 25 °С                          | -0,603             | -0,375                   | -0,924*                                 |
| ПП при 6 °С                           | -0,612             | -0,481                   | -0,693                                  |
| Холодостойкость                       | -0,683             | -0,549                   | -0,254                                  |

\* Корреляция достоверна ( $p \leq 0,05$ ).

## Заключение

Оптимальной средой для прорастания пыльцы *V. unguiculata* была среда с 20 % ПЭГ 6000 + 0,006 % борной кислоты. Растворы ПЭГ 6000 с концентрациями 10 и 30 % способствуют прорастанию пыльцы вигны и более

эффективно увеличивает скорость прорастания пыльцы образцов вигны по сравнению с растворами сахарозы в концентрации 10, 20 и 30 %.

При сравнении образцов вигны установлены существенные различия в размере пыльцы у cv. Юньнаньская и к-802. Наибольший размер отмечен у пыльцевых зерен сорта Юньнаньская ( $76,5 \pm 5,8$ ), а наименьший – у сорта Графиня ( $63,0 \pm 1,2$ ). Пыльца всех образцов почти сферической формы, трехлопастная, поверхность экзины крупносетчатая, с многочисленными бороздками, длина полярной оси пыльцевых зерен составляет 63,0–76,5 мкм, длина экваториальной оси 57,2–66,3 мкм, отношение PD/ED – 1,1–1,2.

Установлена отрицательная корреляция между длиной полярной оси и показателем прорастания пыльцы при 25 °C ( $r = -0,603$ ), при 6 °C ( $r = -0,612$ ), холодостойкостью пыльцы ( $r = -0,683$ ).

### Список литературы

1. Herniter I. A., Close T. J. Genetic, textual, and archeological evidence of the historical global spread of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) // Legume Science. 2020. Vol. 2, № 4. P. e57. doi: 10.1002/leg3.57
2. Nielsen S. S., Brandt W. E., Singh B. B. Genetic Variability for Nutritional Composition and Cooking Time of Improved Cowpea Lines // Crop Science. 1993. Vol. 33, № 3. P. 469–472. doi: 10.2135/cropsci1993.0011183x003300030010x
3. Wu j. [et al.]. Genome-wide association analysis of rust resistance in cowpea // Journal of Plant Genetic Resources. 2024. Vol. 25, №11. P. 1907–1922. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20240217002
4. Фотев Ю. В., Пивоваров В. Ф., Артемьева А. М. Концепция создания Российской национальной системы функциональных продуктов питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 7. С. 776–783. doi: 10.18699/VJ18.421
5. Melo N. F. [et al.]. Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds // Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 2020. Vol. 14, № 2. P. 231–239. doi: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339
6. Фотев Ю. В. Исходный материал для селекции томата с устойчивостью к стрессовым температурам и болезням // Методические указания по гаметной селекции растений (методология, результаты и перспективы). М. : ГНУ ВНИИССОК, 2001. С. 224–238.
7. Лукьянчик И. Д., Ломакова О. О. Методы гаметной селекции для оценки холодостойкости некоторых сортов томатов // Клеточная биология и биотехнология растений : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. М., 2013. С. 100.
8. Fotev Y. V. Assessment of cold resistance in *Momordica charantia* L. accessions according to pollen germination at low temperatures in vitro // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183, № 3. P. 39–47. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47
9. Steuter A. A., Mozafar A., Goodin J. R. Water potential of aqueous polyethylene glycol // Plant physiology. 1981. Vol. 67, № 1. P. 64–67. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47
10. Somers J., Nelms B. The sporophyte-to-gametophyte transition: The haploid generation comes of age // Current Opinion in Plant Biology. 2023. Vol. 75, P. 102416. doi: 10.1016/j.pbi.2023.102416
11. Mulcahy D. L., Sari-Gorla M., Mulcahy G. B. Pollen selection – past, present and future // Sexual Plant Reproduction. 1996. Vol. 9. P. 353–356. doi: 10.1007/BF02441955
12. Lee J. Y., Lee D. H. Use of serial analysis of gene expression technology to reveal changes in gene expression in Arabidopsis pollen undergoing cold stress // Plant Physiology. 2003. Vol. 132, № 2. P. 517–529. doi: 10.1104/pp.103.020511

13. Maréchal R. Etude taxonomique d'un groupe complexé d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique // Boissiera. 1978. Vol. 28, P. 1–273. doi: 10.1080/00837792.1984.10670306
14. Umdale S. D., Aitawade M. M., Gaikwad N. [et al.]. Pollen morphology of Asian *Vigna* species (genus *Vigna*; subgenus *Ceratotropis*) from India and its taxonomic implications // Turkish Journal of Botany. 2017. Vol. 41, № 1. P. 75–87. doi: 10.3906/bot-1603-31
15. Павлова А. М. Вигна // Культурная флора СССР. Зерновые бобовые. М. : Государственное издательство совхозной и колхозной литературы, 1937. Т. IV. С. 621–646.
16. Павлова А. М. Вигна – сестра фасоли // Зернобобовые культуры. 1964. Т. 1. С. 16–18.
17. Вишнякова М. А. Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых ВИР и его использование в отечественной селекции (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180, № 2. С. 109–123. doi: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123
18. Mog B., Veena G. L., Adiga J. D. [et al.]. Pollen morphological study and temperature effect on the pollen germination of cashew (*Anacardium occidentale* L.) varieties // Scientia Horticulturae. 2023. Vol. 314. P. 111957. doi: 10.1016/j.scienta.2023.111957
19. Dong R. [et al.]. Scanning electron microscopy observations of pollen morphology in common vetch (*Vicia sativa*) subspecies // The Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 158, № 8-9. P. 646–659. doi: 10.1017/S0021859620001033
20. Bahadur S. [et al.]. Identification of monocot flora using pollen features through scanning electron microscopy // Microscopy Research Technique. 2018. Vol. 81, № 6. P. 599–613. doi: 10.1002/jemt.23015
21. Khaleghi E., Karamnezhad F., Moallemi N. Study of pollen morphology and salinity effect on the pollen grains of four olive (*Olea europaea*) cultivars // South African Journal of Botany. 2019. Vol. 127. P. 51–57. doi: 10.1016/j.sajb.2019.08.031
22. Callum B., Chang S. M. Pollen competition in style: Effects of pollen size on siring success in the hermaphroditic common morning glory, *Ipomoea purpurea* // American Journal of Botany. 2016. Vol. 103, № 3. P. 460–470. doi: 10.3732/ajb.1500211
23. Колясников Н. Л. Роль репродуктивной биологии в решении проблемы повышения семенной продуктивности кормовых бобовых трав // Пермский аграрный вестник. 2015. Т. 4, № 12. С. 60–64. doi: 633.32:631.559
24. Mazer S. J. [et al.]. Winning in style: Longer styles receive more pollen, but style length does not affect pollen attrition in wild *Clarkia* populations // American Journal of Botany. 2016. Vol. 103, № 3. P. 408–422. doi: 10.3732/ajb.1500192
25. Khanna V. K. Studies on hybridization and genetic diversity in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) // Open Access Journal of Oncology and Medicine. 2018. Vol. 2, № 1. P. 1–10. doi: 10.32474/OAJOM.2018.02.000132
26. Jiang Y. [et al.]. Seed set, pollen morphology and pollen surface composition response to heat stress in field pea // Plant, cell & environment. 2015. Vol. 38, № 11. P. 2387–2397. doi: 10.1111/pce.12589
27. Цаценко Л. В., Синельникова А. С. Пыльцевой анализ в селекции растений // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 77. С. 38–48. doi: 57.088.1:581.331.2:633/ 635(076)
28. Куприянова А. Б., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры Европейской части СССР : руководство. Л. : Наука, 1972. 171 с.
29. Halbritter H., Ulrich S., Grímsson F. Illustrated Pollen Terminology. Cham : Springer, 2018. 483 p.

## References

1. Herniter I.A., Close T.J. Genetic, textual, and archeological evidence of the historical global spread of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *Legume Science*. 2020;2(4): e57. doi: 10.1002/leg3.57
2. Nielsen S.S., Brandt W.E., Singh B.B. Genetic Variability for Nutritional Composition and Cooking Time of Improved Cowpea Lines. *Crop Science*. 1993;33(3):469–472. doi: 10.2135/cropsci1993.0011183x003300030010x

3. Wu J. et al. Genome-wide association analysis of rust resistance in cowpea. *Journal of Plant Genetic Resources*. 2024;25(11):1907–1922. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20240217002
4. Fotev Yu.V., Pivovarov V.F., Artem'eva A.M. The concept of creating a Russian national system of functional food products. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov journal of genetics and selection. 2018;22(7):776–783. (In Russ.). doi: 10.18699/VJ18.421
5. Melo N.F. et al. Optimal temperature for germination and seedling development of cowpea seeds. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2020;14(2):231–239. doi: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339
6. Fotev Yu.V. Source material for breeding tomato with resistance to stress temperatures and diseases. *Metodicheskie ukazaniya po gametnoy selektsii rasteniy (metodologiya, rezul'taty i perspektivy)* = Guidelines for gamete selection of plants (methodology, results and prospects). Moscow: GNU VNISSOK, 2001:224–238.
7. Luk'yanchik I.D., Lomakova O.O. Gamete selection methods for assessing cold resistance of some tomato varieties. *Kletochnaya biologiya i biotekhnologiya rasteniy: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* = Cell biology and plant biotechnology: proceedings of the International scientific and practical conference. Moscow, 2013:100. (In Russ.)
8. Fotev Y.V. Assessment of cold resistance in *Momordica charantia* L. accessions according to pollen germination at low temperatures in vitro. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(3):39–47. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47
9. Steuter A.A., Mozafar A., Goodin J.R. Water potential of aqueous polyethylene glycol. *Plant physiology*. 1981;67(1):64–67. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47
10. Somers J., Nelms B. The sporophyte-to-gametophyte transition: The haploid generation comes of age. *Current Opinion in Plant Biology*. 2023;75:102416. doi: 10.1016/j.pbi.2023.102416
11. Mulcahy D.L., Sari-Gorla M., Mulcahy G.B. Pollen selection – past, present and future. *Sexual Plant Reproduction*. 1996;9:353–356. doi: 10.1007/BF02441955
12. Lee J.Y., Lee D.H. Use of serial analysis of gene expression technology to reveal changes in gene expression in *Arabidopsis* pollen undergoing cold stress. *Plant Physiology*. 2003;132(2):517–529. doi: 10.1104/pp.103.020511
13. Maréchal R. Etude taxonomique d'un groupe complexé d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. *Boissiera*. 1978;28:1–273. doi: 10.1080/00837792.1984.10670306
14. Umdale S.D., Aitawade M.M., Gaikwad N. et al. Pollen morphology of Asian *Vigna* species (genus *Vigna*; subgenus *Ceratotropis*) from India and its taxonomic implications. *Turkish Journal of Botany*. 2017;41(1):75–87. doi: 10.3906/bot-1603-31
15. Pavlova A.M. *Vigna. Kul'turnaya flora SSSR. Zernovye bobovye* = Cultivated flora of the USSR. Grain legumes. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo sovkhoznoy i kol'khoznoy literatury, 1937;4:621–646. (In Russ.)
16. Pavlova A.M. *Vigna* is the bean's sister. *Zernobobovye kul'tury* = . 1964;1:16–18. (In Russ.)
17. Vishnyakova M.A. Species diversity of the collection of genetic resources of grain legumes VYR and its use in domestic breeding (review). *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Works on applied botany, genetics and selection. 2019;180(2):109–123. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123
18. Mog B., Veena G.L., Adiga J.D. et al. Pollen morphological study and temperature effect on the pollen germination of cashew (*Anacardium occidentale* L.) varieties. *Scientia Horticulturae*. 2023;314:111957. doi: 10.1016/j.scienta.2023.111957
19. Dong R. et al. Scanning electron microscopy observations of pollen morphology in common vetch (*Vicia sativa*) subspecies. *The Journal of Agricultural Science*. 2020;158(8-9):646–659. doi: 10.1017/S0021859620001033
20. Bahadur S. et al. Identification of monocot flora using pollen features through scanning electron microscopy. *Microscopy Research Technique*. 2018;81(6):599–613. doi: 10.1002/jemt.23015
21. Khaleghi E., Karamnezhad F., Moallemi N. Study of pollen morphology and salinity effect on the pollen grains of four olive (*Olea europaea*) cultivars. *South African Journal of Botany*. 2019;127:51–57. doi: 10.1016/j.sajb.2019.08.031

