

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 4 (36)

2021

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Николаева Ю. М., Воскресенская О. Л.* Содержание аскорбиновой кислоты и рутина в ромашке аптечной и ее близкородственных видах ..... 5
- Макеева И. Ю., Пузина Т. И., Болгова А. О.* Влияние ультразвука разной интенсивности на антиоксидантный статус проростков чечевицы в условиях гипотермии ..... 14

### БОТАНИКА

- Балакина А. А., Нефедьева Е. Э., Тутарашвили К. Г., Храмова Я. И.* Особенности изменений в строении оболочки семенной кожуры *Gleditsia triacanthos* L. при прорастании ..... 24
- Кадырова Л. Р., Прохоренко Н. Б., Хакимова К. А.* Эксикаты *Herbarium Florae Rossicae* в Гербарии Казанского университета (KAZ) ..... 34
- Зверева Г. К.* Сравнительное изучение складчатого мезофилла хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus* (Pinaceae) ..... 45
- Шаклеина М. Н., Савиных Н. П.* Структурная организация корней *Petasites spurius* (Retz.) Rchb. в связи с приспособленностью к условиям переменного обводнения ..... 57

### ЭКОЛОГИЯ

- 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) ..... 67
- Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Воробьева А. А.* Влияние продуктов деградации лигнина на динамику комплекса мицелиальных грибов в модельных условиях ..... 79
- Симаков М. Д., Коренов М. В., Кузьмин А. А., Титов С. В.* Генетическая дифференциация поволжской популяции орла-могильника (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) по результатам анализа гена *cyt b* ..... 92

<i>Дудников А. А., Курочкин А. С., Фокина М. Е., Шаронова И. В.</i> Современное состояние поселений степного сурка ( <i>Marmota bobak</i> Müll.) в условиях разнотравно-типчаково-ковыльной степи Пестравского района Самарской области.....	107
<i>Леонова Н. А.</i> Оценка сукцессионного состояния лесов в ландшафтах вторичных моренных равнин.....	119

# UNIVERSITY PROCEEDINGS

## VOLGA REGION

### NATURAL SCIENCES

№ 4 (36)

2021

## CONTENTS

### PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Nikolaeva Yu.M., Voskresenskaya O.L.* Content of ascorbic acid and rutin in *Matricaria chamomilla* and its related species..... 5
- Makeeva I.Yu., Puzina T.I., Bolgova A.O.* The different intensity ultrasound effect on the antioxidant status of lentil seedlings in a condition of hypothermia ..... 14

### BOTANY

- Balakina A.A., Nefed'eva E.E., Tutarashvili K.G., Khranova Ya.I.* The features of structure changes in the shell of the *Gleditsia triacanthos* seed cover during germination ..... 24
- Kadyrova L.R., Prokhorenko N.B., Khakimova K.A.* Herbarium *Florae Rossicae* exsicates in the Herbarium of Kazan University KAZ..... 34
- Zvereva G.K.* A comparative study of the needle folded mesophyll in *Pinus* and *Cedrus* (Pinaceae) species..... 45
- Shakleina M.N., Savinykh N.P.* A structural organization of the *Petasites spurius* (Retz.) Rechb. Roots in connection with adaptability to the conditions of variable watering ..... 57

### ECOLOGY

- Stojko T.G., Senkevich V.A., Pastuchova Yu.A.* Features of the structure and temporal dynamics of zooplankton communities of small artificial reservoirs in urbanized territories (by the example of Penza) ..... 67
- Ilyina G.V., Ilyin D.Yu., Vorobyova A.A.* The effect of lignin degradation products on the dynamics of mycelial fungi complex under the model conditions ..... 79
- Simakov M.D., Korepov M.V., Kuzmin A.A., Titov S.V.* Genetic differentiation of the Volga population of the eastern imperial eagle (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) based on the *cyt b* gene analysis results..... 92

<i>Dudnikov A.A., Kurochkin A.S., Fokina M.E., Sharonova I.V.</i> Modern state of the steppe marmot ( <i>Marmota bobak</i> Müll.) colonies in the conditions of the forb-fescue-feather grass steppe in the south-west of Samara Region.....	107
<i>Leonova N.A.</i> Successional state of forests in the secondary moraine plains' landscapes .....	119

# ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

---

## PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 581.192

doi:10.21685/2307-9150-2021-4-1

### Содержание аскорбиновой кислоты и рутина в ромашке аптечной и ее близкородственных видах

Ю. М. Николаева<sup>1</sup>, О. Л. Воскресенская<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

<sup>1,2</sup>yuiya2511-1990@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Одними из распространенных компонентов химического состава растений являются витамины, которые выполняют в растительном организме многочисленные функции: входят в состав ферментов, участвуют в таких важных процессах, как фотосинтез, дыхание, выполняют антиоксидантную функцию. Такими важными витаминами являются аскорбиновая кислота и рутин, изучение их накопления и распространения в растениях вызывает большой научный интерес. *Материалы и методы.* Исследования проводились на кафедре экологии Института естественных наук и фармации Марийского государственного университета. Объектами исследования служили листья и цветки ромашки аптечной (*Matricaria recutita* L.), трехреберника непахучего (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip) и нивяника обыкновенного (*Leucanthemum vulgare* Lam.), собранных на территории агробиостанции. Изучали количественное содержание аскорбиновой кислоты и рутина. *Результаты.* В ходе исследования выяснили, что в листьях и цветках нивяника обыкновенного и трехреберника непахучего содержатся аскорбиновая кислота и рутин, как и у ромашки аптечной. Наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты в листьях характеризовалась ромашка аптечная, в язычковых цветках – нивяник обыкновенный, в трубчатых цветках – ромашка аптечная и трехреберник непахучий. Наибольшее содержание рутина в листьях наблюдалось у нивяника обыкновенного и трехреберника непахучего, в язычковых цветках – ромашки аптечной, в трубчатых цветках – нивяника обыкновенного. *Выводы.* Исходя из полученных данных, можно рекомендовать использование нивяника обыкновенного и трехреберника непахучего в лечебно-профилактических целях наряду с ромашкой аптечной.

**Ключевые слова:** аскорбиновая кислота, нивяник обыкновенный, ромашка аптечная, рутин, трехреберник непахучий

**Для цитирования:** Николаева Ю. М., Воскресенская О. Л. Содержание аскорбиновой кислоты и рутина в ромашке аптечной и ее близкородственных видах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 5–13. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-1

---

© Николаева Ю. М., Воскресенская О. Л., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

## Content of ascorbic acid and rutin in *Matricaria chamomilla* and its related species

Yu.M. Nikolaeva<sup>1</sup>, O.L. Voskresenskaya<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

<sup>1,2</sup>yuiya2511-1990@mail.ru

**Abstract.** *Background.* Vitamins are one of the common components of the chemical composition of plants, which perform numerous functions in the plant organism: they are part of enzymes, participate in such important processes as photosynthesis, respiration, and perform an antioxidant function. Such important vitamins are ascorbic acid and rutin, the study of their accumulation and distribution in plants is of great scientific interest. *Materials and methods.* The research was carried out in laboratories of the Department of Ecology of the Institute of Natural Sciences and Pharmacy (Mari State University). The objects of the study were the leaves and flowers of *Matricaria chamomilla*, *Tripleurospermum inodorum*, *Leucanthemum vulgare*, that were collected on the territory of the agrobiostation (Mari State University). The quantitative content of ascorbic acid and rutin was studied. *Results.* In the course of the study, it was found that the leaves and flowers of the *Leucanthemum vulgare* and *Tripleurospermum inodorum* contain ascorbic acid and rutin. The highest content of ascorbic acid was found in the leaves of *Matricaria chamomilla*, in ligulate flowers of *Leucanthemum vulgare*, in tubular flowers of *Matricaria chamomilla* and *Leucanthemum vulgare*. The highest content of rutin was observed in the leaves of *Leucanthemum vulgare* and *Matricaria recutita* L., in ligulate flowers – in *Matricaria chamomilla*, in tubular flowers – in *Leucanthemum vulgare*. *Conclusions.* Based on the data obtained, it is possible to use the *Leucanthemum vulgare* and *Tripleurospermum inodorum* for therapeutic and prophylactic purposes as well as *Matricaria chamomilla*.

**Keywords:** ascorbic acid, rutin, *Leucanthemum vulgare* (oxeye daisy), *Matricaria chamomilla* (wild chamomile), *Tripleurospermum inodorum* (scentless chamomile)

**For citation:** Nikolaeva Yu.M., Voskresenskaya O.L. Content of ascorbic acid and rutin in *Matricaria chamomilla* and its related species. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):5–13. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-1

### Актуальность

В растениях содержится большое количество химических веществ, которые относятся к различным классам и выполняют важные функции в жизни растений. К наиболее распространенным компонентам химического состава растительного организма относятся витамины и соединения фенольной группы. Многие из этих веществ имеют практическое значение, изучение их накопления и распространения в растениях вызывает большой научный интерес.

К витаминам относятся низкомолекулярные органические вещества разнообразной химической природы, которые необходимы для нормального функционирования растительного организма [1]. Витамины в растениях выполняют многочисленные функции: входят в состав ферментов, участвуют в таких важных процессах, как фотосинтез, дыхание, выполняют антиоксидантную функцию.

Одним из витаминов, выполняющих антиоксидантную функцию, является витамин С или аскорбиновая кислота. Этот витамин обладает способностью препятствовать развитию процессов свободнорадикального окисления,

приводящих к негативным последствиям [2]. Витамин С входит в систему антиоксидантной защиты растений благодаря своей способности обратимо окисляться и восстанавливаться. Аскорбиновая кислота взаимосвязана с другим витамином – рутином (витамин Р). Благодаря действию рутина организмом больше усваивается аскорбиновой кислоты и увеличивается продолжительность его действия.

Одними из наиболее удобных объектов для изучения витаминов являются лекарственные растения. К самым распространенным и повсеместно применяемым лекарственным растениям относится ромашка аптечная.

Ромашка аптечная, или лекарственная (*Matricaria recutita* L.) – это однолетнее (по некоторым данным двулетнее) цветковое растение семейства сложноцветные [2, 3]. Соцветие ромашки лекарственной представляет собой цилиндрическую корзинку до 2 см в диаметре с желтыми трубчатыми цветками в центре и белыми язычковыми цветками по краю.

Из-за такой структуры соцветия ромашку аптечную часто путают с другими видами растений, имеющими схожие соцветия. Например, с часто встречаемыми трехреберником непахучим (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip) и нивяником обыкновенным (*Leucanthemum vulgare* Lam.).

В работах Гаммермана (1990) и Велиханова (2017) отмечено присутствие в соцветиях ромашки аптечной эфирного масла, флавоноидов, кумаринов, органических кислот, витаминов (витамин С, витамин В,  $\beta$ -каротин, токоферол, витамин К), стероидов, полисахаридов [2, 4]. Однако имеющиеся сведения неполны, отсутствуют сведения по количественному содержанию биологически активных веществ в цветках и листьях [4]. Кроме того, содержание витаминов в таких видах, как нивяник обыкновенный и трехреберник непахучий, мало изучено. В настоящее время отсутствуют научно обоснованные сведения о применении лекарственных препаратов, изготовленных из сырья нивяника обыкновенного и трехреберника непахучего. Нами было проанализировано сравнительное содержание аскорбиновой кислоты и рутина в ромашке аптечной, трехребернике непахучем и нивянике обыкновенном.

Целью исследования являлось сравнительное определение содержания некоторых витаминов в свежесобранных листьях и соцветиях ромашки аптечной, нивяника обыкновенного и трехреберника непахучего.

### Материалы и методы исследования

Исследования были проведены на базе кафедры экологии Института естественных наук и фармации Марийского государственного университета. Материал для исследований был собран на агробиостанции МарГУ, расположенного в г. Йошкар-Ола.

Аскорбиновая кислота определялась в свежесобранных листьях и цветках (трубчатых и язычковых) ромашки аптечной, трехреберника непахучего и нивяника обыкновенного. Количественное определение содержания аскорбиновой кислоты проводили титриметрическим методом, титрантом выступал 2,6-дихлоринофенолят натрия [5]. Данный метод основан на способности аскорбиновой кислоты восстанавливать 2,6-дихлоринофенолят натрия.

Количественное определение рутина проводили методом титрования с использованием индигокармина в качестве индикатора. Метод основан на

способности рутина окисляться под действием перманганата калия, при этом в присутствии индигокармина раствор окрашивается в желтый цвет [6].

Полученные данные были обработаны с помощью программы “STATISTICA”. В работе использовались следующие статистические характеристики: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, минимальные и максимальные значения в выборке, однофакторный дисперсионный анализ, Шеффе-тест. Достоверность различий принималась при 5 % уровне значимости.

### Результаты и обсуждение

Аскорбиновая кислота (витамин С) относится к группе водорастворимых витаминов, обладает антиоксидантной способностью, принимает участие во многих процессах жизнедеятельности растения, выполняет защитную функцию. Синтез аскорбиновой кислоты зависит от фазы вегетационного развития растения, режима увлажнения, освещенности. Максимальное содержание аскорбиновой кислоты достигается в период цветения и полной зрелости растения [4, 7].

Содержание аскорбиновой кислоты зависит от генетических особенностей видов и от условий произрастания. Максимальное содержание аскорбиновой кислоты, по данным многих исследователей, содержится в листьях и цветках, меньше всего в плодах, черешках, стеблях и корнях [8]. Аскорбиновая кислота оказывает существенное влияние на некоторые физиологические процессы растений, включая рост, дифференциацию тканей и органов и метаболизм в целом [9].

Наиболее высокое содержание аскорбиновой кислоты было обнаружено в листьях ромашки аптечной (130,7 мг%) (табл. 1). В листьях трехреберника запахучего количество аскорбиновой кислоты было меньше на 17 %. Наименьшее содержание аскорбиновой кислоты наблюдалось в листьях нивяника обыкновенного и составило 93,0 мг%, что на 30 % ниже, чем в ромашке аптечной. Однофакторный дисперсионный анализ выявил значимость фактора вида растения на содержание аскорбиновой кислоты в листьях ( $p < 0,05$ ). Множественные сравнения показали статистически значимую разницу в содержании аскорбиновой кислоты в листьях между ромашкой аптечной и нивяником обыкновенным ( $p = 0,0000$ ). Разница в содержании витамина С в листьях ромашки аптечной и трехреберника запахучего статистически незначима (табл. 2).

Для более детального исследования содержания витаминов в соцветиях проводили их разделение на трубчатые и язычковые цветки.

Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты среди трубчатых цветков было обнаружено в ромашке аптечной и трехребернике запахучем. Трубчатые цветки нивяника обыкновенного характеризовались снижением содержания аскорбиновой кислоты в 1,8 раза ( $p < 0,05$ ). По содержанию аскорбиновой кислоты в трубчатых цветках ромашки аптечной ( $80,3 \pm 1,89$  мг%) и трехреберника запахучего ( $85,6 \pm 2,06$  мг%) статистически значимых различий не выявлено ( $p > 0,05$ ).

Язычковые цветки характеризовались более высоким содержанием аскорбиновой кислоты, чем трубчатые (рис. 1). В зависимости от вида растения разница в содержании аскорбиновой кислоты между трубчатыми и язычковыми цветками составляла от 50 до 80 %.



Таблица 1

## Содержание витаминов в ромашке аптечной и ее близкородственных видах (мг%)

Виды	Листья	Соцветие
Аскорбиновая кислота		
Ромашка аптечная	130,7 ± 2,01	118,5 ± 1,94
Трехреберник непахучий	107,9 ± 2,01	151,3 ± 2,09
Нивяник обыкновенный	93,0 ± 1,99	152,1 ± 2,16
Рутин		
Ромашка аптечная	0,02 ± 0,001	0,05 ± 0,002
Трехреберник непахучий	0,05 ± 0,001	0,04 ± 0,002
Нивяник обыкновенный	0,05 ± 0,001	0,03 ± 0,001

Таблица 2

## Множественные сравнения (Шеффе-тест) содержания аскорбиновой кислоты в листьях

Виды	Scheffetest; variableVar2 (Spreadsheet!) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 0,00023, df = 3,0000			
	Var 1	1	2	3
Ромашка аптечная	1		0,1570	0,0000
Трехреберник непахучий	2	0,1570		0,0789
Нивяник обыкновенный	3	0,0000	0,0789	

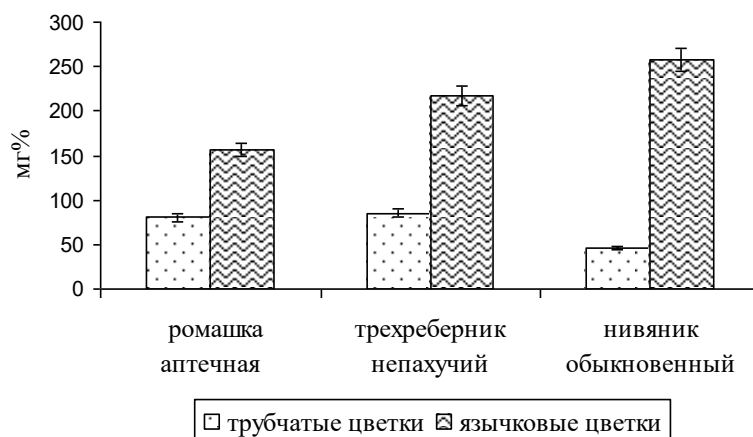


Рис. 1. Содержание аскорбиновой кислоты в цветках ромашки аптечной и ее близкородственных видов

В язычковых цветках ромашки аптечной содержание аскорбиновой кислоты составило 156,6 мг%. Трехреберник непахучий характеризовался более высоким содержанием аскорбиновой кислоты в язычковых цветках, на 28 % выше ( $p < 0,05$ ), чем в ромашке аптечной. Количественное содержание витамина С в язычковых цветках нивяника обыкновенного составляло

257,8 мг%, что в 1,6 раза выше ( $p < 0,05$ ), чем в ромашке аптечной. Статистически значимые различия по количеству аскорбиновой кислоты в язычковых цветках наблюдались между всеми тремя видами растений ( $p < 0,05$ ).

По сумме содержания аскорбиновой кислоты в трубчатых и язычковых цветках (в соцветии в целом) можно составить следующий убывающий ряд: нивяник обыкновенный (304,2 мг%) → трехреберник непахучий (302,6 мг%) → ромашка аптечная (236,9 мг%).

Многие исследователи пишут о наличии связи в механизме физиологического действия между аскорбиновой кислотой и биофлавоноидами, к числу которых относится рутин [10]. Характер данной связи заключается в том, что флавоноидные вещества способны усиливать биологическое действие витамина С [11].

Рутин (или витамин Р) – это сильный антиоксидант, хорошо растворяется в воде, быстро разрушается при повышении температуры и замораживании.

В ходе работы было проанализировано содержание рутина в листьях, трубчатых и язычковых цветках ромашки аптечной, трехреберника непахучего и нивяника обыкновенного.

Листья ромашки аптечной характеризовались наименьшим содержанием рутина (0,02 мг%) (табл. 1). В листьях трехреберника непахучего и нивяника обыкновенного количественное содержание рутина было выше на 60 % по сравнению с ромашкой аптечной. Статистически значимых различий по содержанию рутина в листьях трехреберника непахучего и нивяника обыкновенного не обнаружено ( $p > 0,05$ ) (табл. 3). Множественные сравнения выявили статистически значимые различия по содержанию рутина в листьях ромашки аптечной ( $p < 0,05$ ).

Таблица 3

Множественные сравнения (Шеффе-тест)  
содержания рутина в листьях

Виды	Scheffetest; variableVar2 (Spreadsheet!) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 0,00003, df = 0,0000			
	Var 1	1	2	3
Ромашка аптечная	1		0,0007	0,0035
Трехреберник непахучий	2	0,0007		0,1608
Нивяник обыкновенный	3	0,0035	0,1608	

Как показали результаты наших исследований (рис. 2), наибольшим содержанием рутина среди трубчатых цветков характеризовался трехреберник непахучий. В трубчатых цветках ромашки аптечной содержание рутина снизилось на 44 % ( $p < 0,05$ ), в нивянике обыкновенном – на 48 % ( $p < 0,05$ ).

В язычковых цветках ромашки аптечной количественное содержание рутина составило  $0,06 \pm 0,002$  мг%. Нивяник обыкновенный характеризовался снижением рутина в язычковых цветках в 2 раза ( $p < 0,05$ ), трехреберник непахучий – 4 раза ( $p < 0,05$ ). Статистически значимые различия по количеству рутина в язычковых цветках наблюдались между всеми тремя видами растений ( $p < 0,05$ ).

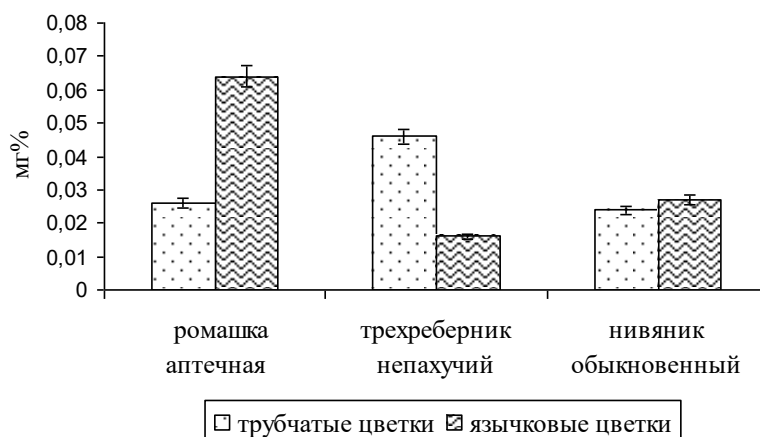


Рис. 2. Содержание рутина в цветках ромашки аптечной и ее близкородственных видов

По сумме содержания рутина в трубчатых и язычковых цветках наибольшее его количество наблюдалось в соцветиях ромашки аптечной, значительно ниже в трехребернике непахучем и меньше всего в нивянике обыкновенном.