22. Callum B., Chang S.M. Pollen competition in style: Effects of pollen size on siring success in the hermaphroditic common morning glory, *Ipomoea purpurea*. *American Journal of Botany*. 2016;103(3):460–470. doi: 10.3732/ajb.1500211
23. Kolyasnikova N.L. The role of reproductive biology in solving the problem of increasing seed productivity of forage legumes. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Bulletin. 2015;4(12):60–64. (In Russ.). doi: 633.32:631.559
24. Mazer S.J. et al. Winning in style: Longer styles receive more pollen, but style length does not affect pollen attrition in wild *Clarkia* populations. *American Journal of Botany*. 2016;103(3):408–422. doi: 10.3732/ajb.1500192
25. Khanna V.K. Studies on hybridization and genetic diversity in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Open Access Journal of Oncology and Medicine*. 2018;2(1):1–10. doi: 10.32474/OAJOM.2018.02.000132
26. Jiang Y. et al. Seed set, pollen morphology and pollen surface composition response to heat stress in field pea. *Plant, cell & environment*. 2015;38(11):2387–2397. doi: 10.1111/pce.12589
27. Tsatsenko L.V., Sinelnikova A.S. Pollen analysis in plant breeding. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2012;(77):38–48. (In Russ.). doi: 57.088.1:581.331.2:633/ 635(076)
28. Kupriyanova A.B., Aleshina L.A. *Pyl'tsa i spory rasteniy flory Evropeyskoy chasti SSSR: rukovodstvo* = Pollen and spores of plants of the flora of the European part of the USSR: a guide. Leningrad: Nauka, 1972:171. (In Russ.)
29. Halbritter H., Ulrich S., Grímsson F. *Illustrated Pollen Terminology*. Sham: Springer, 2018:483.

#### Информация об авторах / Information about the authors

##### Цзяпин Сунь

аспирант,  
Новосибирский государственный  
университет  
(Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1)  
E-mail: t.sunl@g.nsu.ru

##### Jiaping Sun

Postgraduate student,  
Novosibirsk State University  
(1 Pirogova street, Novosibirsk, Russia)

##### Юрий Валентинович Фотев

кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник,  
Центральный Сибирский  
ботанический сад СО РАН  
(Россия, г. Новосибирск,  
ул. Золотогорная, 101);  
доцент кафедры растениеводства  
и кормопроизводства,  
Новосибирский государственный  
аграрный университет  
(Россия, г. Новосибирск,  
ул. Добролюбова, 160)  
E-mail: fotev\_2009@mail.ru

##### Yury V. Fotev

Candidate of agricultural sciences,  
senior researcher,  
Central Siberian Botanic Garden SB RAS  
(101 Zolotodolinskaya street,  
Novosibirsk, Russia);  
associate professor of the sub-department  
of plant growing and fodder production,  
Novosibirsk State Agrarian University  
(160 Dobrolubova street,  
Novosibirsk, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 09.01.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 27.01.2025

Принята к публикации / Accepted 05.02.2025

УДК 502.5/8

doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-7

## Мониторинг озеленения и застройки пойменной зоны реки Урал в границах города Оренбурга с применением геоинформационных технологий

И. А. Степанова<sup>1</sup>, М. Ю. Гарицкая<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>irinaanstp@mail.ru, <sup>2</sup>m.garitskaya@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Пресноводные места обитания, такие как реки, озера, ручьи и пойменные экосистемы, являются важнейшими экологическими ресурсами, которые обеспечивают множество экосистемных функций. Плодородные поймы рек интенсивно эксплуатируются, вследствие чего ландшафт вдоль речных долин постепенно изменяется в результате деятельности человека. *Материалы и методы.* Для исследования пойменной зоны реки Урал в пределах города Оренбурга использовали приложение Google Earth Pro и спутниковые изображения Landsat. Для работы с картографическими материалами использовались программы QGIS и SAGA GIS. Цифровая модель, соответствующая уровню максимального паводка, построена на основе данных цифровой модели рельефа FABDEM. *Результаты.* Выявлен уровень (высота) абсолютного максимума воды во время паводков, на основании которого построена зона затопления реки Урал в районе города Оренбурга отсечением изогипсой. На основе спутниковых снимков спутников Landsat проведен анализ структуры пойменной зоны в черте города на предмет наличия и изменения озеленения и застройки за последние двадцать лет. *Выводы.* При изучении паводковой активности реки Урал выявлен уровень абсолютного максимума воды. В результате исследований структуры пойменной зоны фиксировано отсутствие изменений в размерах площадей озеленения и прирост площадей застройки на данной территории за исследуемый период.

**Ключевые слова:** озеленение поймы, наводнения, пойменная зона, река Урал, Оренбург, застройка

**Для цитирования:** Степанова И. А., Гарицкая М. Ю. Мониторинг озеленения и застройки пойменной зоны реки Урал в границах города Оренбурга с применением геоинформационных технологий // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 78–87. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-7

## Monitoring of landscaping and development of the floodplain area of the Ural River within the boundaries of the city of Orenburg using geoinformation technologies

I.A. Stepanova<sup>1</sup>, M.Yu. Garitskaya<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>irinaanstp@mail.ru, <sup>2</sup>m.garitskaya@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* Freshwater habitats such as rivers, lakes, streams, and floodplain ecosystems are essential ecological resources that provide many ecosystem functions. The fertile floodplains of the rivers are intensively exploited, as a result of which the landscape along the river valleys is gradually changing as a result of human activity. *Materials and methods.* The Google Earth Pro application and Landsat satellite images were used to

study the floodplain area of the Ural River within the city of Orenburg. The QGIS and SAGA GIS programs were used to work with cartographic materials. The digital model corresponding to the maximum flood level is based on data from the digital terrain model FABDEM. *Results.* The level (height) of the absolute maximum of water during floods has been revealed, on the basis of which the flooding zone of the Ural River near the city of Orenburg isogypsum has been constructed. Based on satellite scenes from Landsat satellites, an analysis of the structure of the floodplain zone within the city for the presence and changes of landscaping and development over the past twenty years has been carried out. *Conclusions.* When studying the flood activity of the Ural River, the level of the absolute maximum of water was revealed. As a result of studies of the structure of the floodplain zone, there were no changes in the size of landscaping areas and an increase in building areas in this area during the study period.

**Keywords:** landscaping floodplains, floods, floodplain area, Ural river, Orenburg, building

**For citation:** Stepanova I.A., Garitskaya M.Yu. Monitoring of landscaping and development of the floodplain area of the Ural River within the boundaries of the city of Orenburg using geoinformation technologies. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2025;(1):78–87. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-7

### Введение

Речные поймы формируют облик ландшафта. В естественном состоянии они характеризуются высоким биоразнообразием. Поймы являются одними из самых биологически продуктивных и разнообразных экосистем планеты. Поймы имеют большое культурное и экономическое значение. Речные пойменные экосистемы являются одними из наиболее исчезающих экосистем в современном ландшафте [1]. Остатки нынешних речных пойменных экосистем значительно уязвимы к воздействию многочисленных антропогенных и экологических факторов и некоторые эксперты прогнозируют в ближайшей перспективе исчезновение этих территорий [1, 2].

Пойменные территории, как правило, адаптированы к регулярным сезонным паводковым импульсам, такие наводнения общих масштабов могут быть полезны для восстановления оставшихся пойменных экосистем. Однако внезапные наводнения обычно представляют собой «экстремальное» повышение воды, что может вызвать необратимые изменения в пойменных экосистемах.

Растительный покров по берегам рек служит буферной зоной, замедляя сток ливневых вод, ослабляя паводковые импульсы, улучшая качество воды путем фильтрации, стабилизируя берега рек и почвенный покров против водной эрозии, предотвращая чрезмерное испарение поверхности воды и амплитуды температуры воздуха путем затенения и накопления органического углерода (связывание углерода) [3, 4].

Для решения ряда проблем в области освоения и использования пойменных зон необходимо изучать их текущее состояние и происходящие изменения [5, 6]. Использование современных геоинформационных технологий может дать более четкие выводы о функционировании пойменных экосистем [7–9].

### Материалы и методы

Данная статья посвящена исследованиям пойменной зоны реки Урал в пределах города Оренбурга.

Объектом исследования была пойменная зона реки Урал в пределах города Оренбурга. На Урале происходят сезонные колебания уровня воды, регулярно приводящие к паводкам. Вызванное паводком наводнение затрагивает

часть населенных пунктов Оренбуржья, в том числе областной центр – город Оренбург. В истории города насчитывается несколько крупных наводнений, основные из которых произошли в 1854, 1887, 1922, 1942, 1957 и 1993 гг. Последний катастрофический паводок произошел в 2024 г. В результате этого наводнения уровень воды в реке Урал возле города Оренбурга поднялся на 242 см выше критического и составил 11 м 87 см, что повлекло за собой введение режима чрезвычайной ситуации федерального значения и проведения частичной эвакуации жителей в городе.

С использованием приложения Google Earth Pro были просмотрены современные и исторические спутниковые изображения Landsat в районе города Оренбурга и его пойменных зон за период с 2000 по 2024 г.

На основе данных гидропоста города Оренбург на реке Урал изучены изменения уровня воды и проведен анализ паводковой активности реки Урал в черте города Оренбурга. Выявлен уровень абсолютного максимума воды для построения долины зоны затопления, соответствующей уровню максимального паводка.

Для работы с картографическими материалами использовали свободную кроссплатформенную геоинформационную систему QGIS.

Максимальную зону затопления реки Урал в черте города Оренбурга определяли на основе данных цифровой модели рельефа FABDEM без растительности и искусственных сооружений.

Для моделирования и анализа рельефа использовали программное обеспечение с открытым исходным кодом SAGA GIS. В цифровой модели местности была проведена корректировка искусственных впадин заполнением замкнутых локальных понижений с сохранением нисходящего уклона вдоль пути потока с помощью инструмента «Fillsinks».

Зона затопления была получена путем отсечения территории изогипсой, соответствующей уровню (высоте) абсолютного максимума воды во время паводка на реке Урал в районе города Оренбург в 2024 г.

В дальнейшем анализировали полученную зону максимального затопления рекой Урал в черте города Оренбурга.

Был проведен ретроспективный анализ данной зоны на предмет наличия и изменения озеленения и застройки. Для этого из информационной системы сбора и предоставления спутниковых данных дистанционного зондирования Земли EOSDIS были взяты две спутниковые сцены:

1) сцена LE07\_L1TP\_166024\_20000716\_20200918\_02\_T1 спутника Landsat-7 2000 г.;

2) сцена LC08\_L1TP\_165024\_20240703\_20240711\_02\_T1 спутника Landsat-8 2024 г.

Изучались сцены за летний период (за июль), на которых хорошо видна растительность.

Для визуализации результатов обработки многоканальных космических снимков и дальнейшего анализа были собраны красно-зелено-синие композиты RGB в натуральных цветах с каналами 3,2,1 для спутника Landsat-7 (Band 3: Redlight (0,63–0,69  $\mu\text{m}$ ), Band 2: Greenlight (0,52–0,60  $\mu\text{m}$ ), Band 1: Bluelight (0,45–0,52  $\mu\text{m}$ ), Band 8 Pa: (0,52–0,90  $\mu\text{m}$ )) и с каналами 4,3,2 для спутника Landsat-8 (Band 4: Redband (0,63–0,69  $\mu\text{m}$ ), Band 3: Greenband (0,52–0,59  $\mu\text{m}$ ), Band 2: Blueband (0,45–0,515  $\mu\text{m}$ ), Band 8 Pa: (0,50–0,68  $\mu\text{m}$ )). Для всех сцен было увеличено пространственное разрешение с 30 до 15 м на пиксель на основе слияния композита с панхроматическим каналом. Полученные изображения

в дальнейшем были проанализированы на предмет наличия озеленения и застройки в приложении QGIS.