На основании проведенной работе по сумме содержания аскорбиновой кислоты можно составить следующий ряд убывания: трехреберник непахучий → нивяник обыкновенный → ромашка аптечная. Наибольшим содержанием рутина, как и аскорбиновой кислоты, характеризовался трехреберник непахучий. Нивяник обыкновенный отличался снижением содержания рутина на 10 %.

### Заключение

В заключение следует отметить, что наибольшее содержание аскорбиновой кислоты было выявлено в нивянике обыкновенном, чуть меньше – в трехребернике непахучем и меньше всех – в ромашке аптечной. У всех трех видов растений наибольшее содержание аскорбиновой кислоты отмечалось в язычковых цветках, значительно ниже ее содержание было выявлено в листьях. Трубчатые цветки обладают наименьшим содержанием этого витамина.

Наибольшее содержание рутина нами было обнаружено в листьях нивяника обыкновенного и трехреберника непахучего; в язычковых цветках больше всего рутина было в ромашке аптечной; в трубчатых – в трехребернике непахучем.

Таким образом, на основании результатов наших исследований по содержанию аскорбиновой кислоты и рутина можно рекомендовать нивяник обыкновенный и трехреберник непахучий к использованию в лечебных целях наряду с ромашкой аптечной.

### Список литературы

1. Косев П. А. Полный справочник лекарственных растений. М. : ЭКСМО, 2005. 992 с.

2. Гаммерман А. Ф., Кадаев Г. Н., Яценко-Хмелевский А. А. Лекарственные растения (Растения-целители) : справ. пособие. 4-е изд., испр. и доп. М. : Высш. шк., 1990.
3. Губанов И. А. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 3: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2004. 520 с.
4. Велиханова З. Р., Марахова А. И., Сорокина А. А. Содержание биологически активных веществ в цветках трехреберника продырявленного // Фармация. 2017. Т. 66, № 8. С. 9–12.
5. Кушманова О. Д., Ивченко Г. М. Руководство к практическим занятиям по биологической химии / под ред. акад., проф. А. А. Покровского. 2-е изд., доп. М. : Медицина, 1974. 424 с.
6. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. М. : Высш. шк., 1975. 392 с.
7. Кувакова А. Р., Алферова Т. В., Кутарева А. А., Карягин Д. Ф. Содержание в ромашке аптечной биологически активных веществ // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2018. С. 118–120.
8. Корулькин Д. Ю., Абилов Ж. А., Музычкина Р. А., Толстиков Г. А. Природные флавоноиды. Новосибирск : Тео, 2007. 232 с.
9. Ягдарова О. А., Воскресенская О. Л. Эколого-физиологические особенности онтогенеза однолетних декоративных растений в условиях городской среды : монография. Йошкар-Ола, 2014.
10. Кучеренко Н. Е., Бабенюк Ю. Д., Васильев А. В. [и др.]. Биохимия : учебник. Киев : Высш. шк., 1988. 432 с.
11. Ефремов В. В., Натансон А. О., Спиричев В. Б. [и др.]. Витамины / под ред. М. И. Смирнова. М. : Медицина, 1974. 496 с.

### References

1. K'osev P.A. *Polnyy spravochnik lekarstvennykh rasteniy = The complete guide to medicinal plants*. Moscow: EKSMO, 2005:992. (In Russ.)
2. Gammerman A.F., Kadaev G.N., Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Lekarstvennye rasteniya (Rasteniya-tseliteli): sprav. posobie = Medicinal plants (Healing plants): textbook allowance*. 4th ed., rev. and suppl. Moscow: Vyssh. shk., 1990. (In Russ.)
3. Gubanov I.A. *Illyustrirovannyi opredelitel' rasteniy Sredney Rossii. T. 3: Pokrytosemennyye (dvudol'nye: razdel'nolepestnyye) = Illustrated guide to plants of Central Russia. Volume 3: Angiosperms (dicotyledonous: choripetalous)*. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2004:520. (In Russ.)
4. Velikhanova Z.R., Marakhova A.I., Sorokina A.A. The content of biologically active substances in the flowers of the trihedral perforated. *Farmatsiya = Pharmacy*. 2017; 66(8):9–12. (In Russ.)
5. Kushmanova O.D., Ivchenko G.M. *Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po biologicheskoy khimii = Guide to practical exercises in biological chemistry*. 2nd ed., suppl. Moscow: Meditsina, 1974:424. (In Russ.)
6. Gavrilenko V.F., Ladygina M.E., Khandobina L.M. *Bol'shoy praktikum po fiziologii rasteniy. Fotosintez. Dykhanie = Large workshop on plant physiology. Photosynthesis. Breath*. Moscow: Vyssh. shk., 1975:392. (In Russ.)
7. Kuvakova A.R., Alferova T.V., Kutareva A.A., Karyagin D.F. The content of biologically active substances in chamomile. *Sovremennyye tekhnologii: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sb. st. XVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Modern technologies: actual issues, achievements and innovations: proceedings of the 18<sup>th</sup> International scientific and practical conference*. Penza, 2018:118–120. (In Russ.)

8. Korul'kin D.Yu., Abilov Zh.A., Muzychkina R.A., Tolstikov G.A. *Prirodnye flavonoidy = Natural flavonoids*. Novosibirsk: Teo, 2007:232. (In Russ.)
9. Yagdarova O.A., Voskresenskaya O.L. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti ontogeneza odnoletnikh dekorativnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy: monografiya = Ecological and physiological features of the ontogeny of annual ornamental plants in an urban environment: monograph*. Yoshkar-Ola, 2014. (In Russ.)
10. Kucherenko N.E., Babenyuk Yu.D., Vasil'ev A.V. [et al.]. *Biokhimiya: uchebnik = Biochemistry: textbook*. Kiev: Vyssh. shk., 1988:432.
11. Efremov V.V., Natanson A.O., Spirichev V.B. [et al.]. *Vitaminy = Vitamins*. Moscow: Meditsina, 1974:496. (In Russ.)

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

***Юлия Михайловна Николаева***

аспирант, Институт естественных наук и фармации, Марийский государственный университет (Россия, г. Йошкар-Ола, площадь Ленина, 1)

E-mail: yuiya2511-1990@mail.ru

***Yulia M. Nikolaeva***

Postgraduate student, Institute of Natural Sciences and Pharmacy, Mari State University (1 Lenina square, Yoshkar-Ola, Russia)

***Ольга Леонидовна Воскресенская***

доктор биологических наук, профессор, директор Института естественных наук и фармации, Марийский государственный университет (Россия, г. Йошкар-Ола, площадь Ленина, 1)

E-mail: yuiya2511-1990@mail.ru

***Olga L. Voskresenskaya***

Doctor of biological sciences, professor, director of the Institute of Natural Sciences and Pharmacy, Mari State University (1 Lenina square, Yoshkar-Ola, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 09.04.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 06.07.2021**

**Принята к публикации / Accepted 10.08.2021**

## Влияние ультразвука разной интенсивности на антиоксидантный статус проростков чечевицы в условиях гипотермии

И. Ю. Макеева<sup>1</sup>, Т. И. Пузина<sup>2</sup>, А. О. Болгова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева,  
Орел, Россия

<sup>1</sup>makeevainna@inbox.ru, <sup>2</sup>tipuzina@gmail.com, <sup>3</sup>Anjelika.bolgova@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Изучение влияния ультразвука на растительные организмы является перспективным направлением в биофизических и физиолого-биохимических исследованиях. В основном исследования касаются предпосевной обработки семян для улучшения их прорастания. Лишь в некоторых работах рассматривается влияние ультразвука на активность антиоксидантных ферментов. Не найдены сведения о влиянии ультразвука на растительный организм в стрессовых условиях. Целью работы было изучение влияния ультразвука разной интенсивности на работу ферментов антиоксидантной системы, активность реакций перекисного окисления липидов в оптимальных температурных условиях и при действии гипотермии (+3 °С). *Материалы и методы.* Объектом исследования были 14-дневные проростки чечевицы сорта Рауза. Варианты опыта включали воздействие ультразвуком разной интенсивности, 0,4 и 1 Вт/см<sup>2</sup>, с помощью ультразвукового излучателя УЗТ-10.1Ф. Гипотермию создавали, помещая проростки в низкотемпературный шкаф на 1 ч при температуре +3 °С. Активность супероксиддисмутазы определяли по реакции восстановления нитросинего тетразолия, запускаемой рибофлавином; активность пероксидазы – по времени образования синей окраски в результате окисления бензидина; активность каталазы – спектрофотометрическим методом; содержание малонового диальдегида – по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой при нагревании. Определение содержания ауксинов проводили методом биологической пробы и выражали в мкг-экв ИУК/г сухой массы. *Результаты.* В оптимальных температурных условиях отмечено существенное повышение активности супероксиддисмутазы вне зависимости от интенсивности ультразвука. В условиях действия стрессора большая активность фермента выявлена при действии ультразвука малой интенсивности. Данная интенсивность в оптимальных условиях в большей степени повысила активность каталазы и пероксидазы по сравнению с высокой. В условиях гипотермии ультразвук интенсивностью 0,4 Вт/см<sup>2</sup> стимулировал работу каталазы и пероксидазы, но в меньшей степени, чем в оптимальных условиях. Активизация работы изученных ферментов под действием ультразвука наблюдалась на фоне увеличения содержания эндогенных ауксинов. В условиях действия стрессора выявлено значительное торможение реакций перекисного окисления липидов под влиянием ультразвука. Изученные уровни интенсивности ультразвука не оказали воздействия на массу надземных органов проростков чечевицы, но способствовали росту корневой системы. *Выводы.* Выявлена активизация антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы в оптимальных условиях под влиянием ультразвука малой и высокой интенсивности на фоне возрастания содержания фитогормонов ауксинов. В условиях гипотермии отмечено существенное увеличение активности супероксиддисмутазы и каталазы под действием ультразвука. Обработка ультразвуком сдерживала реакции перекисного окисления липидов. Снижение

накопления малонового диальдегида в большей степени проявилось в стрессовых условиях. Показана положительная роль ультразвука на рост корневой системы и отсутствие эффекта на массу надземных органов.

**Ключевые слова:** ультразвук, гипотермия, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза, малоновый диальдегид, ауксины, проростки чечевицы

**Для цитирования:** Makeeva I. Yu., Puzina T. I., Bolgova A. O. Влияние ультразвука разной интенсивности на антиоксидантный статус проростков чечевицы в условиях гипотермии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 14–23. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-2

## The different intensity ultrasound effect on the antioxidant status of lentil seedlings in a condition of hypothermia

I.Yu. Makeeva<sup>1</sup>, T.I. Puzina<sup>2</sup>, A.O. Bolgova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

<sup>1</sup>makeevainna@inbox.ru, <sup>2</sup>tipuzina@gmail.com, <sup>3</sup>Anjelika.bolgova@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* The study of the ultrasound effect on plant organisms is a promising direction in biophysical and physiological-biochemical research. Most of the research concerns the pre-sowing treatment of seeds to improve their germination. Only a few studies consider the effect of ultrasound on the activity of antioxidant enzymes. No information has been found on the effect of ultrasound on the plant organism under stressful conditions. The purpose of the work is to study the different intensity ultrasound effect on the work of enzymes of the antioxidant system, the activity of lipid peroxidation reactions under optimal temperature conditions and under the action of hypothermia (+3 °C). *Materials and methods.* The object of the study is 14-day-old seedlings of lentils of the Rauza variety. Experimental options included exposure to ultrasound of different intensities, 0.4 and 1 W/cm<sup>2</sup>, using an ultrasonic transducer UZT-10.1F. Hypothermia was created by placing the seedlings in a low-temperature cabinet for 1 hour at a temperature of +3 °C. Superoxide dismutase activity was determined by the reduction reaction of nitro blue tetrazolium triggered by riboflavin; peroxidase activity – by the time of formation of a blue color as a result of benzidine oxidation; catalase activity – by spectrophotometric method; the content of malonic dialdehyde – by color reaction with thiobarbituric acid when heated. Determination of the content of auxins was carried out by the method of a biological sample and was expressed in µg-equiv of IAA/g dry weight. *Results.* Under optimal temperature conditions, a significant increase in the activity of superoxide dismutase was noted, regardless of the intensity of ultrasound. Under the conditions of the action of a stressor, a greater activity of the enzyme was revealed under the action of low-intensity ultrasound. Under optimal conditions, this intensity increased the activity of catalase and peroxidase to a greater extent, compared with the high one. Under conditions of hypothermia, ultrasound with an intensity of 0.4 W/cm<sup>2</sup> stimulated the work of catalase and peroxidase, but to a lesser extent than under optimal conditions. The activation of the studied enzymes under the action of ultrasound was observed against the background of an increase in the content of endogenous auxins. Under the conditions of the action of the stressor, a significant inhibition of the reactions of lipid peroxidation under the influence of ultrasound was revealed. The studied levels of ultrasound intensity did not affect the mass of the aerial organs of lentil seedlings, but promoted the growth of the root system.

**Keywords:** ultrasound, hypothermia, superoxide dismutase, catalase, peroxidase, malondialdehyde, auxins, lentil seedlings

**For citation:** Makeeva I.Yu., Puzina T.I., Bolgova A.O. The different intensity ultrasound effect on the antioxidant status of lentil seedlings in a condition of hypothermia. *Izvestiya*

*vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2021;(4):14–23. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-2*

## Введение

Изучение влияния ультразвука на растительные организмы является перспективным направлением в биофизических и физиолого-биохимических исследованиях. Прежде всего это касается предпосевной обработки семян культурных растений, которая может служить альтернативой применению регуляторов роста природного и синтетического происхождения. В настоящее время ультразвук широко применяют в физических, химических и медицинских исследованиях. Долгое время считали, что ультразвук применительно к растениям обладает только ингибиторными свойствами, вызывая расщепление нуклеиновых кислот, хромосомные абберации, нарушения митоза [1, 2]. Однако за последние десятилетия представления в этой области претерпели кардинальные изменения. Показано влияние ультразвуковой обработки на всхожесть семян, рост, активность некоторых ферментов [3–6]. Следует отметить, что такие работы немногочисленны. Не найдены сведения о влиянии ультразвука на растительный организм в стрессовых условиях.

Процесс адаптации растений к изменяющимся условиям среды с возрастающей нестабильностью климата требует исследования регуляции работы антиоксидантной системы растений. Особенно требовательны к условиям среды растения с преобладанием белкового типа обмена веществ, в частности бобовые. Биологической особенностью чечевицы является высокая чувствительность к температуре при прорастании семян. Лимитирующим фактором для данной культуры является температура воздуха  $+3 - +5$  °С и недостаточно прогретая почва [7]. Данных о влиянии ультразвука на физиолого-биохимические показатели бобовых растений крайне мало, а влияние данного фактора на растения чечевицы при действии низких температур не изучено.

Целью работы было изучение влияния ультразвука разной интенсивности на работу ферментов антиоксидантной системы, активность реакций перекисного окисления липидов (ПОЛ) в оптимальных температурных условиях и при действии гипотермии ( $+3$  °С).

## Материалы и методы

Объектом исследования были растения чечевицы сорта Рауза селекции ФГБНУ ФНЦ Зернобобовых и крупяных культур (Орел). Исследования проводили в лабораторных условиях в научной лаборатории «Механизмы регуляции роста и развития растений» ОГУ имени И. С. Тургенева.

Обработку набухших семян чечевицы ультразвуком проводили в водной среде с помощью ультразвукового излучателя УЗТ-10.1Ф (Россия) в течение 20 мин. Варианты опыта включали воздействие ультразвуком разной интенсивности: 0,4 и 1 Вт/см<sup>2</sup>. Контролем служили необработанные ультразвуком семена. Проростки выращивали в контейнерах с почвой при температуре  $20 \pm 2$  °С. Гипотермию создавали, помещая контейнеры с 14-дневными проростками в низкотемпературный шкаф Т25/01 на 1 ч при температуре  $+3$  °С.



Активность супероксиддисмутазы определяли по реакции восстановления нитросинего тетразолия, запускаемой рибофлавином [8]; активность пероксидазы – по времени образования синей окраски в результате окисления бензидина [9]; активность каталазы – спектрофотометрическим методом [10]; содержание малонового диальдегида – по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой при нагревании [11]. Анализ фитогормонов ауксинов проводили методом биологической пробы. В качестве биотеста на ауксины использовали отрезки колеоптилей (зона растяжения) озимой пшеницы сорта Московская 39. Содержание ауксинов рассчитывали по калибровочной кривой, построенной для индолилуксусной кислоты (ИУК) (Serva, Германия) и выражали в мкг-экв ИУК/г сухой массы. Массу органов проростков определяли путем взвешивания на электронных весах ВСТ 600/10-0 (Россия).

На рисунках ниже представлены средние арифметические 10 биологических повторностей и их стандартные ошибки. Достоверность результатов оценивали с помощью критерия Стьюдента, считая достоверными различия при уровне доверительной вероятности выше 0,95 [12].

### Результаты и обсуждение

Антиоксидантная система, нейтрализующая активные формы кислорода и сохраняющая структурно-функциональное состояние клеточных мембран, играет важную роль в адаптации растений к стрессовым условиям [13]. Прежде всего, представляло интерес изучение активности фермента супероксиддисмутазы, который, взаимодействуя с супероксидрадикалом, восстанавливает его до пероксида водорода. Данные по активности супероксиддисмутазы (СОД), представленные на рис. 1, свидетельствуют о существенном ее повышении (в 1,4 раза) в оптимальных температурных условиях вне зависимости от интенсивности ультразвука. В условиях действия стрессора активность данного фермента возросла на порядок. При этом достоверная активизация фермента по сравнению с контролем отмечена при действии ультразвука малой интенсивности ( $0,4 \text{ Вт/см}^2$ ).

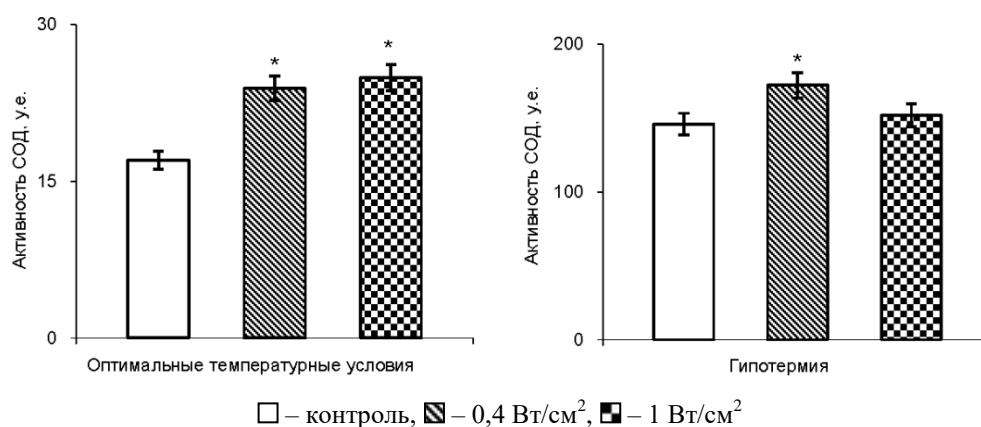


Рис. 1. Влияние ультразвука на активность супероксиддисмутазы в проростках чечевицы

**Примечание.** \* – достоверные отличия от контроля при  $p \leq 0,05$ .

В утилизации образующегося пероксида водорода активно участвует каталаза. Активность данного фермента в проростках чечевицы оказалась весьма чувствительной к обработке ультразвуком разной интенсивности. Так, интенсивность  $0,4 \text{ Вт/см}^2$  повысила активность фермента в 2 раза, тогда как  $1 \text{ Вт/см}^2$  – в 1,4 раза. В исследованиях [5], проведенных на проростках пшеницы, обработанных ультразвуком, также выявлено повышение активности данного фермента. Напротив, на набухающих и прорастающих семенах гороха показано снижение активности данного фермента под влиянием ультразвуковой обработки [4]. Гипотермия существенно активизировала каталазу. В данных условиях ультразвук  $0,4 \text{ Вт/см}^2$  гораздо в меньшей степени стимулировал работу каталазы по сравнению с оптимальными условиями, тогда как его интенсивность  $1 \text{ Вт/см}^2$  действия не оказала.

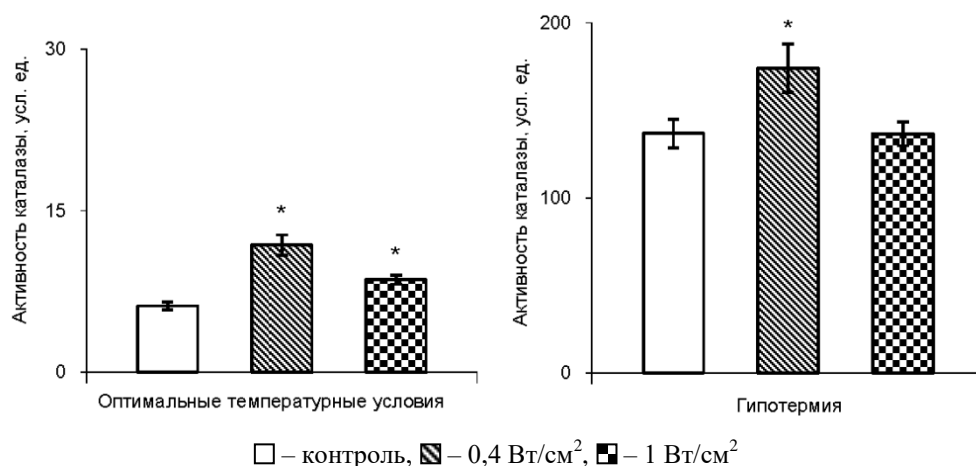


Рис. 2. Влияние ультразвука на активность каталазы в проростках чечевицы

**Примечание.** \* – достоверные отличия от контроля при  $p \leq 0,05$ .

Поскольку каталаза локализована главным образом в пероксисомах и глиоксисомах и обладает низким сродством к пероксиду водорода, существует необходимость функционирования других пероксид-утилизирующих ферментов. Одним из таких ферментов является пероксидаза, которая отличается высоким сродством к  $\text{H}_2\text{O}_2$  и участвует в его утилизации в органеллах растительной клетки, которые являются основными источниками активных форм кислорода – хлоропластах и митохондриях, а также цитоплазме, вакуоли и клеточной стенке. Результаты проведенного анализа (рис. 3) показали, что ультразвук только низкой интенсивности активизировал данный фермент в оптимальных температурных условиях (более чем на 40 %). В условиях действия низкой положительной температуры в отличие от каталазы активность пероксидазы увеличилась незначительно. Обработка ультразвуком в данных условиях лишь на 14 % стимулировала работу данного фермента.

Известно, что работу антиоксидантной системы регулируют фитогормоны. В частности показано, что ауксины участвуют в экспрессии генов антиоксидантных ферментов [14], а также образуют комплексы с молекулами ферментов-антиоксидантов [15], что, по-видимому, может изменять их

каталитическую активность. Результаты наших исследований показали, что изменения активности изученных ферментов под действием ультразвука в оптимальных температурных условиях происходили на фоне увеличения содержания эндогенных ауксинов (рис. 4). Так, содержание ИУК в проростках чечевицы под действием ультразвука значительно возросло (на 50 %).

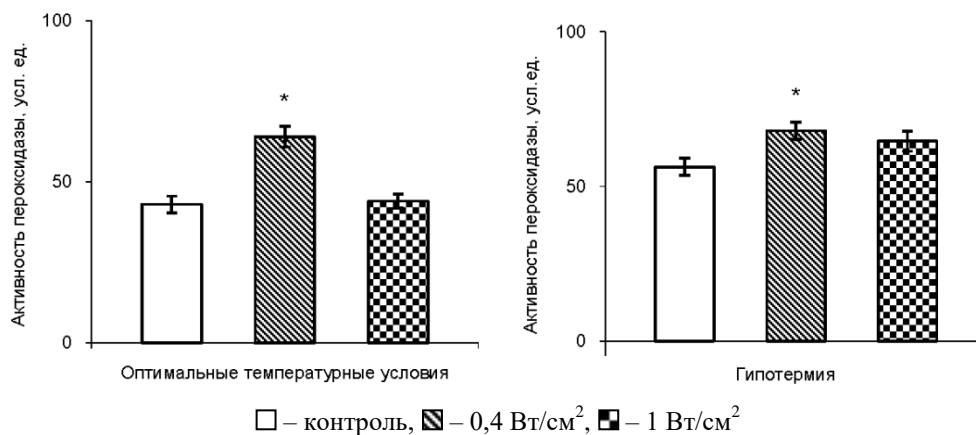


Рис. 3. Действие ультразвука на активность пероксидазы в проростках чечевицы

**Примечание.** \* – достоверные отличия от контроля при  $p \leq 0,05$ .

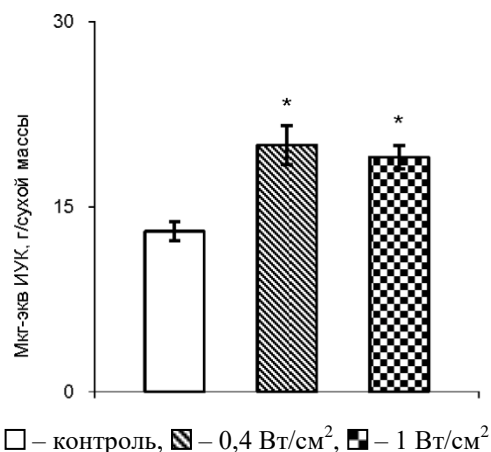


Рис. 4. Действие ультразвука на содержание ауксинов в проростках чечевицы

**Примечание.** \* – достоверные отличия от контроля при  $p \leq 0,05$ .

Работа антиоксидантной системы во многом определяет реакции перекисного окисления липидов. Об интенсивности реакций ПОЛ судили по конечному продукту – малоновому диальдегиду. Данные анализа показали снижение накопления малонового диальдегида (МДА) в оптимальных температурных условиях при воздействии интенсивности ультразвука 0,4 Вт/см<sup>2</sup> на 24 % (рис. 5). Это происходило на фоне существенной активизации работы пероксидазы. Аналогичные данные по содержанию МДА были получены в исследованиях [5] при действии ультразвука на проростки гороха и пшеницы.

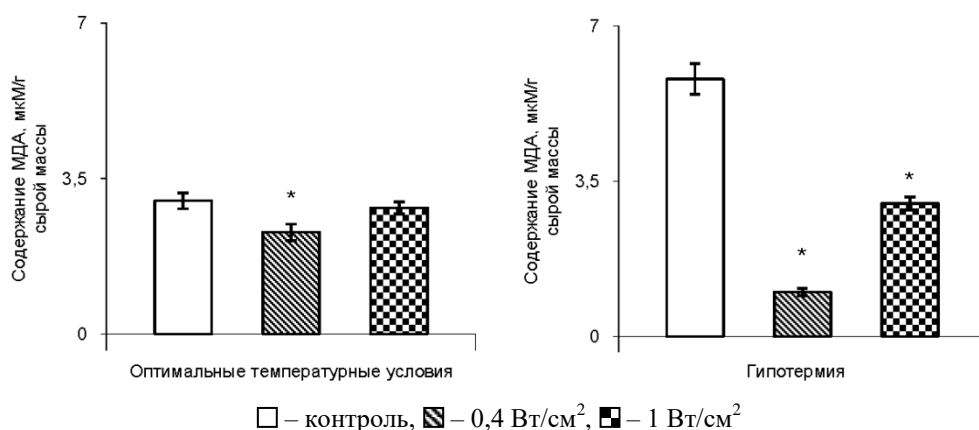


Рис. 5. Действие ультразвука на процесс перекисного окисления липидов в проростках чечевицы

**Примечание.** \* – достоверные отличия от контроля при  $p \leq 0,05$ .

Гипотермия вызвала значительное накопление малонового диальдегида в контрольном варианте, тогда как ультразвуковая обработка, вне зависимости от интенсивности, сдерживала процесс ПОЛ. В наибольшей степени это проявилось в варианте с интенсивностью ультразвука 0,4 Вт/см<sup>2</sup> (в 3,4 раза), где наблюдалась существенная активизация каталазы.

Проведенные нами исследования выявили неоднозначное действие ультразвука на массу проростков надземных органов и корневой системы (рис. 6). Изученные интенсивности ультразвука не оказали воздействия на массу надземных органов проростков. Напротив, стимулирующий эффект был отмечен в действии на рост корневой системы. Увеличение массы корней было более 50 % по сравнению с контролем. Возможно, полученный результат связан с повышенным содержанием ауксинов под влиянием ультразвука (см. рис. 4). Известно, что данная группа фитогормонов оказывает положительное влияние на рост корневой системы [16].

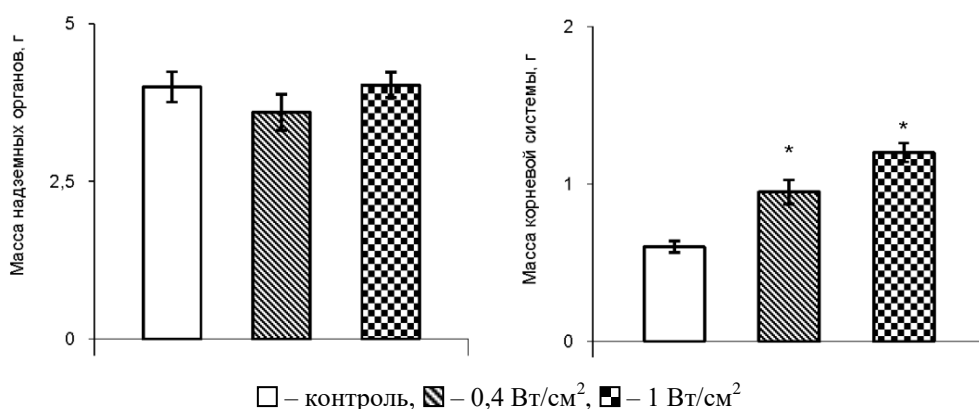


Рис. 6. Действие ультразвука на массу проростков чечевицы

**Примечание.** \* – достоверные отличия от контроля при  $p \leq 0,05$ .

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что антиоксидантная система проростков чечевицы была чувствительна к действию ультразвука. Выявлена активизация антиоксидантных ферментов СОД, каталазы и пероксидазы в оптимальных условиях на фоне возрастания содержания фитогормонов ауксинов. В условиях гипотермии также отмечено увеличение активности изученных ферментов. Обработка ультразвуком в большей степени сдерживала реакции ПОЛ в стрессовых условиях. Показана положительная роль ультразвука на рост корневой системы и отсутствие эффекта на массу надземных органов.

### Список литературы

1. Брагинская Ф. И. Действие ультразвуковых волн на полифосфаты и нуклеиновые кислоты и их комплексы : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1965. 15 с.
2. Лаврский А. Ю., Лебединский И. А., Четанов Н. А. [и др.]. Влияние некоторых физических факторов на процессы митоза // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Сер. 2, Физико-математические и естественные науки. 2013. № 2. С. 38–44.
3. Новиков А. А., Глазкова В. В. Влияние ультразвукового излучения на скорость прорастания семян томатов // Биомедицинская инженерия и электроника. 2015. № 3. С. 72–76.
4. Тарасов С. С., Веселов А. П. Влияние ультразвука на морфофизиологические показатели прорастания семян гороха (*Pisum sativum* L.) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2018. № 3. С. 3–11.
5. Тарасов С. С., Веселов А. П., Крутова Е. К. Изменения морфофизиологических показателей прорастающих семян пшеницы под влиянием ультразвукового воздействия // Аграрный научный журнал. 2019. № 6. С. 38–42.
6. Верещагин А. Л., Хмелева А. Н. Влияние ультразвукового облучения и регуляторов роста на ризогенную активность растительных объектов. Бийск : Бийский технологический ин-т (филиал) Алтайского государственного технического ун-та им. И. И. Ползунова, 2010. 73 с.
7. Кононенко С. И., Ханиева И. М., Чапаев Т. М., Канукова К. Р. Особенности технологии возделывания чечевицы в условиях предгорной зоны КБР // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 94. С. 622–631.
8. Beauchamp Ch., Fridovich I. Superoxide Dismutase improve Assays and Assay Applicable to Acryl amide Gels // Anal. Biochem. 1971. Vol. 44. P. 276–287.
9. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений. Л. : Агропромиздат, 1987. 430 с.
10. Патент 2027171 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/78. Способ определения активности каталазы в биологических объектах / Шиманов В. Г., Мукимов Т. Х., Кучинский С. Ю. [и др.]; заявитель и патентообладатель Узбекский науч.-исслед. ин-т каракулеводства. № 5000829/25; заявл. 05.07.1991; опубл. 20.01.1995.
11. Лукаткин А. С., Голованова В. С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. 1988. Т. 35, вып. 4. С. 773–780.
12. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 113 с.
13. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2002. 208 с.
14. Guan L. M., Scandalios J. G. Catalase gene expression in response to auxin-mediated developmental signals // Physiologia Plantarum. 2002. № 114. P. 288–295.

15. Feldwisch J., Lammerty M., Yfrtmann E. [et al]. Purification and characterization of cAMP-binding protein of *Volvox carteri f. nagariensis* // *Eer. J. Biochem.* 1994. Vol. 228. P. 480–489.
16. Якушкина Н. И., Бахтенко Е. Ю. Физиология растений : учеб. для студ., обуч. по спец. 032400 «Биология». М. : Владос, 2005. 463 с.

### References

1. Braginskaya F.I. Effect of ultrasonic waves on polyphosphates and nucleic acids and their complexes. PhD abstract. Moscow, 1965:15. (In Russ.)
2. Lavrskiy A.Yu., Lebedinskiy I.A., Chetanov N.A. [et al.]. Influence of some physical factors on the processes of mitosis. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Ser. 2, Fiziko-matematicheskie i estestvennye nauki = Bulletin of Perm State University of Humanities and Pedagogy. Series 2, Physical, mathematical and natural sciences.* 2013;(2):38–44. (In Russ.)
3. Novikov A.A., Glazkova V.V. Effect of ultrasonic radiation on the germination rate of tomato seeds. *Biomeditsinskaya inzheneriya i elektronika = Biomedical engineering and electronics.* 2015;(3):72–76. (In Russ.)
4. Tarasov S.S., Veselov A.P. Effect of ultrasound on morphophysiological parameters of germination of pea seeds (*Pisum sativum* L.). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2018;(3):3–11. (In Russ.)
5. Tarasov C.C., Veselov A.P., Krutova E.K. Changes in morphophysiological parameters of germinating wheat seeds under the influence of ultrasonic exposure. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian scientific journal.* 2019;(6):38–42. (In Russ.)
6. Vereshchagin A.L., Khmeleva A.N. *Vliyanie ul'trazvukovogo oblucheniya i regulyatorov rosta na rizogennuyu aktivnost' rastitel'nykh ob'ektov = Effect of ultrasonic irradiation and growth regulators on the rhizogenic activity of plant objects.* Biysk: Biyskiy tekhnologicheskii in-t (filial) Altayskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo un-ta im. I. I. Polzunova, 2010:73. (In Russ.)
7. Kononenko S.I., Khanieva I.M., Chapaev T.M., Kanukova K.R. Features of the technology of cultivation of lentils in the conditions of the foothill zone of the Kabardino-Balkaria. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University.* 2013;(94):622–631. (In Russ.)
8. Beauchamp Ch., Fridovich I. Superoxide Dismutase improve Assays and Assay Applicable to Acryl amide Gels. *Anal. Biochem.* 1971;44:276–287.
9. Ermakov A.I. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy = Methods of biochemical research of plants.* Leningrad: Agropromizdat, 1987:430. (In Russ.)
10. Patent 2027171 C1 Russian Federation, MPK G01N 21/78. Method for determining catalase activity in biological objects. Shimanov V.G., Mukimov T.Kh., Kuchinskiy S.Yu. [et al.]; applicant and patentee Uzbek Research Institute of Karakul Breeding. No. 5000829/25; appl. 05.07.1991; publ. 20.01.1995. (In Russ.)
11. Lukatkin A.S., Golovanova V.S. The intensity of lipid peroxidation in chilled leaves of heat-loving plants. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology.* 1988;35(4):773–780. (In Russ.)
12. Lakin G.F. *Biometriya = Biometria.* Moscow: Vyssh. shk., 1990:113. (In Russ.)
13. Lukatkin A.S. *Kholodovoe povrezhdenie teplolyubivyykh rasteniy i okislitel'nyy stress = Cold damage to heat-loving plants and oxidative stress.* Saransk: Izd-vo Mordovskogo un-ta, 2002:208. (In Russ.)
14. Guan L.M., Scandalios J.G. Catalase gene expression in response to auxin-mediated developmental signals. *Physiologia Plantarum.* 2002;(114):288–295.
15. Feldwisch J., Lammerty M., Yfrtmann E. [et al]. Purification and characterization of cAMP-binding protein of *Volvox carteri f. nagariensis*. *Eer. J. Biochem.* 1994; 228:480–489.

16. Yakushkina N.I., Bakhtenko E.Yu. *Fiziologiya rasteniy: ucheb. dlya stud., obuch. po spets. 032400 «Biologiya» = Physiology of plants: textbook for students, studied on the speciality 032400 “Biology”*. Moscow: Vldos, 2005:463. (In Russ.)

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

***Инна Юрьевна Makeeva***

кандидат биологических наук, доцент  
кафедры ботаники, физиологии  
и биохимии растений, Орловский  
государственный университет  
имени И. С. Тургенева (Россия,  
г. Орел, ул. Комсомольская, 95)

E-mail: makeevainna@inbox.ru

***Inna Yu. Makeeva***

Candidate of biological sciences, associate  
professor of the sub-department of botany,  
plant physiology and biochemistry, Orel  
State University named after I.S. Turgenev  
(95 Komsomolskaya street, Orel, Russia)

***Тамара Ивановна Пузина***

доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой ботаники,  
физиологии и биохимии растений,  
Орловский государственный университет  
имени И. С. Тургенева (Россия, г. Орел,  
ул. Комсомольская, 95)

E-mail: tipuzina@gmail.com

***Tamara I. Puzina***

Doctor of biological sciences, professor,  
head of the sub-department of botany,  
plant physiology and biochemistry, Orel  
State University named after I.S. Turgenev  
(95 Komsomolskaya street, Orel, Russia)

***Анжелика Олеговна Болгова***

магистрант, Орловский государственный  
университет имени И. С. Тургенева  
(Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95)

E-mail: Anjelika.bolgova@yandex.ru

***Anzhelika O. Bolgova***

Master degree student, Orel State  
University named after I.S. Turgenev  
(95 Komsomolskaya street, Orel, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 08.07.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 25.10.2021**

**Принята к публикации / Accepted 05.11.2021**

УДК 581.48

doi:10.21685/2307-9150-2021-4-3

### Особенности изменений в строении оболочки семенной кожуры *Gleditsia triacanthos* L. при прорастании

А. А. Балакина<sup>1</sup>, Е. Э. Нефедьева<sup>2</sup>, К. Г. Тутарашвили<sup>3</sup>, Я. И. Храмова<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Волгоградский государственный технический университет,  
Волгоград, Россия

<sup>1</sup>as.balakina@rambler.ru, <sup>2</sup>nefedieva@rambler.ru, <sup>3</sup>kseniatarashvili1996@mail.ru,

<sup>4</sup>yaroslavnacocosmos1994@gmail.com

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Гледичия трехколючковая – *Gleditsia triacanthos* L. – лиственное дерево, используемое в озеленении парковых зон. *G. triacanthos* многоцелевой вид деревьев, образующий темно-коричневые семена с твердым покровом. Семена имеют состояние глубокого покоя из-за твердой семенной оболочки. *G. triacanthos* имеет высокую хозяйственную ценность, однако его выращивание осложнено тем, что семена прорастают медленно, всходы появляются неодновременно. Цель – описать структуру семенной оболочки гледичии трехколючковой, а также изменения, происходящие в ней при прорастании. *Материалы и методы.* Гледичия трехколючковая имеет семена с твердой семенной кожурой. Для изучения явления твердосемянности была исследована семенная кожура гледичии с помощью электронного сканирующего микроскопа “Versa 3D”, ИК-Фурье спектрометра “Nicolet-6700”. Кожуру исследовали в нативном состоянии, а также после замачивания семян. *Результаты.* Наружный слой семенной кожуры гледичии состоит из двух рядов столбчатых клеток, разломы между которыми образуют трещины на поверхности семени. При набухании эти клетки растягиваются, что приводит к росту трещин и дает возможность воде проникать в следующие слои. ИК-спектральный анализ семенной кожуры показал, что основу кожуры гледичии составляют целлюлоза и лигнин. *Выводы.* Семена *Gleditsia triacanthos* имеют твердую семенную кожуру и плохо прорастают. В семенной кожуре гледичии было выявлено три основных слоя с разными физико-химическими и механическими свойствами. При набухании семян трещины на внешнем слое увеличиваются, прослеживается трехступенчатый контроль набухания. С помощью ИК-спектрометрии Фурье обнаружено наличие в составе семенной кожуры гледичии лигнина, небольших количеств суберина, гемицеллюлоз, а также продуктов окисления целлюлозы и лигнина.

**Ключевые слова:** гледичия трехколючковая, *Gleditsia triacanthos*, твердосемянность, прорастание, семенная оболочка

**Для цитирования:** Балакина А. А., Нефедьева Е. Э., Тутарашвили К. Г., Храмова Я. И. Особенности изменений в строении оболочки семенной кожуры *Gleditsia triacanthos* L. при прорастании // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 24–33. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-3

© Балакина А. А., Нефедьева Е. Э., Тутарашвили К. Г., Храмова Я. И., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.



## The features of structure changes in the shell of the *Gleditsia triacanthos* seed cover during germination

A.A. Balakina<sup>1</sup>, E.E. Nefed'eva<sup>2</sup>, K.G. Tutarashvili<sup>3</sup>, Ya.I. Khramova<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

<sup>1</sup>as.balakina@rambler.ru, <sup>2</sup>nefedieva@rambler.ru, <sup>3</sup>kseniatarashvili1996@mail.ru,

<sup>4</sup>yaroslavnacosmos1994@gmail.com

**Abstract.** *Background.* *Gleditsia triacanthos* L. is a deciduous tree used in landscaping park areas. *G. triacanthos* is a multi-purpose tree species that produces dark brown seeds with a hard cover. The seeds have a physiological dormancy due to the hard seed cover. *G. triacanthos* has a high economic value, but its cultivation is complicated by the fact that the seeds germinate slowly, and seedlings appear at different times. The purpose of the study is to describe the structure of the seed cover of *G. triacanthos*, as well as the changes that occur in it during germination. *Materials and methods.* *G. triacanthos* has a hard seed cover. The seed coat of was studied using electron scanning microscope “Versa 3D”, an IR-Fourier spectrometer “Nicolet-6700” to study the phenomenon of hard-seeding. The cover was examined in the native state, as well as after imbibition. *Results.* The outer layer of the seed cover of gledichia consists of two rows of columnar cells, the cracks between which form cracks on the surface of the seed. These cells stretch, when they swollen, what leads to the growth of cracks and allows water to penetrate into the next layers. The IR spectrum analysis of the seed cover demonstrated that cellulose and lignin complex is the basis of the gledichia cover. *Conclusions.* The seeds of *G. triacanthos* have a hard seed cover and do not germinate well. Three main layers with different physico-chemical and mechanical properties were found in the seed cover of gleditsia. During the imbibition, the cracks on the outer layer increase, and a three-stage control of the swelling is observed. IR-spectrometry showed the presence of small amounts of suberin, hemicelluloses, as well as products of cellulose and lignin oxidation in the composition of the seed cover of gleditsia.