### Результаты и обсуждения

При просмотре современных и исторических спутниковых изображений города Оренбурга и его пойменных зон в приложении Google Earth Pro за период с 2000 по 2024 г. отмечены наглядные изменения границ селитебных зон в городе в целом, а также около реки Урал.

На начальном этапе исследований проведен анализ паводковой активности реки Урал в черте города Оренбурга. Была изучена информация по гидропосту Оренбурга, зафиксирована отметка нуля водомерного поста (в Балтийской системе высот), просмотрены графики уровня воды по годам. Дно реки Урал в районе гидропоста находится на отметке 79 м 59 см, а абсолютный максимум подъема воды при паводке наблюдался 14.04.2024 и составил 11 м 85 см.

В результате проведенного анализа выявлен уровень (высота) абсолютного максимума воды во время паводка, равный 92 м по Балтийской системе высот. На основании полученной высоты абсолютного максимума воды во время паводка была построена зона максимального затопления реки Урал в районе города Оренбург путем отсечения территории изогипсой, соответствующей данному уровню.

На следующем этапе исследований был получен спутниковый снимок рельефа FABDEM. Данный снимок был обработан с помощью инструмента «Fillsinks» для устранения дефектов радарной съемки и автоматически сформированной цифровой модели рельефа. В результате составлена цифровая модель рельефа в районе русла реки Урал с целью выявления границ территорий, затапливаемых при максимальном уровне подъема воды.

На основании полученного снимка рельефа был сформирован слой изогипса в районе русла реки Урал около города Оренбург с интервалом в 1 м (рис. 1).

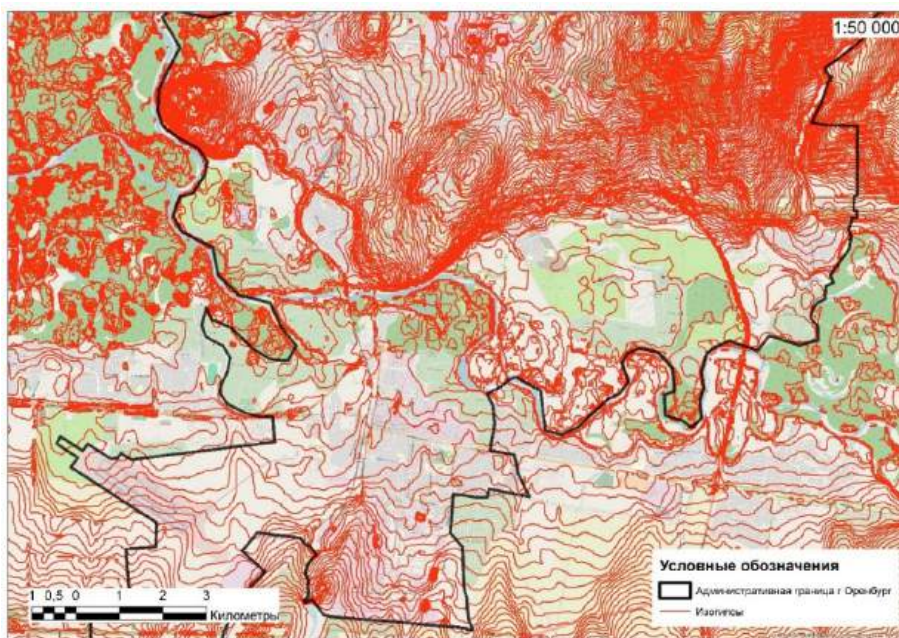


Рис. 1. Слой изогипса в районе города Оренбург

В полученной цифровой модели рельефа в геоинформационной системе QGIS авторами была смоделирована долина вдоль реки Урал, ограниченная высотой 92 м, и найдена максимальная зона затопления, соответствующая уровню максимального паводка (рис. 2).

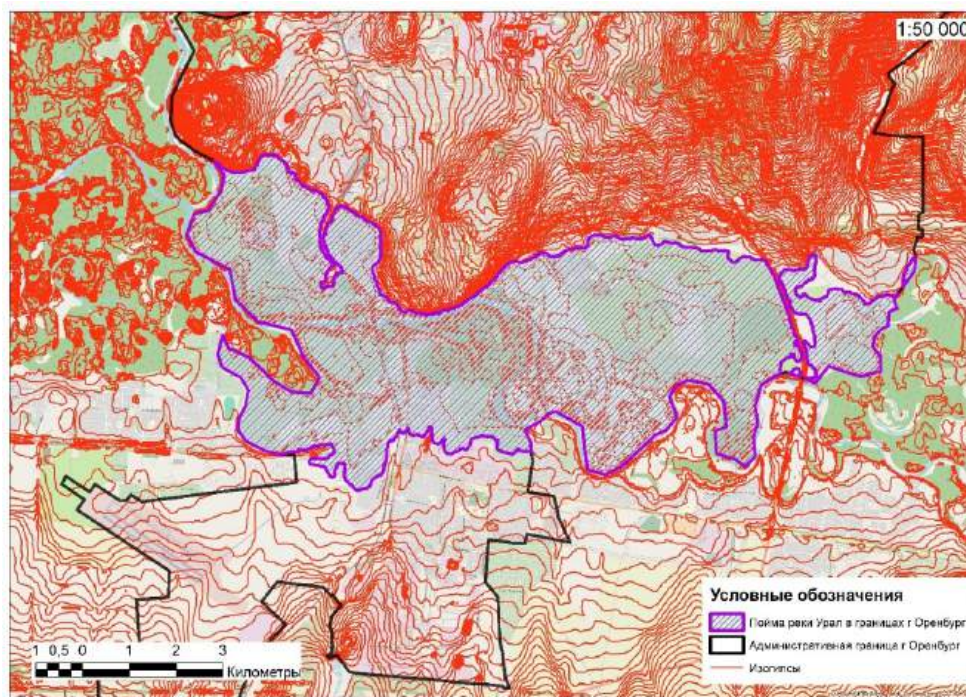


Рис. 2. Зона максимального затопления вдоль реки Урал в районе города Оренбург, ограниченная высотой 92 м

Поскольку к поймам относят часть речной долины, находящуюся выше русла и затопляемую в половодье или во время паводков, мы можем сделать вывод, что найденная и показанная на рис. 2 максимальная зона затопления является пойменной зоной реки Урал в черте города Оренбурга.

На основе полученной цифровой модели рельефа выявили, что зона затопления в черте города Оренбурга охватывает большую территорию, равную 50,3895 км<sup>2</sup>, что составляет 19,5 % от общей площади города, равной 258,6 км<sup>2</sup>.

Далее были проведены исследования, включающие анализ структуры пойменной зоны реки Урал в черте города Оренбурга на предмет наличия и изменения озеленения и застройки.

Были собраны композиты RGB в комбинации «естественные цвета» для снимка 2000 г. (для спутника Landsat-7) и для снимка 2024 г. (для спутника Landsat-8) (рис. 3, 4).

На основе полученных изображений была проведена векторизация зеленых зон и территории застройки. Данные представлены на рис. 3 и 4.

В результате проведенной векторизации снимков города Оренбурга были выявлены полигоны зеленых зон (11 штук в 2000 и 2024 гг.), с площадями 1,2586; 0,7524; 0,4854; 0,0002; 2,6202; 3,4512; 1,3392; 2,6132; 0,3521; 0,5178 и 0,4278 км<sup>2</sup>.

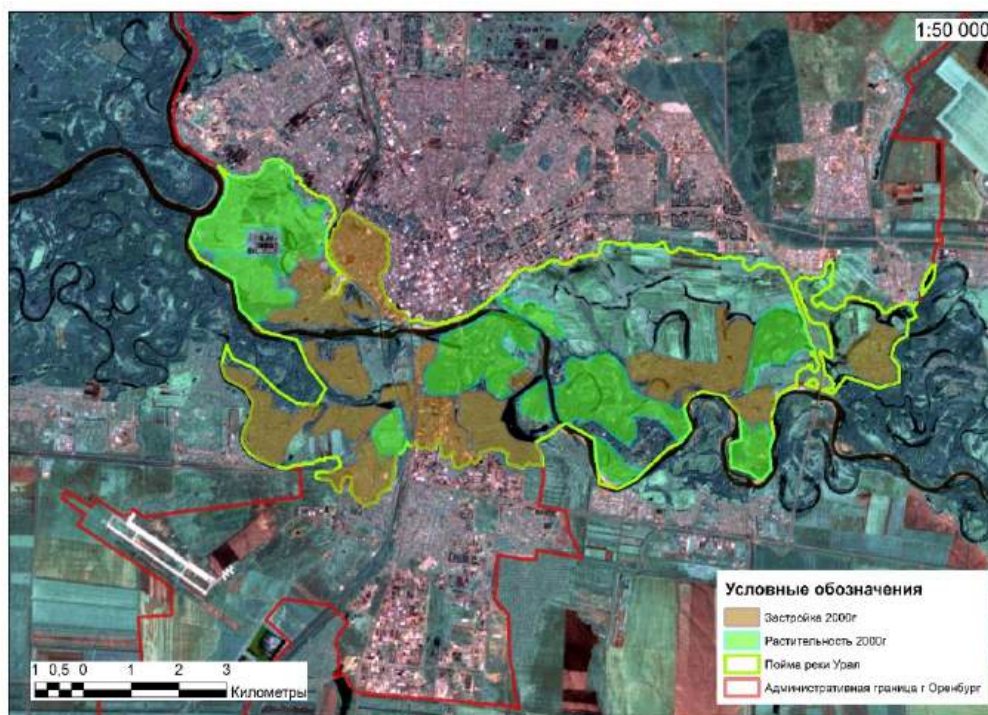


Рис. 3. Зеленые зоны и территория застройки пойменной зоны реки Урал в черте города Оренбурга в 2000 г.

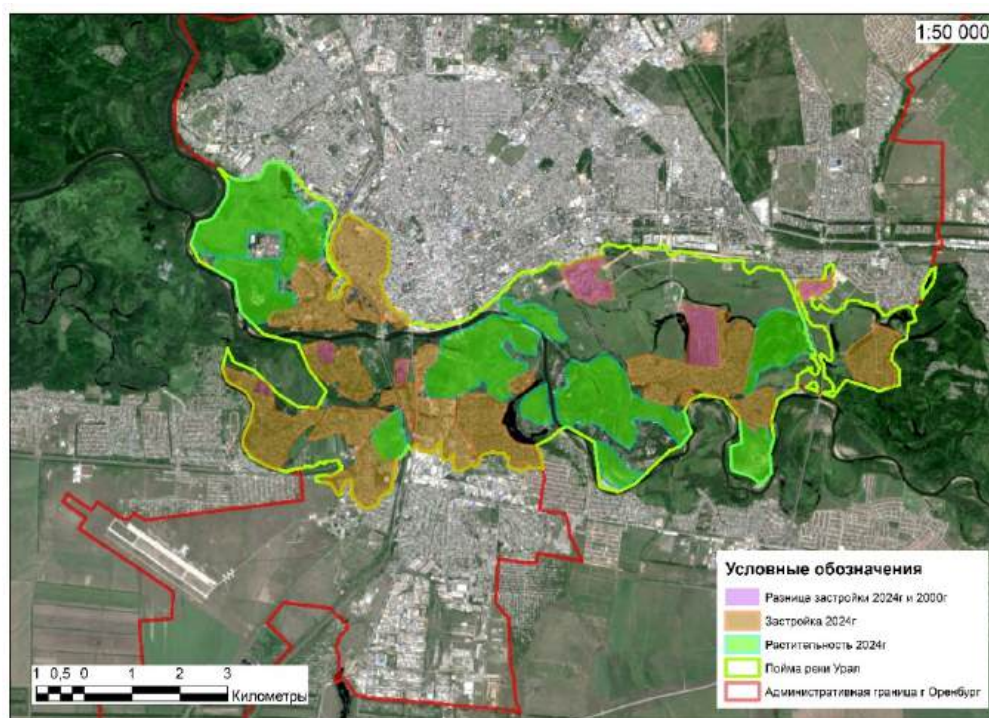


Рис. 4. Зеленые зоны и территория застройки пойменной зоны реки Урал в черте города Оренбурга в 2024 г.