**Keywords:** *Gleditsia triacanthos*, hard-seeding, germination, seed coat

**For citation:** Balakina A.A., Nefed'eva E.E., Tutarashvili K.G., Khramova Ya.I. The features of structure changes in the shell of the *Gleditsia triacanthos* seed cover during germination. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):24–33. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-3

### Введение

Гледичия трехколючковая – *Gleditsia triacanthos* L. – лиственное дерево, используемое в озеленении парковых зон [1]. *G. triacanthos* образует темно-коричневые семена с твердым покровом. Семена имеют состояние глубокого покоя из-за твердой семенной оболочки [2]. *G. triacanthos* имеет высокую хозяйственную ценность, однако его выращивание осложнено тем, что семена прорастают медленно, всходы появляются неодновременно.

Гледичия используется в лесоразведении и восстановлении почв благодаря симбиозу с бактериями, способными фиксировать азот. Гледичия устойчива к засухе, неблагоприятным почвенным условиям, в том числе к засолению, задержанию и уплотнению почвы.

Листья и плоды содержат аскорбиновую кислоту (100–400 мг%); 3-гликозид-1-эпикатехин и флавоноидные соединения имеются в бобах. В семядолях боба содержатся антрагликозиды (около 2,6 %), дубильные вещества

(3,1 %) и следы витамина К; в мякоти бобов содержится сахар (29 %) [3]. Галактоманнан содержится в эндосперме семян [4].

Галактоманнаны – это гидроколлоиды, широко используемые в пищевой, бумажной, чернильной, косметической и фармацевтической промышленности. Они встречаются как накопительные полисахариды в эндосперме растений семейства Fabaceae. Эти полисахариды состоят из маннозной основы, замещенной галактозильными остатками [5]. Эндосперм *G. triacanthos* имеет галактоманнановую камедь, обладающую свойством сгущать и стабилизировать эмульсии. Кажущаяся вязкость экстрагированной камеди гледиции составляла от 0,034 до 0,08 Па · с. Камедь обладает реологическими характеристиками, которые позволили бы добавлять их в пищевые продукты [6].

*G. triacanthos*, несмотря на свою высокую хозяйственную ценность, недостаточно применяется в озеленении из-за трудностей с искусственным семенным размножением. Твердая семенная оболочка, непроницаемая для воды, является типичной чертой нескольких видов семейства бобовых.

Прорастание играет важную роль в жизненном цикле растений и поэтому может быть одним из признаков в определении инвазивности видов [7]. Жизненная стратегия растений зависит от ряда факторов, в том числе от успешного прорастания семян в доступной среде [8].

От начала прорастания и до завершения этого процесса широко распространенным «блоком» в растительном царстве является физиологический покой семян [9]. Он играет ключевую роль в эволюции растений, так как семя в состоянии физиологического покоя не прорастет в течение определенного периода времени при любом сочетании физических факторов окружающей среды. Следовательно, семена могут сохраняться в состоянии покоя в течение многих лет и прорасти только при наличии идеальных условий.

Физиологический покой и прорастание зависят от структуры семян, особенно тканей, окружающих зародыш, и факторов, влияющих на потенциал роста зародыша [10]. Переход от покоя к прорастанию является критической контрольной точкой, ведущей к началу вегетативного роста. Физиологические процессы, которые преодолевают физиологический покой семян, включают изменения в синтезе и сигнализации абсцизовой кислоты и гиббереллинов и, по-видимому, сходны у разных видов [2, 11]. В частности, состояние покоя, по-видимому, сильно зависит от соотношений абсцизовой кислоты и гиббереллинов [9, 12].

Факторы окружающей среды, такие как свет, температура и продолжительность хранения (после созревания), контролируют прорастание и состояние покоя [10].

Вода является наиболее важным внешним фактором для прорастания семян [1]. Ее поглощение осуществляется благодаря повышению в ряде случаев проницаемости семенных покровов для воды и за счет гидратации биополимеров в клетках. В результате развивается онкотическое давление, и семенные покровы разрываются [13].

У многих видов растений семена сразу после созревания не способны к прорастанию, так как находятся в состоянии глубокого покоя, которое, в свою очередь, может быть связано с несколькими причинами. У некоторых

растений ко времени высвобождения семян из плодов зародыш еще недоразвит. Развитие зародыша продолжается в семени, семена становятся способными к прорастанию только после определенного промежутка времени и при наличии соответствующих условий [14].

Большое значение в поддержании состояния глубокого покоя имеет наличие ингибиторов роста, которые могут содержаться как в самих семенах (в оболочке, эндосперме), так и в мякоти плодов. Предпочтительно проращивать семена гледичии и некоторых других видов бобовых ранней весной.

У ряда растений созревшие семена становятся способными к прорастанию только после определенного периода, в течение которого в них происходят сложные биохимические процессы [15].

Явление твердосемянности рассматривается многими учеными как особый вид покоя, при котором подавляются основные ростовые процессы, а также проникновение воды в семя. Состояние твердосемянности развивается постепенно, по мере высыхания семян на последних фазах созревания или во время хранения после отделения их от материнского растения.

Цель исследования – описать структуру семенной оболочки гледичии трехколючковой, а также изменения, происходящие в ней при прорастании.

### Материалы и методы

Материалом исследований служили семена гледичии трехколючковой (*Gleditsia triacanthos*), имеющие твердую кожуру. Плоды гледичии собрали вручную в городских посадках.

Для изучения явления твердосемянности была исследована семенная кожура гледичии с помощью электронного сканирующего микроскопа “Versa 3D”, ИК-Фурье спектрометра “Nicolet-6700”. Кожуру исследовали в нативном состоянии, а также после замачивания.

Для приготовления поперечных срезов семенной кожуры обработку материала проводили по стандартной анатомической методике. Срезы выполняли от руки лезвием безопасной бритвы.

### Результаты и обсуждение

В результате исследования были выявлены некоторые закономерности строения семенной кожуры.

На поверхности семени видны неглубокие четкие трещины (рис. 1) размером 1,2...1,9 мкм.

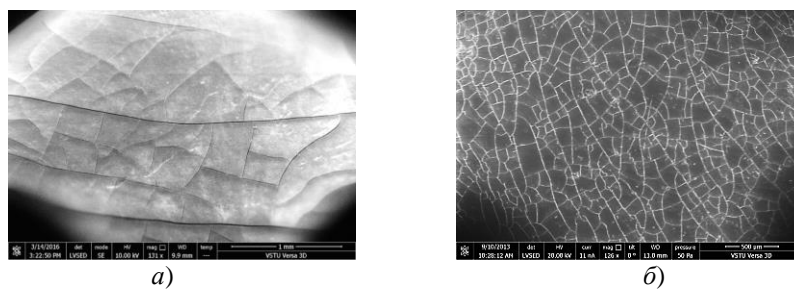


Рис. 1. Поверхность семенной кожуры гледичии: *a*, *б* – общий вид; *в* – размер трещин на сухом семени; *г* – размер трещин на семени, замоченном в течение 1 сут (начало)

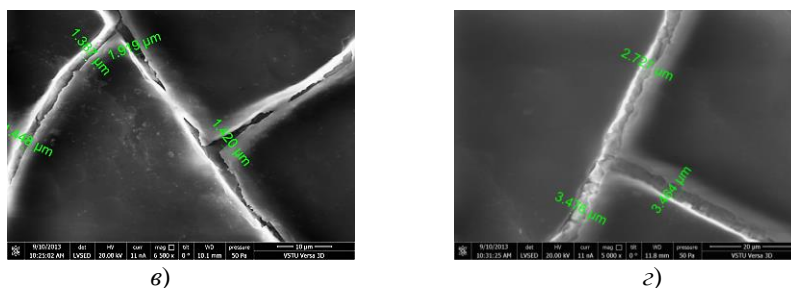


Рис. 1. Поверхность семенной кожуры гледичии: а, б – общий вид; в – размер трещин на сухом семени; г – размер трещин на семени, замоченном в течение 1 сут (окончание)

На электронной микрофотографии среза семени видно (рис. 2), что семенная кожура состоит из двух основных слоев, отличающихся своей структурой. Под кожей лежит эндосперм, который имеет большую толщину в дорзальной и вентральной части, утончается в апикальной части семени.

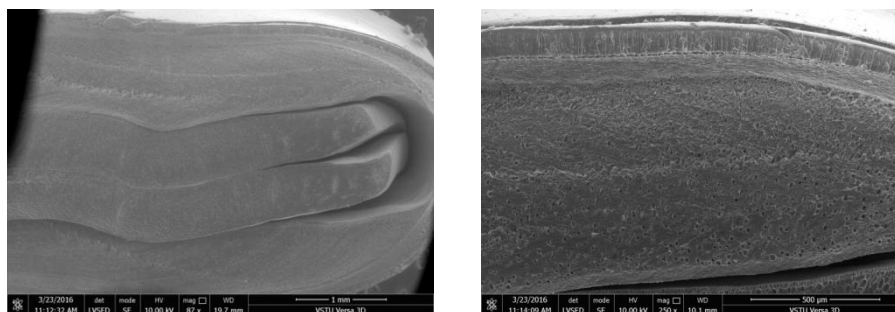


Рис. 2. Срез семени гледичии

Снаружи (рис. 3) семенная кожура имеет тонкий плотный слой с невыраженной клеточной структурой. Предположительно, это пигментированный слой – кутина с вкраплениями воска.

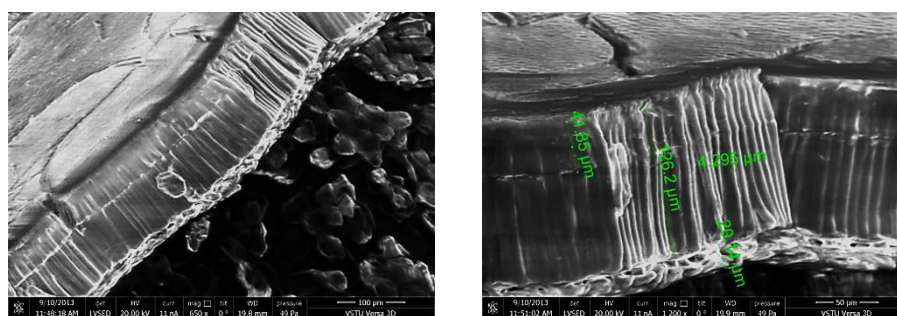


Рис. 3. Внешний вид семенной кожуры гледичии под электронным микроскопом

Семена гледичии имеют твердую семенную оболочку разного цвета, что влияет на продолжительность покоя, а также на поглощение воды и всхожесть. Семена с желтой семенной оболочкой содержали больше всего

влаги и имели самое высокое поглощение воды, хотя желтые семенные оболочки были толще, чем оболочки других цветов. Семена с желтой оболочкой показали 100 %-е ингибирование через 48 ч, а также самую высокую всхожесть (95 %). Потемнение оболочки семян гледичии и замедление прорастания семян взаимосвязаны.

Наружный слой семенной кожуры гледичии состоит из двух рядов столбчатых клеток, разломы между которыми образуют трещины на поверхности семени. При набухании эти клетки растягиваются, что приводит к росту трещин и дает возможность воде проникать в следующие слои. На рис. 2 приведено фото семенной кожуры после набухания в течение 1 сут; длина столбчатых клеток составляет 126,2 мкм. На рис. 3 приведено фото семенной кожуры при набухании в течение 2 сут после стратификации; длина столбчатых клеток составляет 150,9 мкм. В первом варианте размер трещин на поверхности кожуры 2,7...3,4 мкм (рис. 1,з), во втором – 71...200 мкм (рис. 4,а).

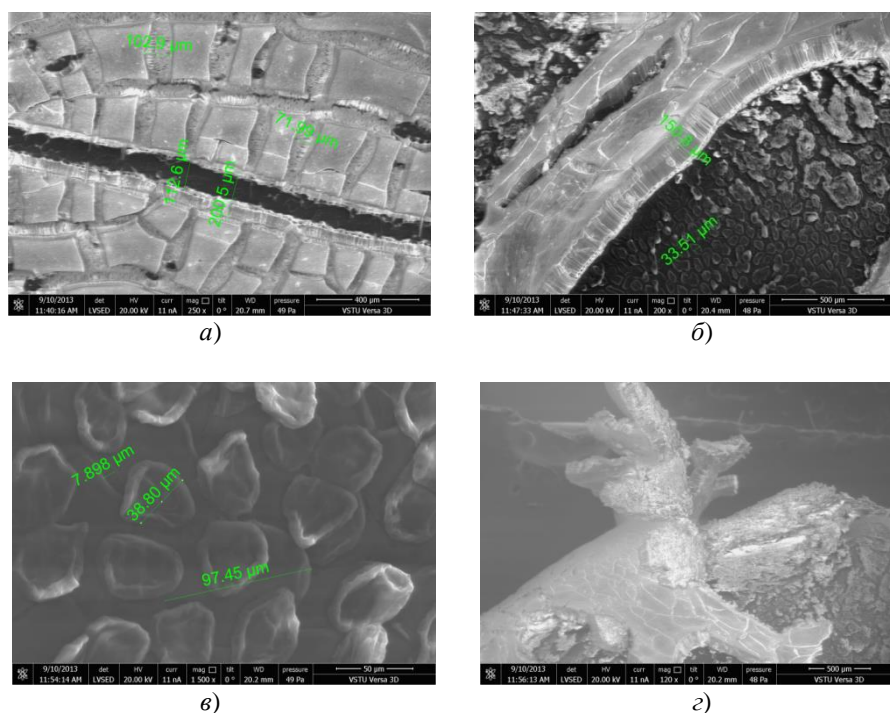


Рис. 4. Деструкция семенной кожуры гледичии при прорастании в течение 2 сут после стратификации, внешний вид под электронным микроскопом: а – поверхность; б – разрывы в наружном и внутреннем слое; в – клетки эндосперма; з – отделение семенной кожуры от поверхности семени

Внутренний слой семенной кожуры гледичии (см. рис. 3) состоит из плотно уложенных клеток, несколько вытянутых в направлении, параллельном поверхности кожуры.

Эндосперм – наиболее мощный слой, он состоит из паренхиматических клеток, которые уложены рыхло (см. рис. 3). При набухании эти клетки ослизняются, мацерируются (рис. 4,в), а наружный и внутренний слой семенной кожуры отделяются от семени (рис. 4,з).

ИК-спектр семенной кожуры гледичии включает интенсивные полосы поглощения в области с максимумом 3303, 2918, 2860, 1640, 1606, 1420, 1368, 1246, 1010  $\text{см}^{-1}$ , а также полосы средней и слабой интенсивности: 740, 1706, 1515, 1460, 1160, 960, 896  $\text{см}^{-1}$ . Анализируя полученные данные и сравнивая их с известными результатами ИК спектральных исследований древесины, можно сделать вывод, что основу кожуры гледичии составляют целлюлоза и лигнин.

Так, в спектре присутствует широкая полоса поглощения валентных колебаний О-Н связей ассоциированных гидроксильных групп с максимумом 3303  $\text{см}^{-1}$ . Полосы поглощения 2918, 2860, 1420, 1368, 896  $\text{см}^{-1}$  соответствуют валентным и деформационным колебаниям С-Н связей в метильных, метиленовых и метиновых группах целлюлозы. Сильное поглощение в области 1000–1050  $\text{см}^{-1}$  (максимум 1010  $\text{см}^{-1}$ ) и 1160  $\text{см}^{-1}$  связано с высокой концентрацией в структуре исследуемых образцов эфирных и спиртовых фрагментов (поглощение С-О связей).

Наличие в составе кожуры гледичии лигнина подтверждает присутствие в спектре характеристических полос поглощения фенилпропановых фрагментов, составляющих основу структуры лигнина. К ним относятся полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям ароматических и этиленовых углерод-углеродных связей (1640–1593  $\text{см}^{-1}$ ), скелетным валентным колебаниям бензольных колец (1495–1515  $\text{см}^{-1}$ ), деформационным колебаниям С-Н связей в  $\text{CH}_2$  – и  $\text{CH}_3$  – группах (1460–1470  $\text{см}^{-1}$ ).

Поглощение малой интенсивности в области 1740 и 1706  $\text{см}^{-1}$ , соответствующее валентным колебаниям карбонильных групп, может свидетельствовать о наличии в составе целлюлозы небольших количеств суберина, гемицеллюлоз, а также продуктов окисления целлюлозы и лигнина.

Проведенные исследования позволили выяснить функции отдельных слоев семенной кожуры гледичии. Клетки эпидермы имеют тонкие оболочки с частичной лигнификацией. Предположительно, лигнин расположен кольцами или спирально вдоль длинных стенок, поэтому при поглощении воды клетки не утолщаются, а удлиняются. За счет удлинения клеток трещины в семенной коже расширяются, что дает возможность воде проникать в следующие слои семенной кожуры. Однако средний слой – гиподерма – состоит из клеток, пропитанных гидрофобным веществом суберином, что замедляет прохождение воды. Форма клеток, вытянутая параллельно поверхности, обеспечивает плотное сцепление. Такая структура механически устойчива к растяжению. При деструкции в процессе набухания этот слой не подвержен мацерации. Дополнительную механическую прочность семенной коже придают лигнифицированные элементы в паренхиме. Однако паренхиматозные клетки в нижнем слое семенной кожуры способны набухать и ослизняться. Это дополнительный контроль поступления воды в зародыш.

### Заключение

Семена *Gleditsia triacanthos* имеют твердую семенную оболочку и плохо прорастают. В семенной коже гледичии было выявлено три основных слоя с разными физико-химическими и механическими свойствами. Клетки эпидермы семенной кожуры гледичии имеют тонкие оболочки с частичной лигнификацией. Гиподерма состоит из клеток, пропитанных гидрофобным

веществом суберином. Форма клеток, вытянутая параллельно поверхности, обеспечивает плотное сцепление. Паренхима – наиболее мощный слой, состоящий из паренхиматических клеток, которые уложены рыхло.

Наружный слой семенной кожуры гледичии состоит из двух рядов столбчатых клеток, разломы между которыми образуют трещины на поверхности семени. При набухании эти клетки растягиваются, что приводит к росту трещин и дает возможность воде проникать в следующие слои. Прослеживается трехступенчатый контроль набухания.

ИК-спектральный анализ показал наличие в составе семенной кожуры гледичии лигнина небольших количеств суберина, гемицеллюлоз, а также продуктов окисления целлюлозы и лигнина.

### Список литературы

1. Obroucheva N. V., Sinkevich I. A., Lityagina S. V., Novikova G. V. Water relations in germinating seeds // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2017. Т. 64, № 4. P. 625–633.
2. Bentsink L., Hanson J., Hanhart C. J. [et al.]. Natural variation for seed dormancy in *Arabidopsis* is regulated by additive genetic and molecular pathways // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010. Т. 107. P. 4264–4269. doi:10.1073/pnas.1000410107
3. Атлас лекарственных растений СССР / гл. ред. акад. Н. В. Цицин. М. : Медгиз, 1962. 702 с.
4. Rakhmanberdyeva R. K., Filippov M. P. Infrared spectroscopy study of *Gleditsia macracantha* seeds // *Chemistry of Natural Compounds*. 2011. Т. 47, № 2. P. 179–181.
5. Pedrol N., Puig C. G., López-Nogueira A. [et al.]. Optimal and synchronized germination of *Robinia pseudoacacia*, *Acacia dealbata* and other woody Fabaceae using a handheld rotary tool: concomitant reduction of physical and physiological seed dormancy // *Journal of Forestry Research*. 2017. № 29. P. 1–8.
6. Ertekin M., Kirdar E. Effects of seed coat colour on seed characteristics of honeylocust (*Gleditsia triacanthos*) // *African Journal of Agricultural Research*. 2010. Т. 5, № 17. P. 2434–2438.
7. Estévez A. M., Escobar B., Sepúlveda M. Physical and rheological characterization of seeds of three legume trees // *Idesia*. 2012. Т. 30, № 1. P. 83–91.
8. Koornneef M., Bentsink L., Hilhorst H. Seed dormancy and germination // *Current Opinion in Plant Biology*. 2002. Т. 5. P. 33–36.
9. Ferreras A. E., Funes G., Galetto L. The role of seed germination in the invasion process of Honey locust (*Gleditsia triacanthos* L., Fabaceae): Comparison with a native confamilial // *Plant Species Biology*. 2015. Т. 30, № 2. P. 126–136.
10. Jiang J.-X., Jian H.-L., Cristhian C. [et al.]. Structural and thermal characterization of galactomannans from genus *Gleditsia* seeds as potential food gum substitutes // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2011. Т. 91, № 4. P. 732–737.
11. Linkies A., Graeber K., Knight C., Leubner-Metzger G. The evolution of seeds // *New Phytol.* 2010. P. 186, 817–831. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03249.x
12. Нефедьева Е. Э., Белопухов С. Л., Верхотуров В. В., Лысак В. И. Роль фитогормонов в регуляции прорастания семян // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2013. № 1. С. 61–66.
13. Медведев С. С. Физиология растений. СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. 358 с.
14. Finch-Savage W. E., Leubner-Metzger G. Seed dormancy and the control of germination // *The New phytologist*. 2006. Т. 171, № 3. P. 501–523.
15. Якушкина Н. И., Бахтенко Е. Ю. Физиология растений. М. : Владос, 2004. 463 с.

### References

1. Obroucheva N.V., Sinkevich I.A., Lityagina S.V., Novikova G.V. Water relations in germinating seeds. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2017;64(4):625–633.

2. Bentsink L., Hanson J., Hanhart C.J. [et al.]. Natural variation for seed dormancy in *Arabidopsis* is regulated by additive genetic and molecular pathways. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010;107:4264–4269. doi:10.1073/pnas.1000410107
3. Tsitsin N.V. (ed.). *Atlas lekarstvennykh rasteniy SSSR = Atlas of medicinal plants of the USSR*. Moscow: Medgiz, 1962:702. (In Russ.)
4. Rakhmanberdyeva R.K., Filippov M.P. Infrared spectroscopy study of *Gleditsia macracantha* seeds. *Chemistry of Natural Compounds*. 2011;47(2):179–181.
5. Pedrol N., Puig C.G., López-Nogueira A. [et al.]. Optimal and synchronized germination of *Robinia pseudoacacia*, *Acacia dealbata* and other woody Fabaceae using a handheld rotary tool: concomitant reduction of physical and physiological seed dormancy. *Journal of Forestry Research*. 2017;(29):1–8.
6. Ertekin M., Kirdar E. Effects of seed coat colour on seed characteristics of honeylocust (*Gleditsia triacanthos*). *African Journal of Agricultural Research*. 2010;5(17):2434–2438.
7. Estévez A.M., Escobar B., Sepúlveda M. Physical and rheological characterization of seeds of three legume trees. *Idesia*. 2012;30(1):83–91.
8. Koornneef M., Bentsink L., Hilhorst H. Seed dormancy and germination. *Current Opinion in Plant Biology*. 2002;5:33–36.
9. Ferreras A.E., Funes G., Galetto L. The role of seed germination in the invasion process of Honey locust (*Gleditsia triacanthos* L., Fabaceae): Comparison with a native congeneric. *Plant Species Biology*. 2015;30(2):126–136.
10. Jiang J.-X., Jian H.-L., Cristhian C. [et al.]. Structural and thermal characterization of galactomannans from genus *Gleditsia* seeds as potential food gum substitutes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2011;91(4):732–737.
11. Linkies A., Graeber K., Knight C., Leubner-Metzger G. The evolution of seeds. *New Phytol.* 2010;186,817–831. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03249.x
12. Nefed'eva E.E., Belopukhov S.L., Verkhoturov V.V., Lysak V.I. The phytohormones' role in the regulation of seed germination. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya = University proceedings. Applied chemistry and biotechnology*. 2013;(1): 61–66. (In Russ.)
13. Medvedev S.S. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. Saint Petersburg: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo un-ta, 2004:358. (In Russ.)
14. Finch-Savage W.E., Leubner-Metzger G. Seed dormancy and the control of germination. *The New phytologist*. 2006;171(3):501–523.
15. Yakushkina N.I., Bakhtenko E.Yu. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. Moscow: Vldos, 2004:463. (In Russ.)

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

**Анастасия Андреевна Балакина**

аспирант, Волгоградский государственный технический университет (Россия, г. Волгоград, проспект Ленина, 28)

E-mail: as.balakina@rambler.ru

**Anastasiya A. Balakina**

Postgraduate student, Volgograd State Technical University (28 Lenina avenue, Volgograd, Russia)

**Елена Эдуардовна Неведьева**

доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (Россия, г. Волгоград, проспект Ленина, 28)

E-mail: nefedieva@rambler.ru

**Elena E. Nefed'eva**

Doctor of biological sciences, associate professor, professor of the sub-department of industrial ecology and safety, Volgograd State Technical University (28 Lenina avenue, Volgograd, Russia)



***Ксения Гочаевна Тутарашвили***

аспирант, Волгоградский  
государственный технический  
университет (Россия, г. Волгоград,  
проспект Ленина, 28)

E-mail: kseniatutarashvili1996@mail.ru

***Ksenia G. Tutarashvili***

Postgraduate student, Volgograd State  
Technical University (28 Lenina avenue,  
Volgograd, Russia)

***Ярославна Игоревна Храмова***

аспирант, Волгоградский  
государственный технический  
университет (Россия, г. Волгоград,  
проспект Ленина, 28)

E-mail: yaroslavnacosmos1994@gmail.com

***Yaroslavna I. Khramova***

Postgraduate student, Volgograd State  
Technical University (28 Lenina avenue,  
Volgograd, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 10.06.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 10.07.2021**

**Принята к публикации / Accepted 29.07.2021**

УДК 581.9

doi:10.21685/2307-9150-2021-4-4

## Эксикаты *Herbarium Florae Rossicae* в Гербарии Казанского университета (KAZ)

Л. Р. Кадырова<sup>1</sup>, Н. Б. Прохоренко<sup>2</sup>, К. А. Хакимова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

<sup>1</sup>luizakadirova@mail.ru, <sup>2</sup>nbprokhorenko@mail.ru, <sup>3</sup>kamilaairatovna@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Данное исследование посвящено обзору коллекции эксикат *Herbarium Florae Rossicae* в Гербарии Казанского федерального университета (KAZ). *Материалы и методы.* Информация о гербарных образцах была внесена в базу данных КАМИС и подвергнута всестороннему анализу, в ходе которого был уточнен объем коллекции и время ее сбора, выявлены ведущие коллекторы: Д. И. Литвинов, В. Д. Андреев, И. И. Ширавский, Н. В. Андросов и Н. В. Цингер. Коллекция *Herbarium Florae Rossicae* содержит 2055 видов сосудистых растений. В соответствии с современными представлениями уточнена систематическая принадлежность 53 % видов коллекции. Ведущее положение в составе коллекции занимают растения отдела Magnoliophyta, среди них лидируют по количеству видов семейства Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae, Brassicaceae, Poaceae и Superaceae. В *Herbarium Florae Rossicae* содержатся растения из 62 регионов. Наибольшее количество видов было собрано на Кавказе, в Туркестане и Псковской губернии. В сборах из губерний Поволжья выявлены 72 вида растений, которые имеют в настоящее время охранный статус. *Результаты и выводы.* Заполнение электронной базы данных информацией об эксикатах *Herbarium Florae Rossicae* позволило систематизировать коллекцию, а также выявить ценные сведения, которые имеют значение для исследования состояния флоры России и истории ее развития.

**Ключевые слова:** Гербарий, гербарные образцы, KAZ, эксикаты, *Herbarium Florae Rossicae*, КАМИС

**Для цитирования:** Кадырова Л. Р., Прохоренко Н. Б., Хакимова К. А. Эксикаты *Herbarium Florae Rossicae* в Гербарии Казанского университета (KAZ) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 34–44. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-4

## *Herbarium Florae Rossicae* exsicates in the Herbarium of Kazan University KAZ

L.R. Kadyrova<sup>1</sup>, N.B. Prokhorenko<sup>2</sup>, K.A. Khakimova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

<sup>1</sup>luizakadirova@mail.ru, <sup>2</sup>nbprokhorenko@mail.ru, <sup>3</sup>kamilaairatovna@mail.ru

**Abstract.** *Background.* This research is devoted to overview the collection of *Herbarium Florae Rossicae* exsicates in the Herbarium of Kazan Federal University KAZ. *Materials and methods.* Information about herbarium specimens was entered into the KAMIS database and was subjected to a comprehensive analysis, during which the volume of the collection and the time of its collection were clarified. The leading collectors were identified:

© Кадырова Л. Р., Прохоренко Н. Б., Хакимова К. А., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

D.I. Litvinov, V.D. Andreev, I.I. Shiraevsky, N.V. Androsov and N.V. Zinger. The *Herbarium Florae Rossicae* collection contains 2055 higher vascular plants species. The systematic assignment of 53 % species in the collection has been specified in accordance with modern concepts. Plants of Magnoliophyta division occupy leading position in the collection, among them the leaders in the number of species are families Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae, Brassicaceae, Poaceae and Cyperaceae. Herbarium Florae Rossicae contains plants from 62 regions. The largest number of species was collected in the Caucasus, Turkestan and the Pskov province. In the collections from the Volga region, 72 plant species were identified, which currently have a conservation status. *Results and conclusions.* Tilling the electronic database with information about *Herbarium Florae Rossicae* exsicates made it possible to systematize the collection, and to find out valuable information that is important for the study and history of development of Russian flora.

**Keywords:** Herbarium, herbarium specimens, KAZ, exsicates, *Herbarium Florae Rossicae*, KAMIS

**For citation:** Kadyrova L.R., Prokhorenko N.B., Khakimova K.A. *Herbarium Florae Rossicae* exsicates in the Herbarium of Kazan University KAZ. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):34–44. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-4

### Введение

Гербарий Казанского университета (KAZ) имеет 200-летнюю историю и насчитывает по данным последней сверки свыше 120 тыс. единиц хранения. Коллекция охватывает территорию Республики Татарстан и сопредельных районов Среднего Поволжья. Кроме того, имеются в значительном количестве сборы из разных районов бывшего Советского Союза и гербарий мировой флоры. Имеющиеся в KAZ наиболее крупные гербарные коллекции связаны с именами аббата де Грандидье, Ф. И. Рупрехта, П. Я. Корнух-Троцкого, Н. М. Мартьянова, П. Н. Крылова, Ю. К. Шелля, Н. В. Сорокина, А. Я. Гордягина, В. И. Баранова, М. В. Маркова, Л. Н. Васильевой [1]. Из эксикат представлен только *Herbarium Florae Rossicae (HFR)*, изданный Ботаническим музеем Императорской академии наук.

На сегодняшний день наиболее актуальным направлением в развитии гербарного дела становится создание цифрового гербария. Наличие изображения образца и сведений о нем в Интернете значительно повышает доступность и востребованность коллекций, способствует сохранению растений в живой природе и в гербарных коллекциях, накоплению информации о таксономическом разнообразии растительного мира [2–4].

С 2018 г. в Гербарии Казанского федерального университета начата работа по оцифровке исторических коллекций. Первыми обработке были подвергнуты эксикаты *HFR*. Ценность эксикат как исторических коллекций многогранна: в их составе находятся сборы известных ботаников, представлены виды из различных регионов, часто весьма удаленных и обширных по занимаемой площади, а также разнообразных по природным условиям [5, 6]. Зачастую выясняется, что местообитания редких видов, где производились сборы, на сегодня утрачены, таким образом, исторические коллекции кроме прочего приобретают мемориальную ценность [7].

Гербарий Казанского федерального университета имеет музейный статус. Согласно Федеральному закону от 26 мая 1996 г. № 54-ФЗ «О музейном

фонде Российской Федерации и музеях Российской Федерации» все музейные предметы на территории Российской Федерации подлежат обязательному государственному учету. Учет осуществляется на двух уровнях: первичный учет проводится непосредственно в музее. Он обязательно включает в числе других процедур внесение данных о музейных предметах в комплексную автоматизированную музейную информационную систему (КАМИС). На втором уровне осуществляется централизованный учет: здесь информация о музейных предметах передается в государственный каталог музейного фонда Российской Федерации.

Цель данного исследования – внесение в базу данных КАМИС сведений об эксикатах *Herbarium Florae Rossicae* из коллекции KAZ и последующий обзор коллекции.

### Материалы и методика

Объект исследований – эксикаты *Herbarium Florae Rossicae* в составе Гербария KAZ. По имеющимся предварительным данным коллекция была собрана в 1900–1911 гг. и насчитывает 2200 единиц хранения [1].

Информация с гербарных этикеток вносилась в карточки в КАМИС [8]. Каждая карточка содержит следующие сведения: систематическая принадлежность растения, русское название вида, латинское название вида (как на этикетке), общепринятое латинское название вида, ФИО коллектора, место нахождения растения, местообитание, дата сбора, ФИО лица, определившего образец, ФИО лица, переопределившего образец (если имеется), изображение, место хранения, сохранность образца и др.

Указанные на гербарных этикетках названия видов приведены в соответствие с современной ботанической номенклатурой по международной базе данных World Flora Online [9]. Поскольку гербарные этикетки *HFR* не предусматривали запись названия семейства, при составлении списков и их анализе для каждого экземпляра выявлена его принадлежность к таксономическим категориям надвидового ранга с учетом современного систематического положения.

Все электронные карточки были проанализированы по коллекторам и дате сборов, видовому разнообразию, систематической структуре и географии сборов. Для эксикат, собранных на территории Поволжья, проведен анализ наличия редких и охраняемых видов. Для уточнения отсутствия или наличия определенного охранного статуса у каждого конкретного вида использовали Красную книгу Российской Федерации [10] и региональные Красные книги [11–19].

### Результаты и обсуждение

Всего в КАМИС было заполнено и проанализировано 2927 карточек, это соответствует количеству единиц хранения. Эксикаты *HFR* были собраны в период с 1841 по 1843 г. (12 шт.) и с 1893 по 1914 г. (2915 шт.). Наибольшее число эксикат (77,6 % от общего числа экземпляров) было собрано в период с 1897 по 1905 г. Таким образом, внесение сведений об эксикатах *HFR* в базу данных КАМИС позволило уточнить их количество в гербарии KAZ и время сбора коллекции. Ранее указывалось 2200 единиц хранения, собранных в 1900–1911 гг. [1].

Проведенные исследования показали, что в создании коллекции *HFR* принимали участие 220 коллекторов, среди них такие известные ботаники, как Дмитрий Иванович Литвинов, Сергей Иванович Коржинский, Порфирий Никитич Крылов и Владимир Николаевич Сукачев. Наиболее значимый вклад внесли Д. И. Литвинов (им собрано 8,9 % коллекции), В. Д. Андреев (6,4 %), И. И. Шираевский (5,4 %), Н. В. Андросов (5,1 %) и Н. В. Цингер (4,3 %).

Исследуемая коллекция содержит 2055 видов сосудистых растений. Из них у 1573 видов было уточнено систематическое положение в соответствии с современной ботанической номенклатурой. В коллекции насчитывается 8 видов в отделе Lycopodiophyta, 39 видов – Polypodiophyta и 19 видов – Pinophyta (табл. 1). Ведущее положение в составе коллекции занимают представители отдела Magnoliophyta (1989 видов), доля их участия достигает 97 % от общего количества представленных видов.

Таблица 1  
Систематическая структура эрикат Herbarium Florae Rossicae

Phylum	Количество видов	Процент от общего числа представленных в коллекции видов
Phylum Lycopodiophyta	8	0,4
Phylum Polypodiophyta	39	1,9
Classis Equisetopsida	6	0,3
Classis Polypodiopsida	33	1,6
Phylum Pinophyta	19	0,9
Phylum Magnoliophyta	1989	96,8
Classis Magnoliopsida	1564	76,1
Classis Liliopsida	425	20,7
Всего	2055	100,0

Гербарные образцы отдела Покрытосеменные входят в состав 111 семейств. Представители класса Magnoliopsida составляют 76,1 %, Liliopsida – 20,7 % от общего числа видов. Среди класса Magnoliopsida значительное количество эрикат относится к таким семействам, как Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae и Brassicaceae (табл. 2). Первое место занимает семейство Asteraceae (226), на семейства Fabaceae, Rosaceae и Cruciferae приходится примерно по 100 видов растений. Видовое разнообразие таких семейств, как Ranunculaceae, Caryophyllaceae, Amaranthaceae, Umbelliferae, Lamiaceae, Salicaceae, насчитывает от 56 до 84 видов растений. На долю 10 ведущих семейств класса Magnoliopsida приходится около 62,7 % видов.

В классе Liliopsida выявлены виды, относящиеся к 25 семействам. Ведущее положение в спектре семейств занимают представители семейств Poaceae и Cyperaceae, которые составляют две трети всего класса (табл. 3). Третье место занимает семейство Liliaceae, на долю которого приходится около 9 % видов коллекции. Семейства Orchidaceae, Juncaceae, Amaryllidaceae, Potamogetonaceae, Iridaceae, Araceae и Alismataceae представлены в меньшей степени, они содержат от 6 до 28 видов, что составляет не более 6,6 % от общего видового разнообразия.

Таблица 2

Спектр 10 ведущих семейств класса Magnoliopsida в коллекции *HFR*

Familia	Количество видов	Процент от общего числа видов
Asteraceae	226	14,4
Fabaceae	112	7,2
Rosaceae	110	7,0
Cruciferae	107	6,8
Ranunculaceae	84	5,4
Caryophyllaceae	82	5,2
Amaranthaceae	78	5,0
Umbelliferae	64	4,1
Lamiaceae	62	4,0
Salicaceae	56	3,6
Остальные семейства	583	37,3
Всего	1564	100,0

Таблица 3

Спектр 10 ведущих семейств класса Liliopsida в коллекции *HFR*

Familia	Количество видов	Процент от общего числа видов
Роасеае	152	35,8
Сурегасеае	116	27,3
Лилиасеае	37	8,7
Орхидасеае	28	6,6
Жуноссеае	21	4,9
Амариллидасеае	11	2,6
Потамогетонасеае	11	2,6
Иридасеае	10	2,4
Арасеае	6	1,4
Алисматасеае	6	1,4
Остальные семейства	27	6,3
Всего	425	100,0

Выявленная систематическая структура коллекции эксикат соответствует естественной структуре флор различных регионов. Так, во флоре Республики Татарстан на долю класса двудольные приходится около 74 % всех видов, а ведущими семействами выступают Asteraceae, Роасеае, Fabaceae, Сурегасеае, Rosaceae и Brassicaceae [20]. Следовательно, исследуемая коллекция *HFR* представляет собой достаточно полную выборку флоры.

Всего в *HFR* содержатся растения из 62 регионов. Сборы эксикат охватывают территорию Евразии от Атлантического побережья до Тихоокеанского, а также от побережья Северного Ледовитого океана до южных берегов Каспия (рис. 1). Наибольшее количество видов было собрано на Кавказе (287 видов), в Туркестане (258 видов) и Псковской губернии (222 вида).

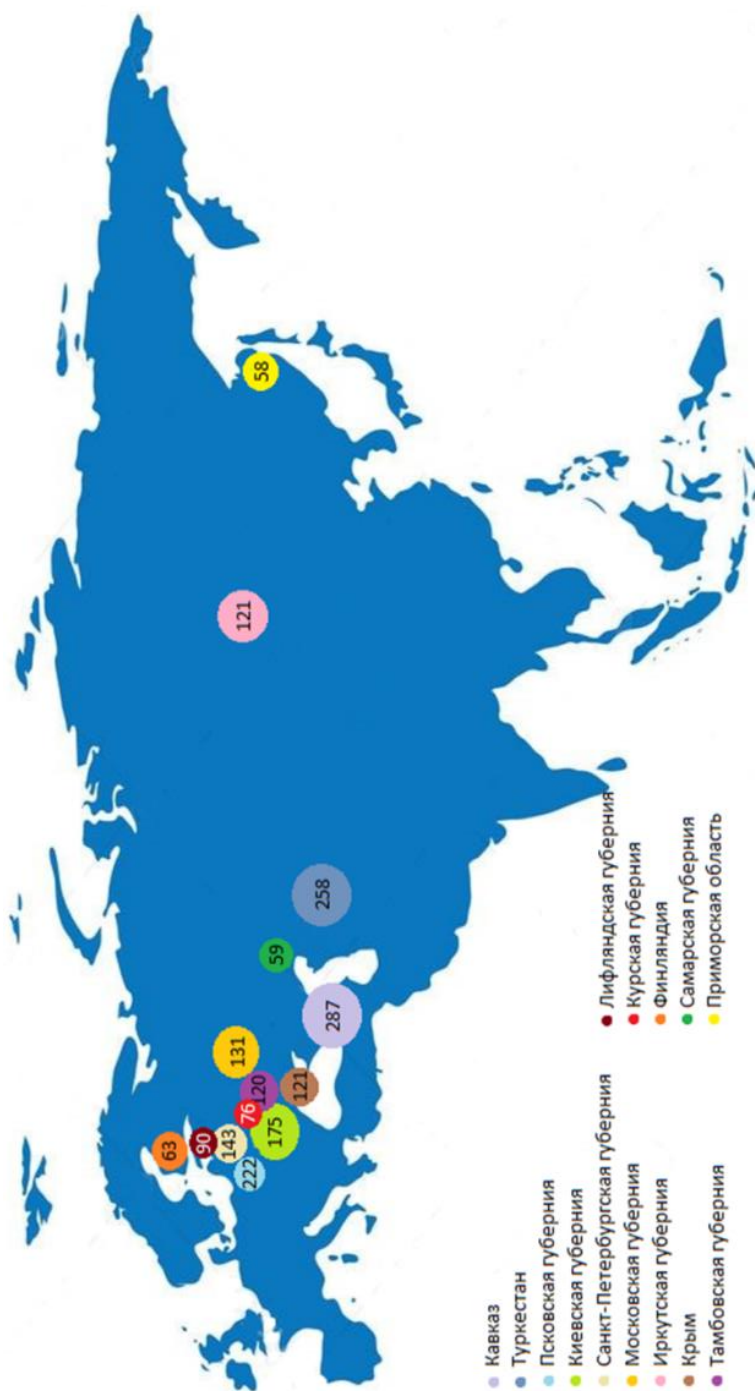


Рис. 1. География сборов экзикат *HFR* (числа обозначают количество собранных видов)

Среди эксикат *HFR* представлено большое количество видов, которые в настоящий момент являются редкими для той или иной территории. Анализ эксикат, собранных на территории Поволжья, позволил выявить охраняемые виды растений (табл. 4). Всего из 151 исследованного вида 52 % имеют охранный статус. Один вид (*Calypso bulbosa* (L.) Oakes) внесен в федеральную Красную книгу, остальные – в региональные Красные книги. В табл. 5 в качестве примера приведены охраняемые виды растений, собранные на территории Саратовской губернии.

Таблица 4

Характеристика эксикат, собранных на территории Поволжья

Губерния	Количество ..., шт.		
	эксикат	видов	видов, имеющих охранный статус
Астраханская	13	10	5
Нижегородская	3	3	3
Пензенская	1	1	0
Пермская	48	48	30
Оренбургская	1	1	0
Самарская	58	52	21
Саратовская	27	24	13
Всего	151	139	72

Таблица 5

Охраняемые виды растений из числа эксикат *HFR*, собранных на территории Саратовской губернии

Вид	Указания в Красных книгах (год выпуска)
<i>Astragalus cicer</i> L.	Республика Марий Эл (2013) и др.
<i>Astragalus sareptanus</i> A.K. Becker	Республика Татарстан (2016) и др.
<i>Clematis recta</i> L.	Нижегородская область (2017), Пензенская область (2013) и др.
<i>Dodartia orientalis</i> L.	Саратовская область (2021)
<i>Fritillaria meleagroides</i> Patrin ex Schult. & Schult. f.	Республика Башкортостан (2011), Пензенская область (2013), Самарская область (2017), Саратовская область (2021), Республика Татарстан (2016), Ульяновская область (2015) и др.
<i>Geranium bohemicum</i> L.	Саратовская область (2021) и др.
<i>Laser trilobum</i> (L.) Borkh.	Республика Башкортостан (2011), Республика Марий Эл (2013), Пермский край (2018), Самарская область (2017) и др.
<i>Limonium tomentellum</i> (Boiss.) Kuntze	Пензенская область (2013), Саратовская область (2021) и др.
<i>Potentilla recta</i> L.	Республика Марий Эл (2013), Пермский край (2018) и др.
<i>Veronica austriaca</i> L.	Нижегородская область (2017) и др.