В результате проведенной векторизации снимков города Оренбурга также были выявлены полигоны застройки:

а) 15 штук в 2000 г., с площадями 1,1580; 2,2006; 0,2459; 1,5890; 1,0011; 1,3576; 0,9149; 0,4839; 1,4963; 0,8671; 1,4864; 0,708197; 0,3264; 0,1365 и 0,0571 км<sup>2</sup>;

б) 18 штук в 2024 г., с площадями 1,1580; 2,2006; 0,2459; 1,5890; 1,0011; 1,3576; 0,7536; 0,6157; 0,9149; 0,2049; 0,4839; 1,4963; 0,9531; 1,5587; 0,7082; 0,4265; 0,1365; 0,0571 км<sup>2</sup>.

Из полученных данных видно, что количество полигонов застройки за последние двадцать лет увеличилось с 15 до 18 штук.

На основе векторизованных карт получены следующие данные:

- площадь пойменной зоны составила 50,3895 км<sup>2</sup>;
- площадь зоны озеленения поймы в 2000 и 2024 гг. составила 13,8182 км<sup>2</sup>;
- площадь застройки в 2000 г. составила 14,0290 км<sup>2</sup>;
- площадь застройки в 2024 г. составила 15,8616 км<sup>2</sup>.

Анализ полученной информации показал, что площадь зоны озеленения поймы реки Урал в черте города Оренбург за 2000 и 2024 гг. практически не изменилась и составила примерно 27,5 % от ее общей площади поймы.

В пойме р. Урал встречается классический сукцессионный ряд, включающий в себя: ивняки (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L.) – ветловники (*S. alba* L.) – осокорники (*Populus nigra* L.) – белотопольники (*P. alba* L.), вершины высоких грив занимают вязовники (*Ulmus laevis* Pall.) с участием *Quercus robur* L. Типичные дубовые сообщества (*Quercus robur* L.) встречаются единично или входят в состав растительных сообществ с доминированием *Ulmus laevis* Pall.

Площадь застройки пойменной зоны в 2000 и 2024 гг. составила 27,9 и 31,5 % от ее общей площади поймы соответственно.

### Заключение

Мониторинг озеленения пойменной зоны реки Урал в границах города Оренбурга показал, что озеленена примерно четверть территории поймы, расположенной в низинах вдоль реки Урал. Причем было установлено отсутствие изменений в размерах площадей озеленения пойменной зоны за прошедшие двадцать лет.

Однако необходимо отметить, что пойменные леса г. Оренбурга все чаще используются в рекреационных целях и являются зоной массового отдыха жителей. Одним из признаков рекреационной дигрессии городского пойменного леса является наличие сорных растений, составляющих около 10 % от общего количества видов растений [10].

Зафиксирован значительный прирост площадей застройки в 1,13 раз, расположенных как в водоохранной зоне, так и на землях сельскохозяйственного назначения.

Увеличение площади застройки в пойменной зоне реки Урал в пределах города Оренбурга может способствовать формированию загрязненных стоков. Ливневые и талые воды могут содержать загрязняющие вещества, которые образуются с территории автостоянок, транспортных развязок, автозаправочных станций, а также с территории городских улиц и других селитебных объектов.

Поскольку река имеет важное социальное, культурное, экономическое и экологическое значение, необходимо предпринимать усилия для создания зон покоя, обеспечивающих сохранение биоразнообразия экосистем в долине реки и предотвращения постоянной потери пойм и их ресурсов.

Полученные данные могут служить основой для работ по мониторингу и разработке мер охраны и рационального использования лесов пойменной зоны города Оренбурга.

### Список литературы

1. Сухара И. Влияние половодий на структуру и функциональные процессы пойменных экосистем // Журнал почвенной и растительной биологии. 2019. Т. 1. С. 44–60.
2. Андреадис К. М., Джи Уинг О. Е., Колвен Е. [и др.]. Урбанизация поймы: глобальные изменения водонепроницаемости в районах, подверженных наводнениям // Письма об экологических исследованиях. 2022. Т. 17, № 10. С. 104024.
3. Маддолени М., Мард Дж., Руска М. [и др.]. Поймы рек в антропоцене: глобальный анализ взаимодействия между численностью населения, антропогенной средой и интенсивностью наводнений // Исследования водных ресурсов. 2021. Т. 57. № 2. С. e2020WR027744.
4. Чжэн Ц., Ву З., Чень И. [и др.]. Исследование изменений экосреды и урбанизации в прибрежных зонах: исследование в Китае за последние 20 лет // Экологические индикаторы. 2020. Т. 119. С. 106847.
5. Якобсон Р. Б., Линднер Г., Битнер К. Роль восстановления поймы в смягчении риска наводнений, низовья реки Миссури, США // Геоморфологические подходы к комплексному управлению поймами равнинных речных систем в Северной Америке и Европе. Нью-Йорк : SpringerNewYork, 2015. С. 203–243.
6. Ахилан С., Гуан М., Сани А. [и др.]. Влияние восстановления поймы на динамику стока и наносов в городской реке // Журнал управления рисками наводнений. 2018. Т. 11. С. S986–S1001.
7. Ндехедехе К. Э., Берфорд М., Стюарт-Костер Б. [и др.]. Изменения продуктивности пойм и пресноводных местообитаний на севере Австралии по данным спутниковых наблюдений (1991–2019 гг.) // Экологические индикаторы. 2020. Т. 114. С. 106320.
8. Рони П., Холл Дж. Э., Дреннер С. М. [и др.]. Мониторинг эффективности восстановления пойменных местообитаний: обзор методов и рекомендаций для будущего мониторинга // Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. 2019. Т. 6. № 4. С. e1355.
9. Тан З., Ли И., Сюй Х. [и др.]. Картографирование динамики затопления в неоднородной пойме: выводы из интеграции наблюдений и модельного подхода // Гидрологический журнал. 2019. Т. 572. С. 148–159.
10. Васильева Т. Н., Иванова Е. А., Рябинина З. Н. Эколого-фитоценоотическое состояние пойменных лесов в окрестностях города Оренбурга и их рекреационное использование // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3. С. 70–81.

### References

1. Sukhara I. The influence of floods on the structure and functional processes of floodplain ecosystems. *Zhurnal pochvennoy i rastitel'noy biologii* = Journal of soil and plant biology. 2019;1:44–60. (In Russ.)

2. Andreadis K.M., Dzhi Uing O.E., Kolven E. et al. Floodplain urbanization: global changes in imperviousness in flood-prone areas. *Pis'ma ob ekologicheskikh issledovaniyakh* = Letters on Environmental Research. 2022;17(10):104024. (In Russ.)
3. Maddoleni M., Mard Dzh., Ruska M. et al. Floodplains in the anthropocene: a global analysis of the interactions between population, the anthropogenic environment, and flood intensity. *Issledovaniya vodnykh resursov* = Water resources research. 2021;57(2):e2020WR027744. (In Russ.)
4. Chzhen Ts., Vu Z., Chen' I. et al. Research on ecological change and urbanization in coastal zones: a case study in China in the past 20 years. *Ekologicheskie indikatory* = Ecological indicators. 2020;119:106847. (In Russ.)
5. Yakobson R.B., Lindner G., Bitner K. The role of floodplain restoration in flood risk mitigation, Lower Missouri River, USA. *Geomorfologicheskie podkhody k kompleksnomu upravleniyu poymami ravninnykh rechnykh sistem v Severnoy Amerike i Evrope* = Geomorphological approaches to integrated floodplain management of lowland river systems in North America and Europe. New York: SpringerNewYork, 2015:203–243. (In Russ.)
6. Akhilan S., Guan M., Sani A. et al. Impact of restoration of the river on the dynamics of runoff and sediment in the urban river. *Zhurnal upravleniya riskami navodneniy* = Flood risk management journal. 2018;11:S986–S1001. (In Russ.)
7. Ndekhekhe K.E., Berford M., Styuart-Koster B. et al. Changes in floodplain and freshwater habitat productivity in northern Australia from satellite data (1991–2019). *Ekologicheskie indikatory* = Ecological indicators. 2020;114:106320. (In Russ.)
8. Roni P., Khol Dzh. E., Drenner S.M. et al. Monitoring the effectiveness of floodplain habitat restoration: a review of methods and recommendations for future monitoring. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2019;6(4):e1355. (In Russ.)
9. Tan Z., Li I., Syuy Kh. et al. Mapping flooding dynamics in a heterogeneous floodplain: insights from integrating observations and a model approach. *Gidrologicheskiy zhurnal* = Hydrological journal. 2019;572:148–159. (In Russ.)
10. Vasil'eva T.N., Ivanova E.A., Ryabinina Z.N. Ecological and phytocenotic state of floodplain forests in the vicinity of the city of Orenburg and their recreational use. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2024;(3):70–81. (In Russ.)

#### Информация об авторах / Information about the authors

##### **Ирина Андреевна Степанова**

кандидат биологических наук,  
доцент кафедры экологии  
и природопользования,  
Оренбургский государственный  
университет  
(Россия, г. Оренбург, пр-т Победы, 13)  
E-mail: irinaanstp@mail.ru

##### **Irina A. Stepanova**

Candidate of biological sciences,  
associate professor of the sub-department  
of ecology and environmental management,  
Orenburg State University  
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

##### **Марина Юрьевна Гарицкая**

кандидат биологических наук, доцент,  
доцент кафедры экологии  
и природопользования  
Оренбургский государственный  
университет  
(Россия, г. Оренбург, пр-т Победы, 13)  
E-mail: m.garitskaya@yandex.ru

##### **Marina Yu. Garitskaya**

Candidate of biological sciences,  
associate professor, associate professor  
of the sub-department of ecology  
and environmental management,  
Orenburg State University  
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 30.04.2025**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 07.05.2025**

**Принята к публикации / Accepted 12.05.2025**

# ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

## PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 635.654.3 581.49 631.524.85 581.162.41

doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-8

### Характеристика устьичного аппарата вигны (*Vigna unguiculata*) при интродукции на юге Западной Сибири

Ц. Сунь<sup>1</sup>, Ю. В. Фотев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

<sup>1</sup>t.sun1@g.nsu.ru, <sup>2</sup>fotev\_2009@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Устьичный аппарат видов теплолюбивых растений семейства бобовых отражает экологические особенности его функционирования в (суб)тропических условиях исходного ареала. Для оценки морфометрических параметров листьев определяли плотность расположения и размер устьиц на адаксиальной и абаксиальной стороне листьев и исследовали их связь с холодостойкостью в фазе зрелого мужского гаметофита *in vitro*. *Материалы и методы.* В работе использовали 14 образцов вигны (*Vigna unguiculata*). Для исследования устьичного аппарата использовали сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM4000 plus. Жизнеспособность пыльцы *in vitro* оценивали на 20 % растворе ПЭГ 6000 в режиме 25 °C / 3 ч (контроль) и в режиме 6 °C / 24 ч (оценка холодостойкости). Для оценки сходства образцов по параметрам устьичного аппарата использовали кластерный анализ. Для измерения тесноты связи морфометрических параметров листьев с жизнеспособностью пыльцы *in vitro* использовали корреляционный анализ. *Результаты.* Морфологические параметры устьиц различных образцов вигны существенно различались. Плотность устьиц, размер их длинной и короткой оси на адаксиальной и абаксиальной стороне листьев составили 74–230 шт./мм<sup>2</sup>, 231–439 шт./мм<sup>2</sup>, 14,7–20,8 μm, 14,3–20,1 μm, 4,0–6,3 μm и 4,3–8,4 μm соответственно. Корреляционный анализ показал, что плотность устьиц на адаксиальной стороне листа достоверно коррелировала с показателем прорастания (жизнеспособностью) пыльцы при 25 °C ( $r = 0,524$ ), а длина короткой оси устьиц на адаксиальной стороне листа достоверно коррелировала с холодостойкостью ( $r = -0,513$ ). *Выводы.* Проведенная кластеризация разделила образцы вигны на три группы. Zinder, Кудесница и Блэк Сид отнесены к группе с самой высокой плотностью устьиц; Графиня, Лиана, Ниагара, к-802, Нежная, а также фасоль обыкновенная и адзуки (форма RU-1-NOVB-vegYF-0061) – к категории со средней плотностью устьиц; остальные сорта вошли в группу с самой низкой плотностью устьиц.