Сбор образцов для эксикат проводился в количестве 50–100 экземпляров каждого вида из одного местообитания [6]. Это может служить косвенным свидетельством того, что в данных точках во времена сбора гербария вид встречался довольно обычно [7]. Наличие в исторических коллекциях сборов редких в настоящее время видов позволяет провести ретроспективный анализ их былого распространения.

### Заключение

1. Коллекция *Herbarium Florae Rossicae* в Гербарии Казанского университета включает в себя 2927 гербарных листов. Она была собрана в период с 1841 по 1843 г. и с 1893 по 1914 г. Наибольший вклад в создание коллекции внесли: Д. И. Литвинов, В. Д. Андреев, И. И. Шираевский, Н. В. Андросов и Н. В. Цингер.

2. Исследованная коллекция содержит 2055 видов сосудистых растений. Уточнена систематическая принадлежность 1573 видов (53 %). В составе коллекции преобладают представители отдела Magnoliophyta, (97 %) и преимущественно класса Magnoliopsida (76,1 %). Ведущее положение занимают такие семейства, как Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae, Brassicaceae, Poaceae и Sauraceae.

3. Всего в *Herbarium Florae Rossicae* содержатся растения из 62 регионов. Наибольшее количество видов было собрано на Кавказе, в Туркестане и в Псковской губернии.

4. В сборах из губерний Поволжья выявлены 72 вида растений, которые имеют в настоящее время охранный статус.

### Список литературы

1. Ситников А. П., Байбаков Э. И., Потапов В. Б. Гербарий Казанского государственного университета // Ботанический журнал. 1996. № 7. С. 96–101.
2. Серегин А. А. Цифровой гербарий МГУ – крупнейшая база данных по биоразнообразию // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2017. № 6. С. 610–616.
3. James S. A., Soltis P. S., Belbin L. [et al.]. Herbarium data: Global biodiversity and societal botanical needs for novel research // Applications in Plant Sciences. 2018. Т. 6, № 2. doi:10.1002/aps3.1024
4. Черятова Ю. С. Виртуальный цифровой гербарий – основа сохранения гербарных коллекций университетов // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2021. № 1. С. 38–40.
5. Shiyani N. M. Exsiccata and their role in herbarium exchange // Ukrainian Botanical Journal. 2008. Т. 65, № 3. P. 456–464.
6. Кирпичников М. Э. Библиографическая справка о важнейших стандартных образцах (эксикатах) флоры СССР // Ботанический журнал. 1954. Т. 39, № 4. С. 616–622.
7. Чорна Г. А., Мамчур Т. В. Гидрофильные виды в составе эксикат *Herbarium Florae Rossicae* Гербария Уманского национального университета садоводства (УМ) // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2019. № 1. С. 63–72. doi:10.33581/2521-1722-2019-1-63-72
8. Лошак Ю. М., Кошечева Е. Л. Комплексная автоматизированная музейная информационная система КАМИС // Электронные библиотеки. 2001. Т. 4, № 4. С. 11.
9. World Flora Online. URL: <http://www.worldfloraonline.org/> (дата обращения: 21.06.2021).

10. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
11. Красная книга Нижегородской области. Т. 2. Сосудистые растения, моховидные, водоросли, лишайники, грибы. Калининград : РОСТ-ДОАФК, 2017. 304 с.
12. Красная книга Пензенской области. Т. 1. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения. Пенза : Гис-Проект, 2013. 300 с.
13. Красная книга Пермского края. Пермь : Алдари, 2018. 232 с.
14. Красная книга Республики Башкортостан. Т. 1. Растения и грибы. Уфа : Медиа-Принт, 2011. 384 с.
15. Красная книга Республики Марий Эл. Том «Растения. Грибы» / Г. А. Богданов [и др.]. Йошкар-Ола : МарГУ, 2013. 324 с.
16. Красная книга Республики Татарстан: животные, растения, грибы. Казань : Идеал-пресс, 2016. 759 с.
17. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений, лишайников и грибов. Самара : Самарская государственная областная академия (Наяновой), 2017. 384 с.
18. Красная книга Саратовской области: Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов : Папирус, 2021. 496 с.
19. Красная книга Ульяновской области. М. : Буки Веди, 2015. 550 с.
20. Бакин О. В., Рогова Т. В., Ситников А. П. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во КГУ, 2000. 496 с.

### References

1. Sitnikov A.P., Baybakov E.I., Potapov V.B. Herbarium of Kazan State University. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1996;(7):96–101. (In Russ.)
2. Seregin A.A. Digital Herbarium of Moscow State University – the largest database on biodiversity. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2017;(6):610–616. (In Russ.)
3. James S.A., Soltis P.S., Belbin L. [et al.]. Herbarium data: Global biodiversity and societal botanical needs for novel research. *Applications in Plant Sciences*. 2018;6(2). doi:10.1002/aps3.1024
4. Cheryatova Yu.S. Virtual digital herbarium – the basis for the preservation of the herbarium collection of universities. *Sborniki konferentsiy NITs Sotsiosfera = Proceedings of conferences of the science publishing centre "Sociosphere"*. 2021;(1):38–40. (In Russ.)
5. Shiyani N.M. Exsiccata and their role in herbarium exchange. *Ukrainian Botanical Journal*. 2008;65(3):456–464.
6. Kirpichnikov M.E. Bibliographic information about the most important standard samples (exsicats) of the USSR flora. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1954;39(4): 616–622. (In Russ.)
7. Chorna G.A., Mamchur T.V. Hydrophilic species in the composition of the exsiccata Herbarium Florae Rossicae Herbarium of the Uman National University of Horticulture *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Journal of the Belarus State University. Biology*. 2019;(1):63–72. (In Russ.). doi:10.33581/2521-1722-2019-1-63-72
8. Loshak Yu.M., Koshcheeva E.L. Integrated automated museum information system KAMIS. *Elektronnye biblioteki = Digital libraries*. 2001;4(4):11. (In Russ.)
9. *World Flora Online*. Available at: <http://www.worldfloraonline.org/> (accessed 21.06.2021).
10. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby) = The Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)*. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:855. (In Russ.)

11. *Krasnaya kniga Nizhegorodskoy oblasti. T. 2. Sosudistye rasteniya, mokhovidnye, vodorosli, lishayniki, griby = The Red Book of Nizhny Novgorod region. Volume 2. Vascular plants, bryophytes, algae, lichens, fungi.* Kaliningrad: ROST-DOAFK, 2017:304. (In Russ.)
12. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T. 1. Griby, lishayniki, mkhi, sosudistye rasteniya = The Red Book of Penza region. Volume 1. Fungi, lichens, mosses, vascular plants.* Penza: Gis-Proekt, 2013:300. (In Russ.)
13. *Krasnaya kniga Permskogo kraya = The Red Book of Perm region.* Perm: Aldari, 2018: 232. (In Russ.)
14. *Krasnaya kniga Respubliki Bashkortostan. T. 1. Rasteniya i griby = The Red Book of the Republic of Bashkortostan. Volume 1. Plants and fungi.* Ufa: MediaPrint, 2011:384. (In Russ.)
15. Bogdanov G.A. [et al.]. *Krasnaya kniga Respubliki Mariy El. Tom «Rasteniya. Griby» = Red Book of the Republic of Mari El. Volume “Planta. Fungi”.* Yoshkar-Ola: MarGU, 2013:324. (In Russ.)
16. *Krasnaya kniga Respubliki Tatarstan: zhitvnyye, rasteniya, griby = The Red Book of the Republic of Tatarstan: animals, plants, fungi.* Kazan: Ideal-press, 2016:759. (In Russ.)
17. *Krasnaya kniga Samarskoy oblasti. T. 1. Redkie vidy rasteniy, lishaynikov i gribov = The Red Book of Samara region. Volume 1. Rare species of plants, lichens and fungi.* Samara: Samarskaya gosudarstvennaya oblastnaya akademiya (Nayanovoy), 2017:384. (In Russ.)
18. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti: Griby. Lishayniki. Rasteniya. Zhitvnyye = The Red Book of Saratov region: Fungi. Lichens. Plants. Animals.* Saratov: Papirus, 2021:496. (In Russ.)
19. *Krasnaya kniga Ul'yanovskoy oblasti = The Red Book of Ulyanovsk region.* Moscow: Buki Vedi, 2015:550. (In Russ.)
20. Bakin O.V., Rogova T.V., Sitnikov A.P. *Sosudistye rasteniya Tatarstana = Vascular plants of Tatarstan.* Kazan: Izd-vo KGU, 2000:496. (In Russ.)

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

##### **Луиза Равилевна Кадырова**

кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений, Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет (Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18)

E-mail: luizakadirova@mail.ru

##### **Luiza R. Kadyrova**

Candidate of biological sciences, associate professor of the sub-department of botany and plant physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University (18 Kremlyovskaya street, Kazan, Russia)

##### **Нина Борисовна Прохоренко**

кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры ботаники и физиологии растений, Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет (Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18)

E-mail: nbprokhorenko@mail.ru

##### **Nina B. Prokhorenko**

Candidate of biological sciences, associate professor, associate professor of the sub-department of botany and plant physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University (18 Kremlyovskaya street, Kazan, Russia)

***Камиля Айратовна Хакимова***  
лаборант, Зоологический музей  
и гербарий имени Э. А. Эверсмана,  
Институт фундаментальной медицины  
и биологии, Казанский (Приволжский)  
федеральный университет (Россия,  
г. Казань, ул. Кремлевская, 18)

E-mail: kamilaairatovna@mail.ru

***Kamilya A. Khakimova***  
Laboratory assistant, Zoological Museum  
and Herbarium named after E.A. Eversman,  
Institute of Fundamental Medicine and  
Biology, Kazan (Volga Region) Federal  
University (18 Kremlyovskaya street,  
Kazan, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 08.06.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 10.07.2021**

**Принята к публикации / Accepted 15.08.2021**

## Сравнительное изучение складчатого мезофилла хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus* (Pinaceae)

Г. К. Зверева

Новосибирский государственный педагогический университет,  
Новосибирск, Россия

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий  
Российской академии наук, р. п. Краснообск, Новосибирская область, Россия

labsp@ngs.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Строение ассимиляционной ткани листьев у хвойных рассматривалось преимущественно на поперечных сечениях хвои. Задачей исследования было сопоставление особенностей трехмерных форм ассимиляционных клеток и структуры мезофилла хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus*. *Материалы и методы.* Структура фотосинтетической паренхимы изучалась у двухлетней хвои на укороченных побегах на примере 10 видов рода *Pinus* (5 видов подрода *Pinus*, 5 видов подрода *Strobus*) и 3 видов рода *Cedrus*. Образцы листьев фиксировались в смеси Гаммалунда. Пространственные формы ассимиляционных клеток и их взаимное расположение исследовались с помощью светового микроскопа в средней части хвои на поперечных, парадермальных и радиальных срезах. *Результаты и выводы.* Мезофилл хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus* представлен в основном складчатыми клетками, которые в своем большинстве различаются по размерам и особенностям пространственных конфигураций. Наиболее длинные ассимиляционные клетки хвои характерны для видов рода *Cedrus*, а наиболее короткие и утолщенные – для подрода *Strobus*. В подрode *Pinus* складчатые клетки в основном плоские, они имеют хорошо выраженные лопастные формы на поперечных срезах и вытянутые овальные проекции на радиальных сечениях. У видов подрода *Strobus* значительная часть складчатых клеток отличается большей толщиной и более сложными конфигурациями, в которых лопастные проекции на поперечных срезах сочетаются с разными вариантами ячеистых и полужаеистых форм в продольном направлении. Хлоренхима хвои у видов рода *Cedrus* состоит в основном из плоских складчатых клеток при небольшом участии складчато-выемчатых и складчато-полужаеистых, а также клеток простой формы. У видов рода *Cedrus* кроме хорошо выраженных лопастей проекции ассимиляционных клеток часто отличаются небольшими округлыми зубцами, которые проявляются как на поперечных, так и радиальных сечениях хвои. В хлоренхиме хвои у всех видов выделяются клетки субгиподермального слоя, имеющие палисадообразные выступы, высота которых больше ширины у видов подрода *Pinus* в 1,2–1,8 раза, подрода *Strobus* – в 1,1–1,4 раза, а у представителей рода *Cedrus* – в 1,7–2,6 раза. Они почти перпендикулярны к листовой поверхности и создают аналогию палисадной ткани.

**Ключевые слова:** Pinaceae, *Pinus*, *Cedrus*, хвоя, складчатый мезофилл, трехмерные формы ассимиляционных клеток, структурная организация мезофилла

**Для цитирования:** Зверева Г. К. Сравнительное изучение складчатого мезофилла хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus* (Pinaceae) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 45–56. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-5

## A comparative study of the needle folded mesophyll in *Pinus* and *Cedrus* (Pinaceae) species

G.K. Zvereva

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia  
Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies  
of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

labsp@ngs.ru

**Abstract.** *Background.* The structure of the assimilatory tissue of the leaves at conifers studied mainly on cross-sections. The purpose of the study is to compare the features of the 3D forms of assimilative cells and the structure of the needle mesophyll in the species of the *Pinus* and *Cedrus* genera. *Materials and methods.* The structure of photosynthetic parenchyma was studied in two-year-old needles on shortened shoots by the example of 10 species of the genus *Pinus* (5 species of the subgenus *Pinus*, 5 species of the subgenus *Strobus*) and 3 species of the genus *Cedrus*. Leaf samples were fixed in mixture of Hammalunda. The spatial forms of assimilative cells and their mutual arrangement were investigated using a light microscope in the middle part of needles on transverse, paradermal and radial sections. *Results and conclusions.* The mesophyll of needles in species of the genera *Pinus* and *Cedrus* is mainly represented by folded cells, which for the most part differ in size and features of their spatial configuration. The longest assimilative cells of needles are characteristic of species of the genus *Cedrus*, and the shortest and thickest ones are characteristic of the subgenus *Strobus*. In the subgenus *Pinus*, the folded cells are generally flat; they have complex lobed shapes on the cross sections and elongated oval projections on the radial sections. In species of the subgenus *Strobus*, a significant part of the folded cells is thicker and more complex configurations, in which the lobed projections on cross sections are combined with different variants of cellular and semi-cellular forms in the longitudinal direction. Chlorenchyma of needles in species in the genus *Cedrus* consists mainly of flat folded cells with a small participation of folded-sinuate and folded-semi-cellular, as well as cells of a simple form. In the species of the genus *Cedrus*, in addition to well-pronounced lobes, projections of assimilation cells are often distinguished by small rounded teeth, which appear on both the transverse and radial sections of the needles. In the needles chlorenchyma at all species, cells of the subhypodermal layer are distinguished, having palisade-like protrusions, the height of which is more than width at species of the subgenus *Pinus* by 1.2–1.8 times, the subgenus *Strobus* by 1.1–1.4 times, and in representatives of the genus *Cedrus* – 1.7–2.6 times. They are almost perpendicular to the leaf surface and create an analogy of palisade tissue.

**Keywords:** Pinaceae, *Pinus*, *Cedrus*, needles, folded mesophyll, three-dimensional forms of assimilative cells, structural organization of mesophyll

**For citation:** Zvereva G.K. A comparative study of the needle folded mesophyll in *Pinus* and *Cedrus* (Pinaceae) species. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):45–56. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-5

### Введение

Для представителей рода *Pinus* характерно наличие в хвое складчатого мезофилла [1–3], при этом отмечается неодинаковая степень выраженности складчатости у разных видов [4]. Так, она хорошо проявляется в подроде *Pinus*, в подроде *Strobus* ассимиляционные клетки хвои кедровых сосен описывают как слегка или слабо складчатые [5–6], или же как не имеющие складчатого мезофилла [7].

В мезофилле хвои видов рода *Cedrus* изредка выделяют палисадную и губчатую ткани [8], но большинство исследователей характеризуют хлоренхиму как гомогенную, представленную складчатыми клетками [9, 10]. В некоторых работах отмечают, что клетки различаются по своим очертаниям в зависимости от их расположения. Например, выделяют слой палисадной паренхимы у гиподермы и внутреннюю зону, состоящую из округлых или имеющих лопастную форму клеток [11, 12]. Клетки субгиподермального слоя описывают так же, как подковообразные, плотно сомкнутые, так что они напоминают палисадную ткань плоского листа, а клетки второго ряда как более рыхло расположенные и имеющие выраженные лопастные контуры [7].

В пределах семейства Pinaceae наибольшую складчатость мезофилла хвои отмечают у видов подрода *Pinus* и рода *Cedrus* [7, 13]. На примере хвои сосен показано, что складки и лопасти увеличивают поверхность ассимиляционных клеток, способствуют усилению аэрации и уменьшению сопротивления к диффузии углекислого газа, тем самым усиливая интенсивность фотосинтеза [14, 15]. В то же время такие анатомические показатели, как характер оболочки ассимиляционных клеток, а также форма клеток субгиподермального слоя, выделяют как диагностические для этого семейства [12, 16].

Строение мезофилла рассматривалось преимущественно на поперечных сечениях хвои. Нами при более подробном рассмотрении мезофилла у видов подродов *Pinus* и *Strobus* показано, что двухвойные и пятихвойные сосны различаются по пространственной форме клеток и структуре ассимиляционной ткани [17]. Задачей данного исследования было сопоставление особенностей трехмерных форм складчатых клеток и структуры мезофилла хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus*.

### Материалы и методика

Пространственные формы ассимиляционных клеток и строение мезофилла рассматривались у двухлетней хвои на укороченных побегах *Pinus banksiana* Lamb., *P. mugo* Turra, *P. nigra* Arnold., *P. pallasiana* D. Don, *P. sylvestris* L. (род *Pinus* L., подрод *Pinus*), *P. flexilis* James, *P. koraiensis* Siebold et Zucc., *P. peuce* Griseb., *P. sibirica* Du Tour, *P. strobus* L. (род *Pinus*, подрод *Strobus*), а также *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Monetti ex Carriere, *C. libani* A. Rich. и *C. deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. (род *Cedrus* Trew.).

Хвоя отбиралась в нижней трети кроны у средневозрастных деревьев в июле – сентябре и фиксировалась в смеси Гаммалунда [18]. Образцы хвои *P. banksiana*, *P. mugo* и *P. koraiensis* были собраны в Ботаническом саду Поволжского государственного технологического университета, *P. nigra*, *P. flexilis*, *P. strobus* и *P. peuce* – в Ботаническом саду Самарского государственного университета, *P. pallasiana* – в окрестности г. Геленджика, *P. sibirica* – на Семинском перевале Центрального Алтая, *P. sylvestris* – в дендропарке пос. Краснообск Новосибирской области. Отбор проб хвои *Cedrus atlantica*, *C. libani* и *C. deodara* проводился в Крыму на территории Никитского ботанического сада.

Проанализировано по 15–20 хвоинок с трех-пяти деревьев каждого вида. Строение мезофилла изучалось под световым микроскопом в средней части хвои на поперечных, парадермальных и радиальных срезах. Размеры

анатомических структур определяли с помощью шкалы окуляр-микрометра в 30-кратной повторности. Среднюю величину и ошибку общей средней для показателей рода и подрода вычисляли исходя из нескольких частных средних для отдельных видов с их ошибками [19]. Измерение и сопоставление параметров ассимиляционных клеток в трех плоскостях дает возможность уточнить трехмерные размеры ассимиляционных клеток.

Для описания клеточных проекций использовали подходы, предложенные нами для хлоренхимы листьев злаков и хвойных [17, 20]. Конфигурации ассимиляционных клеток подразделялись на простые (имеющие прямые или слегка волнистые стенки) и сложные (с глубокой разветвленностью оболочек). Среди сложных форм выделяются лопастные, или складчатые (имеющие разнообразные выросты и складки оболочек), и ячеистые (состоящие из клеточных ячеек или секций, напоминающих палисадные клетки) [21, 22]. Лопастные очертания клеток проявляются на поперечных сечениях, а ячеистые контуры – на продольных срезах хвои. Складчатые клетки могут быть плоскими, если лопастные формы обнаруживаются только на поперечных сечениях хвои, и более усложненными, если сложные конфигурации имеются в двух или трех плоскостях.

Статистическая обработка количественных данных проведена общепринятыми методами [19, 23]. Различия между показателями определялись по критерию Стьюдента. В таблицах указаны средние значения и стандартные ошибки.

### Результаты исследования

У видов подрода *Pinus* в пучках размещается по 2 хвоинки, имеющие плосковыпуклое поперечное сечение, в подрode *Strobus* в пучке располагается 5 хвоинок трехгранной формы, а на укороченных побегах *Cedrus* хвоя 3–4-х гранная и собрана в пучки из 20–40 хвоинок [24–26].

Толщина эпидермы на поперечных срезах хвои в подрode *Pinus* колеблется в среднем от 18 до 35 мкм, у остальных растений она меньше и составляет в подрode *Strobus* 16–22 мкм, у видов *Cedrus* – 22–26 мкм. Устьица крупные и большей частью погруженные, длина их замыкающих клеток на парадермальных сечениях наибольшая в подрode *Pinus* – 61–76 мкм, более короткие они у видов подрода *Strobus* и рода *Cedrus* – 55–58 мкм и 47–53 мкм соответственно. Под эпидермой наблюдается развитие одного или нескольких слоев гиподермы, средняя толщина которой наиболее широко изменяется в подрode *Pinus* – от 9 до 44 мкм, у представителей подрода *Strobus* она составила 9–20 мкм, а у видов рода *Cedrus* – 26–29 мкм. Клетки эндодермы хорошо выражены, они окаймляют проводящий комплекс и вытянуты вдоль листа.

Между гиподермой и эндодермой расположен складчатый мезофилл, состоящий из клеток с разнообразными выростами и складками, которые просматриваются на поперечных срезах (рис. 1), при этом у клеток разных слоев можно выделить характерные особенности в рассеченности их оболочек. Так, в клетках хлоренхимы субгиподермального слоя отмечаются почти перпендикулярные к листовой поверхности палисадообразные выступы, создающие аналогию столбчатой ткани. У более крупных клеток, расположенных у эндодермы, складки шире и часто имеются обращенные к ней короткие



выступы. Ассимиляционные клетки промежуточных слоев нередко более округлые и имеют более равномерно развитые лопасти.

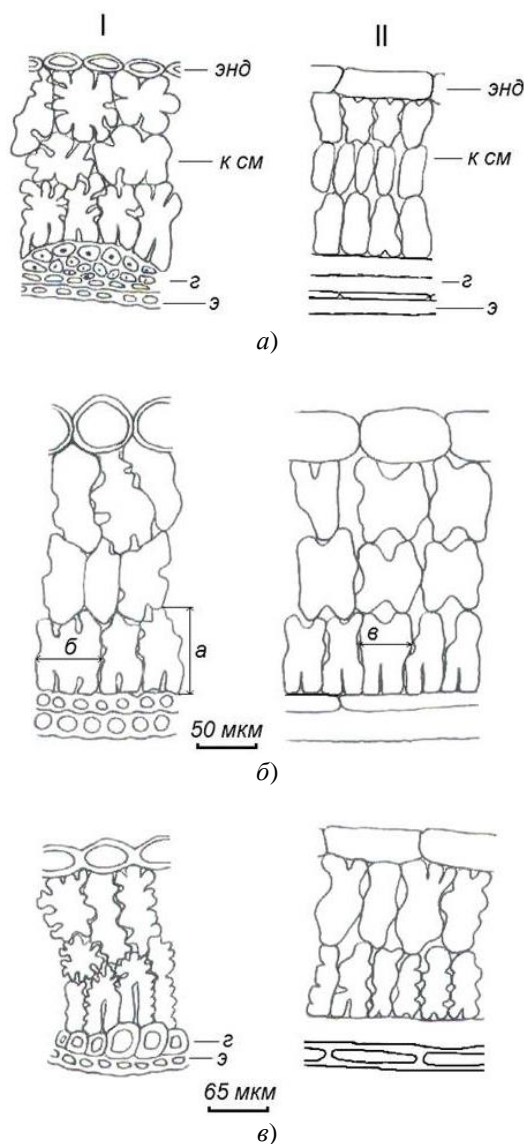


Рис. 1. Расположение и форма проекций ассимиляционных клеток на поперечных (I) и радиальных (II) срезах хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus*.

Вид: *a* – *Pinus banksiana*; *б* – *P. sibirica*; *в* – *Cedrus deodara*; *к см* – клетки складчатого мезофилла; *г* – гиподерма; *э* – эпидерма; *энд* – эндодерма.

Размеры клеток: *а* – высота; *б* – ширина; *в* – толщина

У рассматриваемых растений клетки субгиподермального слоя мезофилла хвои близки по ширине, но хорошо различаются по высоте, более длинные они у представителей рода *Cedrus*, а наиболее короткие – у видов подрода *Strobus* (табл. 1). Более вытянуты эти клетки у видов *Cedrus*, у которых высота больше ширины в 1,8–2,5 раза, у двухвойных сосен это отношение составляет 1,5–1,9 раза, а у пятихвойных сосен – 1,2–1,6 раза. Выделим,

что у видов *Cedrus* среди клеток первого ряда примерно около 10–15 % имеют простую продолговатую форму.

Таблица 1  
Размеры клеток мезофилла хвой и достоверность их различий  
у видов родов *Pinus* и *Cedrus*, мкм

Таксон	Размеры клеток хлоренхимы		
	Высота	Ширина	Толщина
Первый ряд у гиподермы			
Подрод <i>Pinus</i> ( <i>a</i> )	64,7 ± 1,18 ( <i>б***; в**</i> )	39,8 ± 1,04	22,8 ± 0,43 ( <i>б***; в**</i> )
Подрод <i>Strobus</i> ( <i>б</i> )	53,2 ± 1,16 ( <i>а***; в***</i> )	40,5 ± 1,17	30,8 ± 1,09 ( <i>а***</i> )
Род <i>Cedrus</i> ( <i>в</i> )	80,7 ± 2,51 ( <i>а**; б***</i> )	38,3 ± 1,47	28,9 ± 1,02 ( <i>а**</i> )
Первый ряд у эндодермы			
Подрод <i>Pinus</i> ( <i>a</i> )	76,7 ± 2,24 ( <i>в**</i> )	50,4 ± 1,50 ( <i>в*</i> )	31,7 ± 0,53 ( <i>б***; в**</i> )
Подрод <i>Strobus</i> ( <i>б</i> )	70,3 ± 2,01 ( <i>в***</i> )	53,5 ± 1,37 ( <i>в**</i> )	44,5 ± 1,58 ( <i>а***; в**</i> )
Род <i>Cedrus</i> ( <i>в</i> )	89,5 ± 2,42 ( <i>а**; б***</i> )	45,0 ± 1,48 ( <i>а*; б**</i> )	36,4 ± 1,03 ( <i>а**; б**</i> )

**Примечание.** Высота и ширина измерялись на поперечных срезах, толщина – на радиальных срезах. В скобках показаны достоверные различия между показателями при: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; *a* – подрод *Pinus*, *б* – подрод *Strobus*, *в* – род *Cedrus*.

У всех рассматриваемых видов в субгиподермальных складчатых клетках хорошо выражены палисадообразные выступы. Так, в подроде *Pinus*, а также у *P. sibirica* и *P. koraiensis* (подрод *Strobus*, подсекция *Cembrae*) преимущественно 2–3, иногда 4 таких выступа, у видов подрода *Strobus* подсекции *Strobi* достаточно часто встречаются клетки, у которых 4–5 и даже 6 выступов. Большинство складчатых клеток в подроде *Cedrus* имеют 2 таких выроста, значительно реже их 3 и единично 4. Наиболее длинные выступы характерны для рода *Cedrus*, а более короткие – для подрода *Strobus*, их длина превосходит ширину у представителей подрода *Pinus* в 1,2–1,8 раза, у видов подрода *Strobus* – в 1,1–1,4 раза, а у видов рода *Cedrus* – в 1,7–2,6 раза (табл. 2). Глубина рассечения этих клеток в подроде *Pinus* в среднем составляет 31–37 % от их высоты, в подроде *Strobus* – 23–34 %, а у видов *Cedrus* – 44–49 %, при этом у отдельных клеток *C. libani* и *C. deodara* она достигает 56–58 %, а у *C. atlantica* – до 73 %.

Складчатая структура верхней части субгиподермальных клеток в среднем сильнее выражена у двухвойных сосен. Отметим, что на поперечных сечениях хвой кедров, кроме отчетливо выраженных лопастей, проекции клеток часто выделяются городчатыми краями с небольшими округлыми зубцами. У субгиподермальных клеток это проявляется в верхней части и на

внешней стороне палисадообразных выростов, в клетках внутренних слоев нередко сочетание крупных лопастных выступов и мелкобугорчатой гофрированной поверхности.

Таблица 2  
Рассеченность клеток мезофилла хвой на поперечных срезах  
у видов родов *Pinus* и *Cedrus*, мкм

Таксон	Клетки первого ряда у гиподермы		Клетки первого ряда у эндодермы	
	Глубина рассечения у гиподермы	Ширина выступов у гиподермы	Глубина рассечения у эндодермы	Ширина выступов у эндодермы
Подрод <i>Pinus</i> ( <i>a</i> )	23,7 ± 0,45 ( <i>b</i> ***; <i>e</i> ***)	16,6 ± 0,35 ( <i>b</i> ***; <i>e</i> **)	14,4 ± 0,44 ( <i>b</i> ***)	18,3 ± 0,57
Подрод <i>Strobus</i> ( <i>b</i> )	16,6 ± 0,28 ( <i>a</i> ***; <i>e</i> ***)	13,9 ± 0,27 ( <i>a</i> ***; <i>e</i> ***)	10,8 ± 0,53 ( <i>a</i> ***; <i>e</i> **)	16,6 ± 0,46
Род <i>Cedrus</i> ( <i>e</i> )	38,0 ± 1,03 ( <i>a</i> ***; <i>b</i> ***)	18,9 ± 0,44 ( <i>a</i> **; <i>b</i> ***)	13,6 ± 0,50 ( <i>b</i> **)	17,7 ± 1,08

**Примечание.** Обозначения см. табл. 1.

Клетки, опирающиеся на эндодерму, представлены как простыми, так и сложными лопастными и губчато-лопастными формами, их высота больше ширины в 1,3–2,0 раза. Со стороны эндодермы у них часто наблюдается 1–3 небольшие складки, глубина которых составляет 11–23 %.

Клетки мезофилла на радиальных сечениях хвой в подроде *Pinus* в подавляющем большинстве имеют простые вытянутые в виде овалов или прямоугольников формы, единично встречаются более широкие проекции с небольшой выемкой (выемчатые) или с узкой складкой (полуячеистые) на одном конце. У пятихвойных сосен проекции ассимиляционных клеток более разнообразны – от выемчатых и двояко-выемчатых до полуячеистых и ячеистых конфигураций с хорошо выраженными двумя секциями, изредка наблюдаются проекции с тремя выступами на одной из узких сторон. У кедров при преобладании овально-прямоугольных форм достаточно часто наблюдается чередование простых, выемчатых и полуячеистых проекций в одном ряду, сложные ячеистые формы с двумя звеньями единичны и отмечены лишь у *Cedrus libani*. У всех рассматриваемых видов рода *Cedrus* часть проекций отличается мелкобугорчатыми внешними краями, чаще это встречается у субгиподермальных клеток.

Глубина продольной складки в полуячеистых проекциях под гиподермой у мягких сосен составляет 24–32 % от их высоты, у кедров – 19–23 %, достигая у отдельных клеток до 39–40 % (табл. 3). Ассимиляционные клетки у эндодермы более толстые, чем расположенные у гиподермы, при этом наиболее тонкие они у видов подрода *Pinus*.

На радиальных срезах проявляется слоистость мезофилла и система межклетников, вытянутые формы проекций соприкасаются друг с другом короткими концами и протягиваются цепочками от эндодермы к эпидерме. Более всего параллельность этих рядов выражена у двухвойных сосен,

у видов подрода *Strobus* сочетание простых, выемчатых и ячеистых форм создает своеобразный ажурный рисунок, у кедров клетки в основном представлены вытянутыми овалами, лишь небольшая часть клеточных проекций отличается более крупными выемчатыми, двояковыемчатыми или слабоячеистыми конфигурациями.

Таблица 3  
Рассеченность клеток субгиподермального слоя мезофилла на радиальных срезах хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus*, мкм

Таксон	Форма проекций	Размеры складок у гиподермы	
		Глубина рассечения	Ширина выступов
Подрод <i>Strobus</i> (а)	Полуячеистая, ячеистая	$15,0 \pm 0,44$	$14,1 \pm 0,20$ (б***)
Род <i>Cedrus</i> (б)	Полуячеистая	$17,3 \pm 0,96$	$17,2 \pm 0,47$ (а***)

**Примечание.** Обозначения см. табл. 1.

На парадермальных сечениях хвои видны контуры палисадообразных выступов клеток первого ряда, они отличаются округлыми, изодиаметрическими или овальными очертаниями.

При сравнительно-анатомическом изучении листьев растений семейства *Pinaceae* было показано большое сходство видов *Cedrus* с представителями подрода *Strobus* рода *Pinus* и с видами рода *Picea* [16]. В нашем случае по толщине эпидермы и длине замыкающих клеток устьиц виды *Cedrus* также были более близки к подроду *Strobus*, в то же время пространственная организация мезофилла хвои у *Cedrus* в большей степени напоминает таковую для двухвойных сосен, но при этом можно выделить ряд отличий. Так, хлоренхима хвои сосен состоит только из складчатых клеток, в мезофилле кедров можно выделить еще небольшую часть клеток простой формы. У кедров складчатые клетки субгиподермального слоя в своем большинстве имеют 2 палисадообразных выступа, а у сосен их 2–3. Глубина рассечения этих клеток складками у видов *Cedrus* в среднем больше по сравнению с видами подрода *Pinus*. У кедров клеточные проекции в радиальном направлении более разнообразны, что приводит к уменьшению строгой слоистости мезофилла вдоль хвоинки, весьма характерной для двухвойных сосен, это несколько сближает их с видами подрода *Strobus*. Кроме того, в ассимиляционных клетках *Cedrus* наблюдается сочетание отчетливо выраженных лопасти с мелкобугорчатой поверхностью, последняя проявляется как на поперечных, так и на радиальных сечениях хвои.

### Заключение

Мезофилл хвои у видов родов *Pinus* и *Cedrus* представлен складчатой паренхимой, состоящей из радиально расположенных вокруг эндодермы складчатых клеток, которые в своем большинстве различаются по размерам и особенностям пространственных конфигураций.

Наиболее длинные ассимиляционные клетки хвои характерны для представителей рода *Cedrus*, а наиболее короткие и утолщенные – для подрода *Strobus*.

Мезофилл хвои у видов подрода *Pinus* состоит в основном из плоских складчатых клеток, в подрode *Strobus* менее выраженная складчатость на поперечных срезах часто сочетается с разной степенью рассечения клеток преимущественно на 2 секции в радиальном направлении. Фотосинтетическая ткань у видов *Cedrus* представлена в основном плоскими складчатыми клетками, которые часто выделяются еще и мелкобугорчатой поверхностью, при небольшом участии клеток простой формы, а также с выемкой или складкой в продольном направлении. У всех видов клетки субгиподермального слоя имеют палисадообразные выступы, почти перпендикулярные к листовой поверхности и создающие аналогию палисадной ткани, их высота превышает ширину в 1,1–2,6 раза, при этом наибольшая рассеченность клеток характерна для рода *Cedrus*, а наименьшая – для подрода *Strobus*.

### Список литературы

1. Сурож И. О. О влиянии света на строение листьев // Труды общества естествоиспытателей. СПб., 1892. С. 18–45.
2. Крашенинников Ф. Н. Лекции по анатомии растений. М. ; Л. : Государственное изд-во биологической и медицинской литературы, 1937. 446 с.
3. Эзау К. Анатомия семенных растений : в 2 кн. Кн. 2. М. : Мир, 1980. 558 с.
4. Sutherland M. A microscopical study of the structure of the leaves of the genus *Pinus* // Transactions and Proceedings of the Royal Society of New Zealand. 1934. Vol. 63. P. 517–568.
5. Тонкоштан Л. А. Анатомическое строение хвои основных древесных пород Красноярского края // Труды Института леса и древесины АН СССР. 1963. Т. 65. С. 118–127.
6. Нестерович Н. Д., Дерюгина Т. Ф., Лучков А. И. Структурные особенности листьев хвойных. Минск : Наука и техника, 1986. 143 с.
7. Еремин В. М., Зеркаль С. В. Сравнительная анатомия листа сосновых. Брест : Изд-во БрГУ, 2002. 182 с.
8. Bercu R., Broasca L., Popoviciu R. Comparative anatomical study of some gymnospermae species leaves // Botanica Serbica. 2010. Vol. 34, № 1. P. 21–28.
9. Dwight A. I. The short shoots of gymnosperms // University of Massachusetts Amherst. Masters Theses 1911–1936. 2014. February. 97 p.
10. Çavuşoğlu K., Kiliç S., Kiliç M. Effects of lead (Pb) pollution caused by vehicles on the anatomy of pine (*Pinus nigra* Arn. *subsp. pallasiana*) and cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) leaves // Biological Diversity and Conservation. 2009. Vol. 2, № 3. P. 92–98.
11. Bhatnagar S. P., Moitra A. Gymnosperms. New Delhi : New Age International Publishers, 1996. 470 p.
12. Еремин В. М., Чавчавадзе Е. С. Анатомия вегетативных органов сосновых (Pinaceae Lindl.). Брест : Полиграфика, 2015. 691 с.
13. Джапаридзе Л. И. Об анатомической связи хвои со смолоносной системой древесины *Pinus* sp. // Доклады АН СССР. 1937. Т. 15, № 2. С. 101–104.
14. Harris W. M. Ultrastructural observations on the mesophyll cells of pine leaves // Canadian Journal of Botany. 1971. Vol. 49, № 7. P. 1107–1109.
15. Wiebe H. N., Al-Saadi H. A. The role of invaginations in armed mesophyll cells of pine needles // New Phytologist. 1976. Vol. 77, № 3. P. 773–775.
16. Зеркаль С. В. Сравнительная анатомия листа сосновых (Pinaceae Lindl.) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск : Ин-т экспериментальной ботаники НАН Беларуси, 2000. 22 с.
17. Зверева Г. К. Структурная организация мезофилла хвои у видов рода *Pinus* (Pinaceae) // Ботанический журнал. 2014. Т. 99, № 10. С. 1101–1109.

18. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев : Наукова думка, 1973. 591 с.
19. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1980. 294 с.
20. Зверева Г. К. Пространственная организация мезофилла листовых пластинок фестоукоидных злаков (*Poaceae*) и ее экологическое значение // Ботанический журнал. 2009. Т. 94, № 8. С. 1204–1215.
21. Березина О. В., Корчагин Ю. Ю. К методике оценки мезоструктуры листа видов рода *Triticum* (*Poaceae*) в связи с особенностями строения его хлорофиллоносных клеток // Ботанический журнал. 1987. Т. 72, № 4. С. 535–541.
22. Иванова Л. А., Пьянков В. И. Влияние экологических факторов на структурные показатели мезофилла листа // Ботанический журнал. 2002. Т. 87, № 12. С. 17–28.
23. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л. : Изд-во Ленинградского ун-та, 1984. 288 с.
24. Забелин И. А. Деревья и кустарники арборетума Никитского ботанического сада. Голосеменные // Труды Государственного Никитского ботанического сада. 1939. Т. 22, вып. 1. С. 35–178.
25. Белосельская З. Г., Васильев Я. Я., Ванин С. И. [и др.]. Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. I. Голосеменные / под ред. С. Я. Соколова, В. К. Шишкина. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1949. 463 с.
26. Чавчавадзе Е. С., Яценко-Хмелевский А. А. Семейство сосновые (*Pinaceae*) // Жизнь растений : в 6 т. М. : Просвещение, 1978. Т. 4. С. 350–374.

#### References

1. Surozh I.O. On the effect of light on the structure of leaves. *Trudy obshchestva estestvoispytateley = Proceedings of the society of natural scientists*. Saint Petersburg, 1892:18–45. (In Russ.)
2. Krasheninnikov F.N. *Lektsii po anatomii rasteniy = Lectures on plant anatomy*. Moscow; Leningrad: Gosudarstvennoe izd-vo biologicheskoy i meditsinskoy literatury, 1937:446. (In Russ.)
3. Ezau K. *Anatomiya semennykh rasteniy: v 2 kn. Kn. 2 = Seed plant anatomy: in 2 books. Book 2*. Moscow: Mir, 1980:558. (In Russ.)
4. Sutherland M. A microscopical study of the structure of the leaves of the genus *Pinus*. *Transactions and Proceedings of the Royal Society of New Zealand*. 1934;63:517–568.
5. Tonkoshtan L.A. The anatomical structure of the needles of the main tree species of the Krasnoyarsk Krai. *Trudy Instituta lesa i drevesiny AN SSSR = Proceedings of the Forest and Timber Institute of the Academy of Sciences of the USSR*. 1963;65:118–127. (In Russ.)
6. Nesterovich N.D., Deryugina T.F., Luchkov A.I. *Strukturnye osobennosti list'ev khvoynykh = Structural features of coniferous leaves*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1986: 143. (In Russ.)
7. Eremin V.M., Zerkal' S.V. *Sravnitel'naya anatomiya lista sosnovykh = Comparative anatomy of a pine leaf*. Brest: Izd-vo BrGU, 2002:182. (In Russ.)
8. Bercu R., Broasca L., Popoviciu R. Comparative anatomical study of some gymnospermae species leaves. *Botanica Serbica*. 2010;34(1):21–28.
9. Dwight A.I. The short shoots of gymnosperms. *University of Massachusetts Amherst. Masters Theses 1911–1936*. 2014;February:97.
10. Çavuşoğlu K., Kiliç S., Kiliç M. Effects of lead (Pb) pollution caused by vehicles on the anatomy of pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana*) and cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) leaves. *Biological Diversity and Conservation*. 2009;2(3):92–98.
11. Bhatnagar S.P., Moitra A. *Gymnosperms*. New Delhi: New Age International Publishers, 1996:470.