© Сунь Ц., Фотев Ю. В., 2025. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Ключевые слова:** вигна, *Vigna unguiculata*, устьичный аппарат, холодостойкость, кластерный анализ, корреляционный анализ

**Финансирование:** работа поддержана бюджетным проектом ЦСБС СО РАН АААА-А21-121011290027-6.

**Для цитирования:** Сунь Ц., Фотев Ю. В. Характеристика устьичного аппарата вигны (*Vigna unguiculata*) при интродукции на юге Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 88–100. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-8

## Characteristics of the stomatal apparatus of Vigna (*Vigna unguiculata*) during introduction in the south of Western Siberia

J. Sun<sup>1</sup>, Yu.V. Fotev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup>t.sun1@g.nsu.ru, <sup>2</sup>fotev\_2009@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The stomatal apparatus of heat-loving legume species reflects the ecological features of its functioning in the (sub) tropical conditions of the original range. To assess the morphometric parameters of leaves, the density of the arrangement and size of stomata on the adaxial and abaxial sides of the leaves were determined and their relationship with cold resistance in the mature male gametophyte phase in vitro was studied. *Materials and methods.* Fourteen accessions of cowpea (*Vigna unguiculata*) were used in the study. The Hitachi TM4000 plus scanning electron microscope was used to examine the stomatal apparatus. Pollen viability in vitro was assessed on a 20 % PEG 6000 solution at 25° / 3 hours (control) and at 6° / 24 hours (cold resistance assessment). The similarity of the accessions by the parameters of the stomatal apparatus was determined using cluster analysis. Correlation analysis was used to assess the relationship between the morphometric parameters of the leaves and the viability of pollen in vitro. *Results.* The morphological parameters of the stomata of different varieties of *Vigna* differed significantly. The stomatal density, stomatal long axis and stomatal short axis on the adaxial and abaxial side of *Vigna* were 74.0–230.0 / mm<sup>2</sup>, 231.0–439 / mm<sup>2</sup>, 14.7–20.8 μm, 14.3–20.1 μm, 4.0–6.3 μm and 4.3–8.4 μm, respectively. Correlation analysis showed that the density of stomata on the adaxial side of the leaf significantly correlated with pollen viability at 25° ( $r = 0.524$ ), and the short axis of the stomata on the adaxial side of the leaf significantly correlated with cold resistance ( $r = -0.513$ ). *Conclusions.* Systematic clustering divided the above varieties into three categories. Zinder, Kudesnitsa, Black Sid is a separate category with the highest stomatal density; Grafinya, Liliana, Niagara, k-802, Nezhnaya, and also *Phaseolus vulgaris* and adzuki (form RU-1-NOVB-vegYF-0061) are categories with medium stomatal density; the rest of the varieties were divided into one category, which had the lowest stomatal density.

**Keywords:** cowpea, *Vigna unguiculata*, stomatal apparatus, cold resistance, cluster analysis, correlation analysis

**Financing:** the research was financed by the Central Siberian Botanical Garden SB RAS project No. АААА-А21-121011290027-6.

**For citation:** Sun J., Fotev Yu.V. Characteristics of the stomatal apparatus of Vigna (*Vigna unguiculata*) during introduction in the south of Western Siberia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2025;(1):88–100. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-8

## Введение

Устьица растений являются основными каналами обмена газов, таких как  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , между растениями и внешней средой. Они играют важную роль в регулировании физиологической деятельности, такой как фотосинтез, дыхание и транспирация растений. Устьица играют ключевую роль в процессе адаптации растений к окружающей среде [1]. Очевидны различия по таким характеристикам, как плотность и размер устьиц в листьях разных растений [2]; имеются также различия в параметрах устьичного аппарата растений одного и того же рода или разных образцов одного и того же вида. Характеристики устьиц эпидермиса растений являются важной областью исследования ресурсов зародышевой плазмы растений [3]. Устьица – важный орган в изучении филогенетических взаимоотношений растений, а его особенности – важные показатели для изучения происхождения, эволюции и классификации растений [4].

В процессе долговременной эволюции растения адаптируются к изменениям окружающей среды, корректируя организацию и работу устьичного аппарата и механизмы роста и развития. Плотность и размер устьиц, а также чувствительность их открытия и закрытия отражают способность растения адаптироваться к стрессу [5]. Бирлинг и Чалонер обнаружили, что плотность устьиц дуба черешчатого (*Quercus robur*) отрицательно коррелирует с температурой [6]. Исследование Охсуми с соавторами показало, что снижение температуры не оказывает существенного влияния на плотность устьиц риса (*Oryza sativa*) [7]. Сюлин с соавторами обнаружили положительную корреляцию между длиной устьиц кукурузы (*Zea mays*) и разницей температур листьев [8]. Исследования также показали, что софора (*Sophora moorcroftiana*) адаптируется к низким температурам за счет уменьшения плотности расположения, длины и ширины устьиц [9].

Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) принадлежит к роду *Vigna* Savy семейства бобовых и является важной овощной и зернобобовой культурой. Ее родиной является Африка, а южное происхождение этой культуры определило, что она требует более высоких температур на всех стадиях роста и развития [10]. В России ее выращивают в небольших объемах в Астраханской области и на Дальнем Востоке [11]. Температура является одним из основных факторов, ограничивающих выращивание вигны в регионах с континентальным климатом. При низкотемпературном стрессе всхожесть и скорость появления всходов вигны снижаются с понижением температуры и увеличением продолжительности воздействия низких температур, а рост ее проростков подавляется [12]. Абиотические стрессы, такие как низкие температуры, серьезно влияют на рост и развитие растений. Чтобы адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды, растения подвергаются соответствующим изменениям в своей индивидуальной морфологии и фенотипических характеристиках, чтобы противостоять неблагоприятным факторам [13]. Устьица легко подвержены изменениям внешней среды, а их морфологические и структурные характеристики являются результатом длительной адаптации к изменениям внешней среды [14]. Растения могут изменять размер и плотность устьиц, чтобы адаптироваться к различным средам обитания, а также быстро регулировать открытие и закрытие устьиц, чтобы справляться с внезапными изменениями окружающей среды в краткосрочной перспективе

для уменьшения или предотвращения необратимого ущерба самому растению [15]. Предыдущие исследования подтвердили связь между устьичными характеристиками листьев растения и его холодостойкостью [16].

Тем не менее в настоящее время нет сведений о связи характеристик устьичного аппарата и холодостойкостью вигны. Цель исследования – оценка параметров устьичного аппарата образцов *V. unguiculata*, а также их связи с холодостойкостью пыльцы in vitro.

### Материалы и методы

Исследования проведены в лаборатории интродукции пищевых растений Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН). Материалом для испытаний послужили 14 образцов вигны (*Vigna unguiculata*), а также для сравнения один образец адзуки (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & N. Ohashi) и один образец фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) разного происхождения, включая коллекции ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) и Коллекции живых растений открытого и защищенного грунта ЦСБС СО РАН УНУ № USU 440534 (табл. 1).

Таблица 1

Образцы, использованные в работе и их происхождение

| Номер | Образцы                                             | Происхождение                 |
|-------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1     | Блэк Сид                                            | Агрофирма «Плазменные семена» |
| 2     | Графиня                                             | Агрофирма «Гавриш»            |
| 3     | к-802                                               | ВИР                           |
| 4     | Красно-пестрая                                      | ЦСБС СО РАН                   |
| 5     | Кудесница                                           | Агрофирма «СЕДЕК»             |
| 6     | Лилиана                                             | Агрофирма «Поиск»             |
| 7     | Макаретти                                           | Агрофирма «Гавриш»            |
| 8     | Нежная                                              | Агрофирма «Гавриш»            |
| 9     | Ниагара                                             | Агрофирма «Гавриш»            |
| 10    | Сибирский размер                                    | ЦСБС СО РАН                   |
| 11    | Факир                                               | Агрофирма «СЕДЕК»             |
| 12    | Юньнаньская                                         | ЦСБС СО РАН                   |
| 13    | EarlyProlificacyXiaoBao #2                          | КНР                           |
| 14    | Zinder                                              | Дания (по Делектусу)          |
| 15    | Фасоль обыкновенная, Королева Неккар (Neckar Queen) | ООО СПК «АПД»                 |
| 16    | Адзуки, форма RU-1-NOVB-vegYF-0061                  | ЦСБС СО РАН                   |

Семена всех образцов выращивали в 2023 г. в одинаковых условиях в пленочной необогреваемой теплице ЦСБС СО РАН (54.820364 с.ш., 83.121464 в.д.). Для исследования устьиц отбирали взрослые, здоровые растения. Использовали взрослые листья среднего яруса (выборка), собранные с растений утром (9:30 – 9:45). Фрагменты листьев (1 см<sup>2</sup>) вырезали из середины листовой пластинки листа и исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM4000 plus (Япония), оснащенного Deben-CoolStage, в режиме высокого вакуума – 30 °С, в ЦКП ЦСБС СО РАН.

Морфологическое описание устьиц проводили по опубликованной ранее методике [17]. Случайным образом выбирали по три листа из каждой выборки, измеряли, фотографировали и записывали количество и размер устьиц, обращая внимание на их морфологию. Плотность устьиц и частоту устьиц рассчитывают по формулам [18]:

$$\text{Плотность устьиц} = \frac{\text{Количество устьиц}}{\text{область поля зрения}};$$

$$\text{Устьичная частота} = \text{Количество устьиц на адаксиальной стороне} + \\ + \text{Количество устьиц на абаксиальной стороне}.$$

Для определения холодостойкости собранную пыльцу помещали на среду с полиэтиленгликолем с молекулярной массой 6000 (ПЭГ 6000), являющимся синтетическим осмотиком, не участвующим в метаболизме растительных клеток. Далее пыльцу помещали в каплю среды на предметное стекло и переносили в термостат на режим 25 °C / 3 ч – для определения жизнеспособности (контроль) и в холодильник на режим 6 °C / 24 ч – для оценки прорастания при низкой температуре. После инкубации предметные стекла помещали под микроскоп Carl Zeiss Primo Star и просматривали при 100-кратном увеличении. Проросшей (жизнеспособной) считали пыльцу с длиной пыльцевой трубки, превышающей 1/2 диаметра пыльцевого зерна [19]. Случайным образом подсчитывали число проросших пыльцевых зерен в трех полях зрения. В каждом поле содержалось не менее 50 пыльцевых зерен, рассчитывалось число проросших пыльцевых зерен. Жизнеспособность в виде прорастания пыльцы при разной температуре (25 и 6 °C) и холодостойкость рассчитывали по формулам [20]:

$$\text{Жизнеспособность (\%)} = \left( \frac{\text{Количество проросшей пыльцы}}{\text{Общее количество пыльцы}} \right) \times 100;$$

$$\text{Холодостойкость (\%)} = \frac{\text{Количество проросшей пыльцы при 6 °C}}{\text{Количество проросшей пыльцы при 25 °C}} \times 100.$$

Статистическая обработка опытных данных включала использование программ Excel, SPSS для анализа значимости, корреляционного и кластерного анализа.

## Результаты

### *Характеристика устьиц листьев вигны*

Результаты микроскопических исследований морфологии устьиц разных сортов вигны представлены на рис. 1. Морфологические различия эпидермальных клеток листьев у 14 образцов вигны очень малы, при этом форма верхних и нижних эпидермальных клеток листьев полигональная. С точки зрения распределения устьиц, все устьица в листьях 14 образцов вигны расположены неправильно и имеют неправильную ориентацию. Установлен паразитный тип устьичного аппарата листьев вигны. Все устьица в листьях 14 образцов вигны имеют продолговатую форму и имеют заметные углубления.

Устьица копланарны с клетками эпидермиса, при этом каждая устьица окружена от 2 до 6 клеток эпидермиса. Почковидные замыкающие клетки по обе стороны устьиц расположены симметрично по обе стороны от устьицы. По обеим сторонам замыкающих клеток нет дополнительных клеток, и они заметно выделяются по сравнению с эпидермальными клетками.

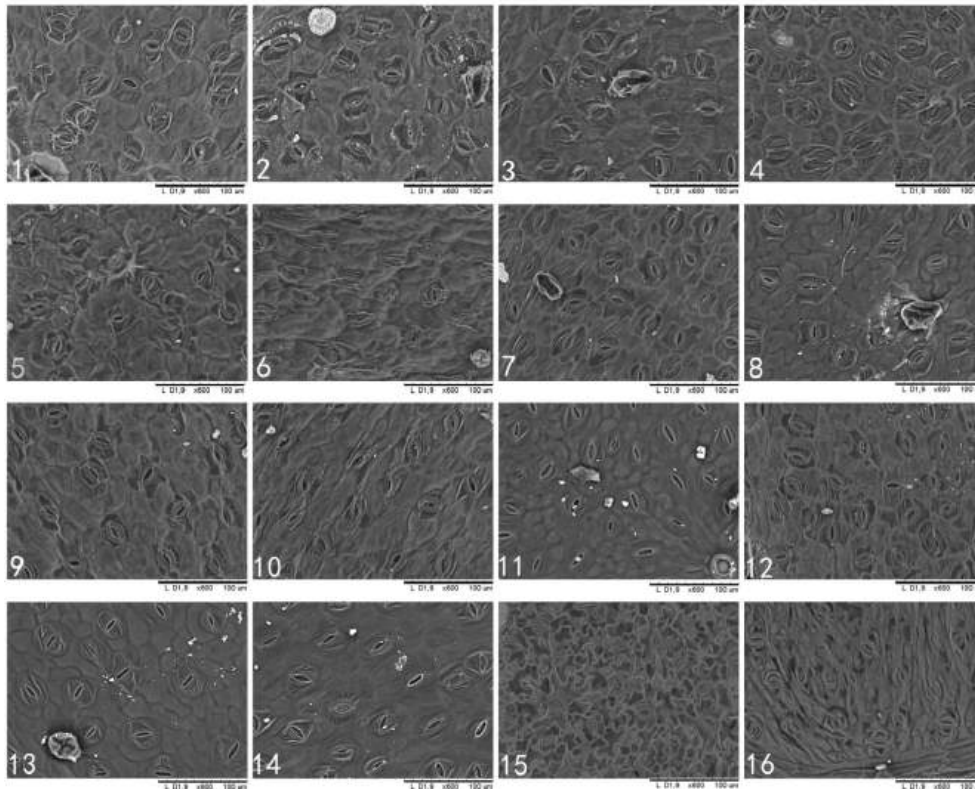


Рис 1. Морфология устьиц эпидермиса листьев вигны разных сортов:  
 1 – Сибирский размер; 2 – Юньнаньская; 3 – Графиня; 4 – Красно-пестрая; 5 – к-802;  
 6 – Early Prolificacy Xiao Bao #2; 7 – Zinder; 8 – Факир; 9 – Лилиана; 10 – Макаретти;  
 11 – Блэк Сид; 12 – Кудесница; 13 – Нежная; 14 – Ниагара; 15 – фасоль  
 обыкновенная, сорт Neekar Queen; 16 – адзуки, форма RU-1-NOVB-vegYF-0061

Результаты анализа семи устьичных признаков листьев вигны показали, что у всех сортов устьица располагались на адаксиальной и абаксиальной стороне, а плотность устьиц на адаксиальной стороне всех разновидностей меньше, чем на абаксиальной стороне (табл. 2). Плотность устьиц на адаксиальной стороне тестируемых сортов колебалась от 33 до 230 шт./мм<sup>2</sup>, а плотность устьиц на абаксиальной стороне – от 20 до 439 шт./мм<sup>2</sup>. Различия между сортами были большими, со значениями коэффициента вариации (CV) – 41 и 31 % соответственно. Наибольшая плотность устьиц наблюдалась у сорта Блэк Сид (668 шт./мм<sup>2</sup>), наименьшая – у сорта Нежная (305 шт./мм<sup>2</sup>), у других образцов плотность устьиц изменяется от 347 до 586 шт./мм<sup>2</sup>.

Сравнение размеров устьиц на адаксиальной и абаксиальной стороне листьев показало различия в размерах устьиц. У испытуемых сортов на адаксиальной стороне размер длинной оси устьиц был зафиксирован в пределах

от 14,7 до 20,8  $\mu\text{m}$ , короткой оси – от 4,0 до 6,3  $\mu\text{m}$ , на абаксиальной стороне размер длинной оси составлял от 14,3 до 20,1  $\mu\text{m}$ , короткой оси – от 4,9 до 8,4  $\mu\text{m}$ .

Таблица 2

## Характеристика устьиц разных образцов вигны

| Образцы | Плотность устьиц на 1 мм <sup>2</sup> |                                 | Размер устьиц, $\mu\text{m}$   |                              |                                 |                               |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
|         | адаксиальная поверхность листа        | абаксиальная поверхность листа  | адаксиальная поверхность листа |                              | абаксиальная поверхность листа  |                               |
|         |                                       |                                 | длина                          | ширина                       | длина                           | ширина                        |
| 1       | 174,7 $\pm$ 3,7 <sup>b</sup>          | 337,0 $\pm$ 7,8 <sup>d</sup>    | 20,6 $\pm$ 0,9 <sup>bc</sup>   | 5,2 $\pm$ 0,6 <sup>ab</sup>  | 17,3 $\pm$ 1,5 <sup>abcde</sup> | 8,4 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>    |
| 2       | 133,3 $\pm$ 2,7 <sup>e</sup>          | 283,0 $\pm$ 5,0 <sup>efg</sup>  | 18,4 $\pm$ 1,0 <sup>abcd</sup> | 6,3 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>   | 16,9 $\pm$ 1,0 <sup>abcde</sup> | 7,6 $\pm$ 0,3 <sup>ab</sup>   |
| 3       | 97,3 $\pm$ 0,9 <sup>g</sup>           | 301,7 $\pm$ 1,9 <sup>e</sup>    | 19,2 $\pm$ 1,0 <sup>abcd</sup> | 5,2 $\pm$ 0,4 <sup>ab</sup>  | 20,1 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>     | 6,8 $\pm$ 0,1 <sup>abc</sup>  |
| 4       | 159,0 $\pm$ 2,9 <sup>cd</sup>         | 360,0 $\pm$ 11,0 <sup>c</sup>   | 19,7 $\pm$ 0,4 <sup>abc</sup>  | 5,7 $\pm$ 0,2 <sup>ab</sup>  | 17,2 $\pm$ 0,8 <sup>abcde</sup> | 6,4 $\pm$ 1,3 <sup>abcd</sup> |
| 5       | 112,0 $\pm$ 0,6 <sup>f</sup>          | 243,3 $\pm$ 1,8 <sup>h</sup>    | 18,4 $\pm$ 0,8 <sup>abcd</sup> | 5,4 $\pm$ 0,8 <sup>ab</sup>  | 14,3 $\pm$ 0,8 <sup>e</sup>     | 5,0 $\pm$ 0,6 <sup>cd</sup>   |
| 6       | 169,7 $\pm$ 2,6 <sup>bc</sup>         | 280,3 $\pm$ 2,4 <sup>efg</sup>  | 14,7 $\pm$ 0,3 <sup>e</sup>    | 4,6 $\pm$ 0,7 <sup>abc</sup> | 14,9 $\pm$ 1,7 <sup>de</sup>    | 4,9 $\pm$ 0,7 <sup>cd</sup>   |
| 7       | 169,0 $\pm$ 0,6 <sup>bc</sup>         | 405,3 $\pm$ 2,9 <sup>b</sup>    | 16,3 $\pm$ 0,5 <sup>de</sup>   | 4,1 $\pm$ 0,7 <sup>bc</sup>  | 15,6 $\pm$ 1,5 <sup>cde</sup>   | 6,4 $\pm$ 0,3 <sup>abcd</sup> |
| 8       | 147,3 $\pm$ 8,3 <sup>d</sup>          | 276,7 $\pm$ 1,8 <sup>fg</sup>   | 18,2 $\pm$ 1,6 <sup>abcd</sup> | 4,7 $\pm$ 0,5 <sup>abc</sup> | 17,4 $\pm$ 0,5 <sup>abcde</sup> | 5,6 $\pm$ 0,2 <sup>bcd</sup>  |
| 9       | 89,3 $\pm$ 4,5 <sup>gh</sup>          | 280,7 $\pm$ 2,4 <sup>efg</sup>  | 17,6 $\pm$ 0,9 <sup>bcde</sup> | 5,4 $\pm$ 0,3 <sup>ab</sup>  | 19,1 $\pm$ 0,7 <sup>abc</sup>   | 6,1 $\pm$ 0,3 <sup>abcd</sup> |
| 10      | 75,3 $\pm$ 1,5 <sup>i</sup>           | 272,0 $\pm$ 4,5 <sup>g</sup>    | 18,8 $\pm$ 0,6 <sup>abcd</sup> | 4,7 $\pm$ 0,7 <sup>abc</sup> | 19,0 $\pm$ 0,2 <sup>abc</sup>   | 5,9 $\pm$ 0,2 <sup>bcd</sup>  |
| 11      | 229,7 $\pm$ 2,7 <sup>a</sup>          | 438,7 $\pm$ 13,1 <sup>a</sup>   | 19,0 $\pm$ 0,4 <sup>abcd</sup> | 5,1 $\pm$ 0,8 <sup>abc</sup> | 19,5 $\pm$ 0,7 <sup>bc</sup>    | 5,9 $\pm$ 1,2 <sup>bcd</sup>  |
| 12      | 181,3 $\pm$ 5,2 <sup>b</sup>          | 404,3 $\pm$ 5,2 <sup>b</sup>    | 16,6 $\pm$ 0,8 <sup>de</sup>   | 5,5 $\pm$ 0,1 <sup>ab</sup>  | 16,0 $\pm$ 0,7 <sup>bcde</sup>  | 6,3 $\pm$ 0,3 <sup>abcd</sup> |
| 13      | 73,7 $\pm$ 1,3 <sup>i</sup>           | 231,0 $\pm$ 3,8 <sup>h</sup>    | 16,3 $\pm$ 1,1 <sup>de</sup>   | 4,6 $\pm$ 0,1 <sup>abc</sup> | 18,3 $\pm$ 0,9 <sup>abcd</sup>  | 5,8 $\pm$ 0,4 <sup>bcd</sup>  |
| 14      | 92,7 $\pm$ 2,2 <sup>g</sup>           | 290,0 $\pm$ 12,6 <sup>efg</sup> | 20,8 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>    | 4,0 $\pm$ 0,3 <sup>bc</sup>  | 17,6 $\pm$ 0,6 <sup>abcde</sup> | 7,3 $\pm$ 0,9 <sup>ab</sup>   |
| 15      | 93,0 $\pm$ 6,0 <sup>g</sup>           | 303,0 $\pm$ 3,0 <sup>e</sup>    | 16,8 $\pm$ 0,8 <sup>cde</sup>  | 5,5 $\pm$ 0,1 <sup>ab</sup>  | 18,9 $\pm$ 1,9 <sup>abc</sup>   | 4,3 $\pm$ 0,5 <sup>d</sup>    |
| 16      | 78,0 $\pm$ 6,0 <sup>hi</sup>          | 297,0 $\pm$ 5,0 <sup>ef</sup>   | 11,2 $\pm$ 0,7 <sup>f</sup>    | 3,1 $\pm$ 0,1 <sup>c</sup>   | 14,8 $\pm$ 0,1 <sup>de</sup>    | 4,5 $\pm$ 0,1 <sup>d</sup>    |

Образцы вигны: 1 – Сибирский размер; 2 – Юньнаньская; 3 – Графиня; 4 – Красно-пестрая; 5 – к-802; 6 – Early Prolificacy Xiao Bao #2; 7 – Zinder; 8 – Факир; 9 – Лилиана; 10 – Макаретти; 11 – Блэк Сид; 12 – Кудесница; 13 – Нежная; 14 – Ниагара; 15 – фасоль обыкновенная, сорт Neckar Queen; 16 – адзуки, форма RU-1-NOVB-vegYF-0061. Разные буквы в одном столбце обозначают существенные различия при 0,05 % уровне значимости, одинаковые буквы – отсутствие различий.

## Результаты кластерного анализа параметров устьичного аппарата

Параметры устьичного аппарата листьев 14 образцов вигны, а также образца фасоли обыкновенной и адзуки использовали в качестве переменных

при проведении кластерного анализа (рис. 2). Результаты показали, что сорта можно разделить на три группы. В первую вошли сорта Блэк Сид, Кудесница и Zinder, у которых была самая высокая плотность устьиц на адаксиальной и абаксиальной стороне листьев, 169,0–229,7 и 404,3–438,7 шт./мм<sup>2</sup> соответственно. Во второй группе оказались образцы к-802, Лилиана, Макаретти, Нежная, Ниагара, фасоль обыкновенная и адзуки; в третьей: Сибирский размер, Юньнаньская, Графиня, Красно-пестрая, Early Prolificacy Xiao Bao #2 и Факир. Вторая (II) и третья (III) группы представляют собой подкластеры, сформировавшие один большой кластер (II + III), резко отличающийся от кластера I. Можно предположить, что экологические условия формирования анатомической структуры листьев образцов внутри I кластера в регионе их происхождения могли быть сходными.

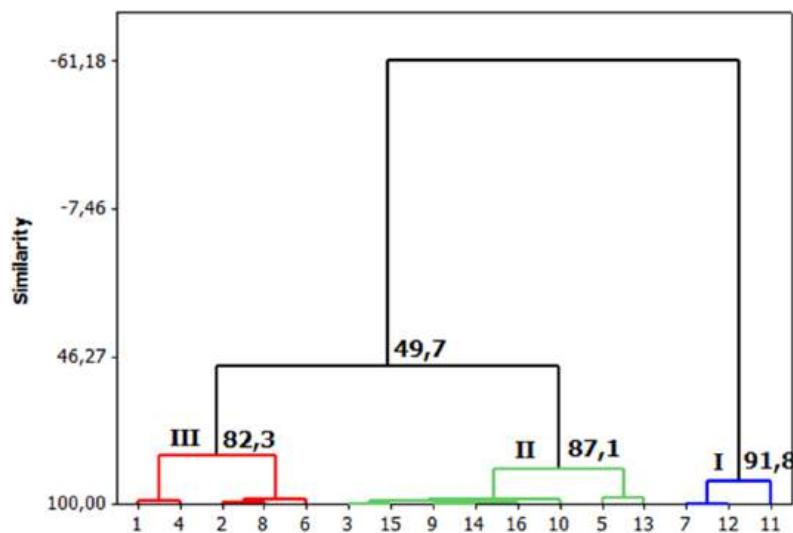


Рис. 2. Результаты кластерного анализа на основе характеристик устьичного аппарата листьев образцов вигны:

1 – Сибирский размер; 2 – Юньнаньская; 3 – Графиня; 4 – Красно-пестрая; 5 – к-802; 6 – Early Prolificacy Xiao Bao #2; 7 – Zinder; 8 – Факир; 9 – Лилиана; 10 – Макаретти; 11 – Блэк Сид; 12 – Кудесница; 13 – Нежная; 14 – Ниагара; 15 – фасоль обыкновенная, сорт Neckar Queen; 16 – адзуки, форма RU-1-NOVB-vegYF-0061

#### *Влияние низкой температуры на жизнеспособность пыльцы вигны*

Для определения наличия связи между параметрами устьичного аппарата образцов вигны и жизнеспособностью пыльцы при ее проращивании на растворе ПЭГ 6000 *in vitro* было проведено специальное исследование.

Результаты дисперсионного анализа показали (табл. 3), что имеются достоверные различия в прорастании пыльцы *in vitro* у разных образцов при температуре 25 °C ( $p < 0,05$ ). Наибольшую всхожесть (95,2 %) имел сорт Блэк Сид, а наименьшую – сорт Красно-пестрая (7,7 %).

При проращивании пыльцы в условиях низкой температуры (6 °C) отмечены достоверные различия в жизнеспособности пыльцы разных сортов ( $p < 0,05$ ) (табл. 3), жизнеспособность пыльцы снижается с понижением температуры. По сравнению с нормальной температурой (25 °C) жизнеспособность пыльцы образцов снизилась от 8 до 100 %. Среди испытанных сортов

вигны не проросла только пыльца сорта Юньнаньская, оказавшаяся наиболее «теплолюбивой». Сорт Графиня имел близкий к нулю показатель низкотемпературного прорастания пыльцы (2,2 %). Наибольшую жизнеспособность при таких условиях показала пыльца сорта Кудесница (57,9 %). Наибольшее снижение отмечено у сортов Юньнаньская и Графиня, коллекционных образцов Красно-пестрая и к-802 – на 78–100 %, наименьшее – у сорта вигны Кудесница.

Наиболее холодостойкими оказались образцы Zinder, Лилиана и Кудесница с показателями от 97,9 до 73,8 % к показателю прорастания пыльцы при 25 °С. Самыми «теплолюбивыми» были Early Prolificacy Xiao Bao #2 (34,9 %), Графиня (14,5 %) , к-802 (13,3 %) и сорт Юньнаньская (0,0 %).

Таблица 3

Ранжированные показатели жизнеспособности (при 25° и 6 °С)  
и холодостойкости пыльцы разных образцов вигны, фасоли и адзуки

| Образцы | Прорастание<br>пыльцы<br>при 25 °С, % | Образцы | Прорастание<br>пыльцы<br>при 6 °С, % | Образцы | Холодостойкость<br>по пыльце, % |
|---------|---------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|---------------------------------|
| 11      | ↓88,4 ± 5,8 <sup>a</sup>              | 12      | ↓57,9 ± 4,8 <sup>a</sup>             | 7       | ↓97,9 ± 15,1 <sup>a</sup>       |
| 12      | 81,7 ± 9,3 <sup>ab</sup>              | 15      | 50,0 ± 8,2 <sup>b</sup>              | 9       | 81,7 ± 10,1 <sup>ab</sup>       |
| 6       | 71,1 ± 5,2 <sup>bc</sup>              | 7       | 41,1 ± 2,7 <sup>b</sup>              | 12      | 73,8 ± 13,1 <sup>abc</sup>      |
| 8       | 70,8 ± 5,3 <sup>bc</sup>              | 8       | 40,2 ± 3,9 <sup>b</sup>              | 16      | 72,9 ± 14,8 <sup>abc</sup>      |
| 1       | 67,9 ± 3,1 <sup>c</sup>               | 9       | 39,9 ± 7,1 <sup>b</sup>              | 15      | 71,8 ± 11,7 <sup>abc</sup>      |
| 15      | 61,0 ± 3,3 <sup>c</sup>               | 11      | 34,4 ± 8,3 <sup>bc</sup>             | 10      | 69,2 ± 13,5 <sup>abcd</sup>     |
| 9       | 48,9 ± 5,5 <sup>d</sup>               | 16      | 34,3 ± 5,7 <sup>bc</sup>             | 14      | 68,5 ± 3,2 <sup>abcd</sup>      |
| 16      | 47,7 ± 2,7 <sup>d</sup>               | 1       | 32,9 ± 8,9 <sup>bc</sup>             | 8       | 58,1 ± 9,7 <sup>bcde</sup>      |
| 7       | 44,6 ± 8,7 <sup>de</sup>              | 6       | 24,2 ± 5,0 <sup>cd</sup>             | 13      | 50,9 ± 9,1 <sup>cde</sup>       |
| 13      | 38,9 ± 4,0 <sup>def</sup>             | 10      | 23,1 ± 2,8 <sup>cd</sup>             | 1       | 48,9 ± 13,5 <sup>cde</sup>      |
| 10      | 34,3 ± 2,6 <sup>ef</sup>              | 14      | 22,1 ± 1,9 <sup>cd</sup>             | 4       | 45,7 ± 6,6 <sup>cde</sup>       |
| 14      | 32,2 ± 1,6 <sup>f</sup>               | 13      | 19,1 ± 1,4 <sup>d</sup>              | 11      | 40,4 ± 11,2 <sup>def</sup>      |
| 5       | 28,2 ± 0,7 <sup>f</sup>               | 5       | 3,7 ± 0,9 <sup>e</sup>               | 6       | 34,9 ± 8,5 <sup>ef</sup>        |
| 3       | 17,4 ± 1,4 <sup>g</sup>               | 4       | 3,4 ± 0,4 <sup>e</sup>               | 3       | 14,5 ± 7,7 <sup>fg</sup>        |
| 2       | 10,2 ± 0,7 <sup>g</sup>               | 3       | 2,2 ± 1,1 <sup>e</sup>               | 5       | 13,3 ± 3,2 <sup>fg</sup>        |
| 4       | 7,7 ± 0,8 <sup>g</sup>                | 2       | 0,0 ± 0,0 <sup>e</sup>               | 2       | 0,0 ± 0,0 <sup>g</sup>          |

П р и м е ч а н и е: 1 – Сибирский размер; 2 – Юньнаньская; 3 – Графиня; 4 – Красно-пестрая; 5 – к-802; 6 – Early Prolificacy Xiao Bao #2; 7 – Zinder; 8 – Факир; 9 – Лилиана; 10 – Макаретти; 11 – Блэк Сид; 12 – Кудесница; 13 – Нежная; 14 – Ниагара; 15 – фасоль обыкновенная, сорт Neckar Queen; 16 – адзуки, форма RU-1-NOVB-vegYF-0061. Разные буквы в одном столбце обозначают существенные различия при 0,05 % уровне значимости, одинаковые буквы – отсутствие различий; данные ранжированы по убыванию.

*Анализ корреляции между параметрами устьичного  
аппарата листьев и жизнеспособностью пыльцы вигны*

Корреляционный анализ между параметрами устьичного аппарата и жизнеспособностью пыльцы различных сортов вигны показал, что жизнеспособность пыльцы при 25 °С положительно коррелировала с жизнеспособностью пыльцы при 6 °С ( $r = 0,808$ ,  $p < 0,01$ ) и с плотностью устьиц на адаксиальной стороне листьев ( $r = 0,524$ ,  $p < 0,05$ ) (табл. 4). Жизнеспособность пыльцы при 6 °С положительно коррелировала с холодостойкостью пыльцы

( $r = 0,776$ ,  $p < 0,01$ ). Холодостойкость пыльцы отрицательно коррелировала с короткой осью устьиц на адаксиальной стороне листьев ( $r = -0,513$ ,  $p < 0,05$ ). Плотность устьиц на адаксиальной стороне листьев положительно коррелировала с плотностью устьиц на абаксиальной стороне ( $r = 0,777$ ,  $p < 0,01$ ). Длинная ось устьиц на адаксиальной стороне листьев положительно коррелировала с короткой осью устьиц на адаксиальной стороне листьев ( $r = 0,517$ ,  $p < 0,05$ ), а длинная ось устьиц на адаксиальной стороне листьев положительно коррелировала с короткой осью устьиц на абаксиальной стороне листьев ( $r = 0,677$ ,  $p < 0,05$ ).

Таблица 4

Результаты корреляционного анализа параметров устьичного аппарата листьев и показателей жизнеспособности пыльцы вигны

|   | A       | B       | C       | D       | E     | F       | G     | H     | I |
|---|---------|---------|---------|---------|-------|---------|-------|-------|---|
| A | 1       |         |         |         |       |         |       |       |   |
| B | 0,808** | 1       |         |         |       |         |       |       |   |
| C | 0,369   | 0,776** | 1       |         |       |         |       |       |   |
| D | 0,524*  | 0,222   | -0,1    | 1       |       |         |       |       |   |
| E | 0,411   | 0,411   | 0,284   | 0,777** | 1     |         |       |       |   |
| F | -0,234  | -0,33   | -0,284  | 0,186   | 0,096 | 1       |       |       |   |
| G | -0,172  | -0,254  | -0,513* | 0,252   | 0,069 | 0,517*  | 1     |       |   |
| H | -0,035  | -0,001  | 0,011   | -0,167  | 0,045 | 0,491   | 0,282 | 1     |   |
| I | -0,243  | -0,257  | -0,188  | 0,243   | 0,22  | 0,677** | 0,299 | 0,237 | 1 |

Примечание: A – жизнеспособность пыльцы при 25 °C; B – жизнеспособность пыльцы при 6 °C; C – холодостойкость пыльцы; D – плотность устьиц на адаксиальной стороне листа; E – плотность устьиц на абаксиальной стороне листа; F – длинная ось устьиц на адаксиальной стороне листа; G – короткая ось устьиц на адаксиальной стороне листа; H – длинная ось устьиц на абаксиальной стороне листа; I – короткая ось устьиц на абаксиальной стороне листа; \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$ .

### Заключение

Установлена связь характеристик устьичного аппарата образцов вигны с холодостойкостью этой культуры: длина короткой оси устьиц на адаксиальной стороне листа отрицательно коррелирует с холодостойкостью пыльцы при низкой температуре (6 °C) ( $r = -0,513$ ,  $p < 0,05$ ), что может служить важным фенотипическим индикатором адаптации вигны к низкотемпературному стрессу.

Кластерный анализ показал, что сорта с высокой плотностью устьиц (Блэк Сид, Кудесница и Zinder) демонстрируют более высокий показатель прорастания пыльцы при низкой температуре, что может быть связано с экологическими условиями их происхождения.

Такие сорта, как Zinder, Кудесница и Лилиана, обладают высокой жизнеспособностью пыльцы при низких температурах и могут быть использованы в качестве потенциального исходного материала для интродукции или селекции на холодоустойчивость в Западной Сибири.

В дальнейшем исследовании необходимо объединить с экспериментами по выращиванию растений в полевых условиях для проверки надежности связи между характеристиками устьиц и холодостойкостью. Целесообразно интегрировать мультиомные технологии (такие как геномика, транскриптомика и метаболомика) для систематического анализа генетического механизма

регуляции развития устьиц у вигны и его молекулярной сети взаимодействия с устойчивостью к холоду для выявления ключевых генов и метаболических путей. Это обеспечит теоретическую основу для точного скрининга ресурсов зародышевой плазмы, холодостойкости и целенаправленного улучшения сортов вигны, а в конечном итоге будет способствовать выращиванию новых сортов этой культуры с высокой стрессоустойчивостью, способных адаптироваться к умеренному климату.

### Список литературы

1. Hsu P. K. Signaling mechanisms in abscisic acid-mediated stomatal closure // *The Plant Journal*. 2021. Vol. 105, № 2. P. 307–321. doi: 10.1111/tpj.15067
2. Beghin T. Shape and texture based plant leaf classification // *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems: 12th International Conference*. Sydney, Australia : Springer, 2010. P. 345–353.
3. Payamnoor V., Sattarian A. Stomatal variations and their position relative to leaf epidermal cells in ten *Maple* species // *Folia Oecologica*. 2024. Vol. 51, № 1. P. 83–92. doi: 10.2478/foecol-2024-0009
4. Hong T. Characteristics and correlations of leaf stomata in different *Aleurites montana* provenances // *PloS one*. 2018. Vol. 13, № 12. P. e0208899. doi: 10.1371/journal.pone.0208899
5. Ro H.-M. Photosynthetic characteristics and growth responses of dwarf apple (*Malus domestica* Borkh. cv. Fuji) saplings after 3 years of exposure to elevated atmospheric carbon dioxide concentration and temperature // *Trees*. 2001. Vol. 15. P. 195–203. doi: 10.1007/s004680100099
6. Beerling D. J., Chaloner W. G. The impact of atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature changes on stomatal density: observation from *Quercus robur* lammas leaves // *Annals of Botany*. 1993. Vol. 71, № 3. P. 231–235. doi: 10.1006/anbo.1993.1029
7. Ohsumi A. Genotypic variation of stomatal conductance in relation to stomatal density and length in rice (*Oryza sativa* L.) // *Plant Production Science*. 2007. Vol. 10, № 3. P. 322–328. doi: 10.1626/pps.10.322
8. Xiuling W. Study on stomatal characteristics and leaf temperature difference of different maize genotypes // *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*. 2004. Vol. 19, № 1. P. 71–74. doi: 10.3321/j.issn:1000-7091.2004.01.020
9. Weijie Y. Responses of stomatal characteristics of *Sophora japonica* leaves to drought and low temperature stress // *Guizhou Agricultural Sciences*. 2015. Vol. 43, № 9. P. 23–29. doi: CNKI:SUN:GATE.0.2015-09-006
10. Smýkal P. Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2015. Vol. 34, № 1-3. P. 43–104. doi: 10.1080/07352689.2014.897904
11. Dzyubenko N. Clusterbeans *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.-properties, use, plant genetic resources and expected introduction in Russia // *Agricultural Biology*. 2017. Vol. 52, № 6. P. 1116–1128. doi: 10.15389/agrobiol.2017.6.1116eng
12. Barros J. R. A. Optimal temperature for germination and seedling development in cowpea seeds // *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2020. Vol. 14, № 2. P. 231–239. doi: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339
13. Wang X. Studies on Stomatal Characters and Leaf Temperature Gap of Different Maize Genotypes // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2004. Vol. 19, № 1. P. 71–74. doi: 10.3321/j.issn:1000-7091.2004.01.020
14. Liu W. Variation in leaf traits at different altitudes reflects the adaptive strategy of plants to environmental changes // *Ecology and Evolution*. 2020. Vol. 10, № 15. P. 8166–8175. doi: 10.1002/ece3.6519
15. Hetherington A. M., Woodward F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change // *Nature*. 2003. Vol. 424, № 6951. P. 901–908. doi: 10.1038/nature01843

16. Liu C. Variation of stomatal traits from cold temperate to tropical forests and association with water use efficiency // *Functional Ecology*. 2018. Vol. 32, № 1. P. 20–28. doi: 10.1111/1365-2435.12973
17. Корягина Н. В., Корягин Ю. В. Ботаника. М. : НИЦИНФРА-М, 2018. 351 с.
18. Zhu J. Rapid estimation of stomatal density and stomatal area of plant leaves based on object-oriented classification and its ecological trade-off strategy analysis // *Forests*. 2018. Vol. 9, № 10. P. 616. doi: 0.3390/f9100616
19. Chen S.-q. Pollen Grain Germination and Pollen Tube Growth in Pistil of Rice // *Rice Science*. 2008. Vol. 15, № 2. P. 125–130. doi: 10.1016/s1672-6308(08)60030-x
20. Фотев Ю. В. Оценка холодостойкости коллекционных образцов момордики (*Momordica charantia* L.) по прорастанию пыльцы при низкой температуре in vitro // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. № 183. С. 39–47. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47

### References

1. Hsu P.K. Signaling mechanisms in abscisic acid-mediated stomatal closure. *The Plant Journal*. 2021;105(2):307–321. doi: 10.1111/tpj.15067
2. Beghin T. Shape and texture based plant leaf classification. *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems: 12th International Conference*. Sydney, Australia: Springer, 2010:345–353.
3. Payamnoor V., Sattarian A. Stomatal variations and their position relative to leaf epidermal cells in ten Maple species. *Folia Oecologica*. 2024;51(1):83–92. doi: 10.2478/foecol-2024-0009
4. Hong T. Characteristics and correlations of leaf stomata in different *Aleurites montana* provenances. *PloS one*. 2018;13(12):e0208899. doi: 10.1371/journal.pone.0208899
5. Ro H.-M. Photosynthetic characteristics and growth responses of dwarf apple (*Malus domestica* Borkh. cv. Fuji) saplings after 3 years of exposure to elevated atmospheric carbon dioxide concentration and temperature. *Trees*. 2001;15:195–203. doi: 10.1007/s004680100099
6. Beerling D.J., Chaloner W.G. The impact of atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature changes on stomatal density: observation from *Quercus robur* leaves. *Annals of Botany*. 1993;71(3):231–235. doi: 10.1006/anbo.1993.1029
7. Ohsumi A. Genotypic variation of stomatal conductance in relation to stomatal density and length in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*. 2007;10(3):322–328. doi: 10.1626/pp.s.10.322
8. Xiuling W. Study on stomatal characteristics and leaf temperature difference of different maize genotypes. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*. 2004;19(1):71–74. doi: 10.3321/j.issn:1000-7091.2004.01.020
9. Weijie Y. Responses of stomatal characteristics of *Sophora japonica* leaves to drought and low temperature stress. *Guizhou Agricultural Sciences*. 2015;43(9):23–29. doi: CNKI:SUN:GATE.0.2015-09-006
10. Smýkal P. Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2015;34(1-3):43–104. doi: 10.1080/07352689.2014.897904
11. Dzyubenko N. Clusterbeans *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.-properties, use, plant genetic resources and expected introduction in Russia. *Agricultural Biology*. 2017;52(6):1116–1128. doi: 10.15389/agrobiol.2017.6.1116eng
12. Barros J.R.A. Optimal temperature for germination and seedling development in cowpea seeds. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2020;14(2):231–239. doi: 10.17584/rcch.2020v14i2.10339
13. Wang X. Studies on Stomatal Characters and Leaf Temperature Gap of Different Maize Genotypes. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2004;19(1):71–74. doi: 10.3321/j.issn:1000-7091.2004.01.020

14. Liu W. Variation in leaf traits at different altitudes reflects the adaptive strategy of plants to environmental changes. *Ecology and Evolution*. 2020;10(15):8166–8175. doi: 10.1002/ece3.6519
15. Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*. 2003;424(6951):901–908. doi: 10.1038/nature01843
16. Liu C. Variation of stomatal traits from cold temperate to tropical forests and association with water use efficiency. *Functional Ecology*. 2018;32(1):20–28. doi: 10.1111/1365-2435.12973
17. Koryagina N.V., Koryagin Yu.V. *Botanika* = Botany. Moscow: NITsINFRA-M, 2018:351. (In Russ.)
18. Zhu J. Rapid estimation of stomatal density and stomatal area of plant leaves based on object-oriented classification and its ecological trade-off strategy analysis. *Forests*. 2018;9(10):616. doi: 0.3390/f9100616
19. Chen S.-q. Pollen Grain Germination and Pollen Tube Growth in Pistil of Rice. *Rice Science*. 2008;15(2):125–130. doi: 10.1016/s1672-6308(08)60030-x
20. Fotev Yu.V. Evaluation of cold resistance of *Momordica* collection samples (*Momordica charantia* L.) by pollen germination at low temperature in vitro. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Works on applied botany, genetics and selection. 2022;(183):39–47. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47

#### Информация об авторах / Information about the authors

**Цзяпин Сунь**

аспирант,  
Новосибирский государственный  
университет  
(Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1)  
E-mail: t.sunl@g.nsu.ru

**Jiaping Sun**

Postgraduate student,  
Novosibirsk State University  
(1 Pirogova street, Novosibirsk, Russia)

**Юрий Валентинович Фотев**

кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник,  
Центральный Сибирский  
ботанический сад СО РАН  
(Россия, г. Новосибирск,  
ул. Золотодолинская, 101);  
доцент кафедры растениеводства  
и кормопроизводства,  
Новосибирский государственный  
аграрный университет  
(Россия, г. Новосибирск,  
ул. Добролюбова, 160)  
E-mail: fotev\_2009@mail.ru

**Yury V. Fotev**

Candidate of agricultural sciences,  
senior researcher,  
Central Siberian Botanic Garden SB RAS  
(101 Zolotodolinskaya street,  
Novosibirsk, Russia);  
associate professor of the sub-department  
of plant growing and fodder production,  
Novosibirsk State Agrarian University  
(160 Dobrolubova street,  
Novosibirsk, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 17.04.2025**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 19.05.2025**

**Принята к публикации / Accepted 26.05.2025**