12. Eremin V.M., Chavchavadze E.S. *Anatomiya vegetativnykh organov sosnovykh (Pinaceae Lindl.) = Anatomy of vegetative organs of pine (Pinaceae Lindl.)*. Brest: Poligrafika, 2015:691. (In Russ.)
13. Dzhaparidze L.I. On the anatomical connection of needles with the stoloniferous system of wood *Pinus* sp. *Doklady AN SSSR = Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. 1937;15(2):101–104. (In Russ.)
14. Harris W.M. Ultrastructural observations on the mesophyll cells of pine leaves. *Canadian Journal of Botany*. 1971;49(7):1107–1109.
15. Wiebe H.H., Al-Saadi H.A. The role of invaginations in armed mesophyll cells of pine needles. *New Phytologist*. 1976;77(3):773–775.
16. Zerkal' S.V. Comparative anatomy of a pine leaf (Pinaceae Lindl.). PhD abstract. Minsk: In-t eksperimental'noy botaniki NAN Belarusi, 2000:22. (In Russ.)
17. Zvereva G.K. Structural organization of needle mesophyll in species of *Pinus* (Pinaceae). *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 2014;99(10):1101–1109. (In Russ.)
18. Grodzinskiy A.M., Grodzinskiy D.M. *Kratkiy spravochnik po fiziologii rasteniy = A reference guide on plant physiology*. Kiev: Naukova dumka, 1973:591.
19. Lakin G.F. *Biometriya = Biometrics*. Moscow: Vyssh. shk., 1980:294. (In Russ.)
20. Zvereva G.K. Spatial organization of the mesophyll of leaf blades of festucoid grasses (Poaceae) and its ecological significance. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 2009;94(8):1204–1215. (In Russ.)
21. Berezina O.V., Korchagin Yu.Yu. On the method for assessing the mesostructure of the leaf of species *Triticum* (Poaceae) species in connection with the structural features of its chlorophyll-bearing cells. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1987;72(4):535–541. (In Russ.)
22. Ivanova L.A., P'yankov V.I. Effect of environmental factors on the structural parameters of the leaf mesophyll. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 2002;87(12):17–28. (In Russ.)
23. Shmidt V.M. *Matematicheskie metody v botanike = Mathematical methods in botany*. Leningrad: Izd-vo Leningradskogo un-ta, 1984:288. (In Russ.)
24. Zabelin I.A. Trees and shrubs of the Arboretum of the Nikitsky Botanical Garden. Gymnosperms. *Trudy Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada = Proceedings of Nikitsky State Botanical Garden*. 1939;22(1):35–178. (In Russ.)
25. Belosel'skaya Z.G., Vasil'ev Ya.Ya., Vanin S.I. [et al.]. *Derev'ya i kustarniki SSSR. Dikorastushchie, kul'tiviruemye i perspektivnye dlya introduktsii. I. Golosemennye = Trees and shrubs of the USSR. Wild, cultivated and promising for introduction. I. Gymnosperms*. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1949:463. (In Russ.)
26. Chavchavadze E.S., Yatsenko-Khmelevskiy A.A. Pine family (Pinaceae). *Zhizn' rasteniy: v 6 t. = The life of plants: in 6 volumes*. Moscow: Prosveshchenie, 1978;4:350–374. (In Russ.)

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

##### **Галина Кимовна Зверева**

доктор биологических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры биологии и экологии, Новосибирский государственный педагогический университет (Россия, г. Новосибирск, ул. Виллюйская, 28); главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий Российской академии наук (Россия, Новосибирская область, р. п. Краснообск, ул. Центральная, 2 Б)

E-mail: labsp@ngs.ru

##### **Galina K. Zvereva**

Doctor of biological sciences, senior researcher, professor of the sub-department of biology and ecology, Novosibirsk State Pedagogical University (28 Viluiskaya street, Novosibirsk, Russia); main researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences (2B Tsentralnaya street, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 17.08.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 08.11.2021**

**Принята к публикации / Accepted 24.11.2021**



УДК 581.8

doi:10.21685/2307-9150-2021-4-6

## Структурная организация корней *Petasites spurius* (Retz.) Rchb. в связи с приспособленностью к условиям переменного обводнения

М. Н. Шаклеина<sup>1</sup>, Н. П. Савиных<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Вятский государственный университет, Киров, Россия

<sup>1</sup>mariyashakleina@mail.ru, <sup>2</sup>savva\_09@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Виды, произрастающие на пляжах, – интересный объект исследования. Один из них, образующий здесь многочисленные популяции, – *Petasites spurius*. Ранее мы описали особенности внутренней организации его стебля. Цель данной работы – выявление структурной организации и внутреннего строения кладогенных корней *P. spurius* для дополнения спектра адаптаций вида к условиям биотопа. *Материалы и методы.* Объектом исследования послужила корневая система вида в разных участках побега. Анатомо-морфологические исследования проводили согласно общепринятым методикам. *Результаты.* Вторично-гоморизная корневая система *P. spurius* представлена разными типами придаточных корней на разных участках побега. На вертикальном геофильном участке побега они не дифференцированы и рано отмирают. В зоне ассимилирующих листьев преобладают питающие корни, а число скелетных незначительно. На горизонтальном геофильном участке соотношение типов корней меняется. У метамеров, расположенных вблизи апикальной почки, корни недифференцированы. В анатомическом строении корней проявляются незначительные вторичные изменения центрального цилиндра в виде образования отдельных сосудов вторичной ксилемы. Основные функции корней *P. spurius* – запас питательных веществ в коровой паренхиме и воздуха за счет образования крупных межклетников. *Выводы.* На организменном уровне основными адаптациями *P. spurius* стали: дифференциация корней на питающие (в ассимилирующей части побега в основном с питающей функцией) и шнуровидные (на геофильной части в основном с закрепляющей и запасающей функциями); укоренение побега вслед за нарастанием. На тканевом уровне – сохранение первичной стелы при незначительных вторичных изменениях проводящих тканей. Основные механизмы этих преобразований: базальная аббревиация в ограничении формирования ксилемы и терминальная пролонгация при возникновении схизогенных полостей аэренхимы.

**Ключевые слова:** *Petasites spurius* (Retz.) Rchb., морфология и анатомия корня, адаптации на уровне органа и ткани

**Для цитирования:** Шаклеина М. Н., Савиных Н. П. Структурная организация корней *Petasites spurius* (Retz.) Rchb. в связи с приспособленностью к условиям переменного обводнения // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 57–66. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-6

## A structural organization of the *Petasites spurius* (Retz.) Rchb. Roots in connection with adaptability to the conditions of variable watering

M.N. Shakleina<sup>1</sup>, N.P. Savinykh<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia

<sup>1</sup>mariyashakleina@mail.ru, <sup>2</sup>savva\_09@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The species native to the beaches are interesting subject of research. One of them, which forms numerous populations here, is *Petasites spurius*. Earlier, we

described the features of the internal organization of its stem. The purpose of this work is to reveal the structural organization and internal structure of the cladogenous roots of *P. spurius* in order to supplement the spectrum of species' adaptations to the biotope conditions. *Materials and methods.* The object of the study is the root system of the species in different parts of the shoot. Anatomical and morphological studies were carried out according to generally accepted methods. *Results.* The secondary homorrhizal root system of *P. spurius* is represented by different types of adventitious roots in different parts of the shoot. On the vertical geophilic section of the shoot, they are not differentiated and die off early. In the zone of assimilating leaves, feeding roots predominate, and the number of skeletal roots is insignificant. In a horizontal geophilic area, the ratio of root types changes. In metameres located near the apical bud, the roots are undifferentiated. In the anatomical structure of the roots, minor secondary changes in the central cylinder appear in the form of the formation of individual vessels of the secondary xylem. The main functions of the roots of *P. spurius* are the supply of nutrients in the crustal parenchyma, and air due to the formation of large intercellular spaces. *Conclusions.* At the organismic level, the main adaptations were: differentiation of roots into feeding (in the assimilating part of the shoot, mainly with a feeding function) and skeletal (on the geophilic part, mainly with anchoring and storing functions); rooting of the shoot following the growth. At the tissue level the preservation of the primary stele with minor secondary changes in the conductive tissues. The main mechanisms of these transformations are: basal abbreviation in limiting the formation of xylem and terminal prolongation in the event of schizogenetic aerenchyma cavities.

**Keywords:** *Petasites spurius* (Retz.) Rchb., morphology and anatomy root, adaptations at organ and tissue level

**For citation:** Shakleina M.N., Savinykh N.P. A structural organization of the *Petasites spurius* (Retz.) Rchb. Roots in connection with adaptability to the conditions of variable watering. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):57–66. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-6

## Введение

Познание механизмов формирования адаптаций организмов к условиям среды, в том числе – к сохранению целостности и автономности особей, является одной из фундаментальных проблем биологии. Взаимосвязь и взаимодействие структур в целостных организмах у растений обеспечивают осевые органы – корень и побег [1]. Наряду с другими особенностями, адаптации на тканевом и клеточном уровнях определяют приспособленность вида в целом [2]. В последнее время эти вопросы все чаще изучаются у растений из условий переменного обводнения [3, 4], когда степень увлажнения значительно отличается с весны до осени. Для успешного существования здесь особи должны обладать признаками представителей разных экологических групп: от гидрофитов до ксерофитов.

В виде многочисленных популяций на пляжах и прибрежьях встречается *Petasites spurius* (Retz.) Rchb. – белокопытник ложный. Ранее описаны особенности его габитуса [5] и внутреннего строения стебля [6]. В геофильном его участке, как у многих гидрофитов, развита аэренхима, а в центральном цилиндре конутри от проводящих пучков – волокна склеренхимы. Последние возникают из-за особенностей дифференциации внутренних участков прокамбиального тяжа на начальных этапах заложения постоянных тканей. Из клеток прокамбия в данном случае формируются не только сосуды протоксилемы, как у мезофитов, но и механические элементы этой сложной ткани (склеренхимные волокна); эти две ткани пространственно разъединены.

Возникающее в результате дополнительное укрепление внутренних частей стебля препятствует его разрыву, обеспечивает целостность органа, что особенно целесообразно в условиях полного подтопления и высоких скоростей течения воды в половодье, а при отступлении ее – в полосе приобья. В надземной части этого же побега отмечены черты ксерофитов: опушение стебля и слой субэпидермальной склеренхимы; центральная полость такая, как у многих мезофитов.

Корневая система *P. spurius* с этих позиций не изучена. Новые данные расширят представления об адаптации вида к условиям переменного обводнения. В связи с этим цель данного исследования – выявление особенностей структурной организации и внутреннего строения кладогенных корней *P. spurius* для выяснения его приспособленности к условиям биотопа за счет корневой системы.

### Материалы и методы

*Petasites spurius* – евро-западносибирский умеренный [7], бореально-субмеридиональный [8] вид; поликарпик, летнезеленый травянистый малолетник вегетативного происхождения с удлиненным геофильным участком и придаточными стеблеродными корнями (далее – корни), геофит [5]. Встречается во влажных местах с рыхлой песчаной или каменистой почвой: по берегам озер, рек, ручьев; в окрестностях болот и сырых оврагов [7]; также отмечен на заливаемых песчаных отмелях, галечниках [9], прирусловых валах, иногда прямо в воде на мелководьях; редко на сухих приморских лугах, насыпях железных дорог [10].

При выполнении работы изучили строение корней на разном удалении их от верхушки побега в течение вегетационных сезонов 2016 и 2018–2019 гг. Для этого на песчаном пляже правого берега р. Вятка в окрестностях д. Назаровы Орловского района Кировской области и г. Кирова выкапывали целостные особи *P. spurius*. В лаборатории безопасной бритвой делали поперечные срезы корней на всем их протяжении. Выполнили сравнительный анализ их внутреннего строения у разных метамеров побега по общепринятым методикам [11].

Для лучшего микроскопирования проводили окрашивание по методу Мейле и при помощи флорглоуциновой реакции [12]. Срезы анализировали, используя микроскопы Motic BA300 со встроенным видеоокуляр и Levenhuk D870 T с фотокамерой Levenhuk D800T 8M. Необходимые размеры тканей и клеток определяли с использованием программного обеспечения, разработанного научным сотрудником лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН, кандидатом технических наук Г. Я. Кантором. Вычисление средних значений параметров структур и отклонение от среднего проводили в программе Excel 2013.

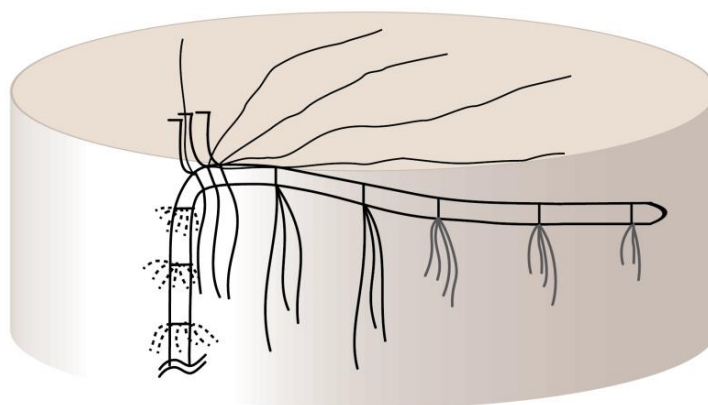
### Результаты и обсуждение

Монокарпический побег *P. spurius* длиной от 50 до 358 ( $232 \pm 100$ ) см, анизотропный трициклический (с учетом фазы почки) полурозеточный: в фазе вегетативного ассимилирующего побега – верхнерозеточный, во время цветения – со средней розеткой из 17–30 ( $20 \pm 8$ ) метамеров. Он дважды

изменяет направление роста: сразу после формирования розеточного участка с листьями срединной формации в результате погружения верхушки в грунт и формирования второго геофильного участка, а также при втором выходе на поверхность во время цветения и плодоношения следующей весной [5]. Имеет вторично-гоморизную корневую систему из узловых корней. На разных участках побега *P. spurius* отмечены разные типы придаточных корней, отличающиеся морфологическим строением. На вертикальном геофильном участке побега они не дифференцированы, рано отмирают (рис. 1).



а)



- ..... 1
- 2
- 3
- 4

б)

Рис. 1. Строение корневой системы *Petasites spurius*: а – фото; б – схема;  
1 – отмирающие корни; 2 – питающие корни; 3 – скелетные корни;  
4 – недифференцированные корни; ПК – питающие корни

В зоне ассимилирующих листьев корни подразделяются на два типа: надузловые и подузловые. Надузловые – питающие (рис. 1) – тонкие нитевидные, располагаются параллельно поверхности субстрата, длиной 70–110 (150) см; боковые корни у них в большом количестве распределены равномерно по всей длине; по-видимому, их основная функция – всасывающая. Подузловые (скелетные) корни толстые, шнуровидные, направлены

вглубь субстрата; длиной от 49 до 70 см; диаметр одного корня изменяется в пределах от 0,1–0,2 см у верхушки до 1–1,2 см в средней части; боковые корни сосредоточены в среднем и базальном участке (рис. 1). Данный тип корней служит для закрепления побега в субстрате и запаса питательных веществ. В зоне ассимилирующих листьев преобладают питающие корни (7–8 шт. на узел), в то время как скелетных 3–4 шт. (рис. 1). На горизонтальном геофильном участке побега и далее до метамеров, расположенных у апикальной почки, преобладают скелетные корни, питающих – два–три, при общем количестве 8–10 шт. (рис. 1). В узлах трех–четырех метамеров, расположенных в непосредственной близости от верхушечной почки, корни недифференцированные образуются вслед за нарастанием побега. Они разные по строению: у первого метамера – длиной от 1,3 до 4,5 см, без боковых корней (рис. 1); у второго–четвертого длина корней увеличивается до 9,1–17,9 см и 13–26 см соответственно (рис. 1).

По-видимому, подобная дифференциация придаточных корней является адаптивным признаком: питающие корни формируются на облиственном участке побега и обеспечивают лучшее снабжение растения водой, необходимой для фотосинтеза; скелетные – раннее укоренение, дополнительное закрепление растения в субстрате и запас питательных веществ для формирования будущего соцветия, цветения и плодоношения особи.

В анатомическом строении корня *P. spurius* (рис. 2,а) хорошо дифференцированы основные гистолого-топографические зоны. Наиболее специфично по сравнению с мезофитами строение шнуровидных корней. Диаметр их больше, чем у нитевидных. В зоне всасывания корень покрыт однослойной эпиблемой с двумя клеточными популяциями: типичными атрихобластами размером от 32–55 ( $40,9 \pm 6,9$ ) до 23–45 ( $29,0 \pm 6,3$ ) мкм и трихобластами (рис. 2,б). Волоски последних спутаны, из-за чего определить их точные размеры не представилось возможным.

Первичная кора размером 350–400 мкм сложена мелкими рыхло расположенными паренхимными клетками. Диаметр центрального цилиндра – 250–300 мкм. Эндодерма состоит из клеток округлой формы без утолщенных клеточных стенок, плотно сомкнутых между собой (рис. 2,а,с). Она, как и перицикл, имеет неоднородное строение, из-за развития схизогенных вместилищ выделений (рис. 2,а,с). Наличие подобных структур в корне отмечено также у представителей семейств *Ariaceae* Lindl. и *Araliaceae* Juss. [13].

В зоне проведения покровная ткань представлена однослойной ризодермой, состоящей из мелких округлых плотно сомкнутых клеток с незначительными утолщениями клеточных стенок и не имеющих корневых волосков (рис. 2,а). Их диаметр – 50–54 мкм. Ближе к базальной части корня на его поверхности появляются складки, в результате чего на поперечном срезе его поверхность становится извилистой. Глубина этих складок больше в молодой части корня, прилежащей к зоне роста, где основание их почти достигает стелы (рис. 2,и). У базальных участков, видимо, за счет развития паренхимы коры они становятся мельче, а очертания корня на срезе становятся менее извилистыми. Наличие подобных образований способствует увеличению диаметра корня примерно в 1,5 раза (от 1100 до 1600 мкм) и обеспечивает целостность корня. Первичная кора дифференцирована на две зоны – наружную и внутреннюю. Наружная – образована округлыми рыхло расположенными клетками с диаметром от 25 до 46 ( $35,8 \pm 7,7$ ) мкм. В них изредка отмечены

зерна крахмала (рис. 2,а). Внутренняя включает достаточно крупные рексигенные полости размером от 230–860 ( $442 \pm 243$ ) до 200–660 ( $347 \pm 163$ ) мкм (рис. 2,а,д). Межклетники отграничены друг от друга одним-двумя слоями паренхимных клеток, которые в дальнейшем также способны разрушаться. Глубинные слои вторичной коры образованы некрупными округлыми плотно расположенными клетками эндодермы. Центральный цилиндр с практически неизменным диаметром (300–350 мкм) представлен радиальным проводящим пучком, отличающимся от такового в зоне всасывания. Он образован сохранившимися элементами первичной ксилемы диаметром то 18 до 23 ( $20,4 \pm 1,3$ ) мкм (рис. 2,с) и не выходящими за ее пределы коллатеральными проводящими пучками. В них сохраняется первичная флоэма из ситовидных трубок с простыми ситовидными полями, клеток спутниц, лубяной паренхимы и имеются отдельные сосуды вторичной ксилемы диаметром от 39 до 60 ( $49,2 \pm 7,2$ ) мкм (рис. 2,с).

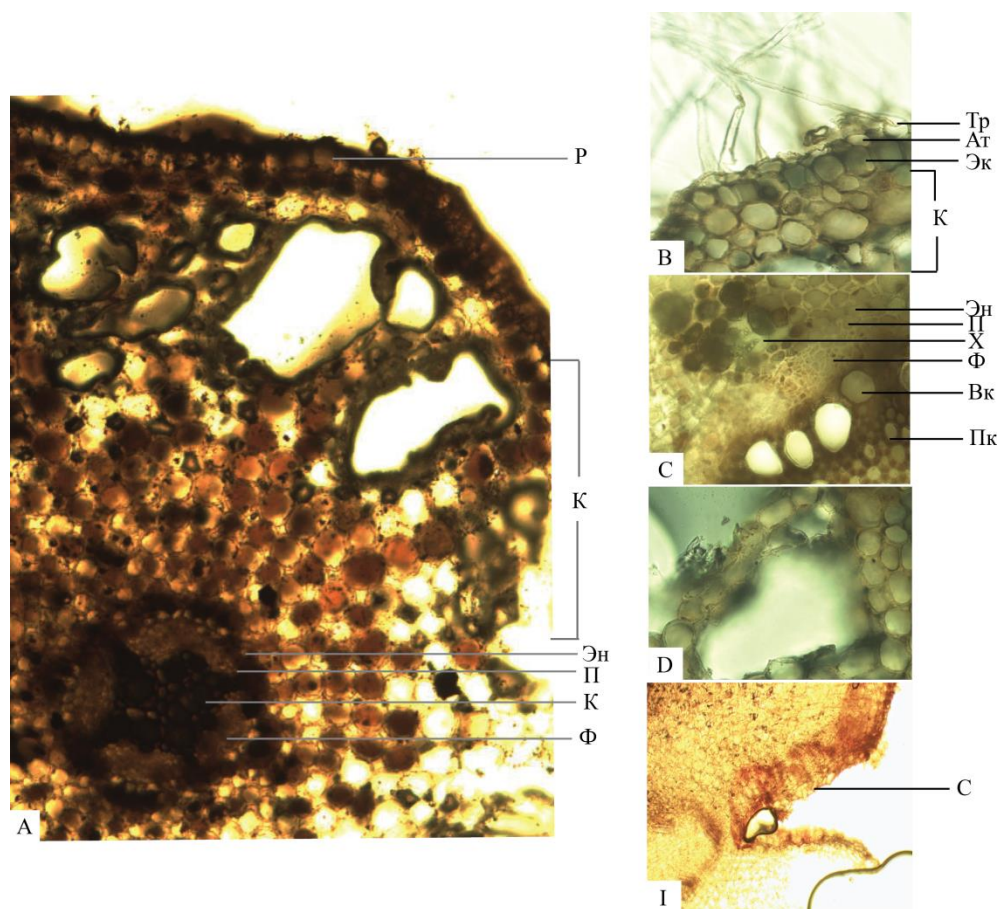


Рис. 2. Анатомическое строение придаточного корня *Petasites spurius*:  
 а – сектор поперечного среза ( $10 \times 10$ ); б – покровная ткань и участок первичной коры ( $10 \times 40$ ); в – участок проводящих тканей ( $10 \times 40$ ); д – межклетник ( $10 \times 40$ );  
 и – складка покровных тканей ( $10 \times 40$ ); Р – ризодерма, Тр – трихобласт,  
 Ат – атрихобласт, Эк – экзодерма, К – кора, Ф – флоэма, Кс – ксилема,  
 Вк – вторичная ксилема, Пк – первичная ксилема, П – перицикл, Эн – эндодерма,  
 Х – ход; С – складка покровных тканей

Внутренняя часть представлена склерифицированными клетками паренхимы сердцевины. Таким образом, кроме образования нескольких проводящих элементов вторичной ксилемы, вторичных изменений в строении корня нет. Подобное строение стелы у прибрежно-водных растений свойственно для внутригрунтовых участков стебля *Eleocharis palustris* в полосе приюта [4] и корней водной формы *Solanum dulcamara* [3]. Такое строение корня называют незначительным [11] или ограниченным [13] вторичным ростом. В подклассе Asteridae, к которому относится *P. spurius*, подобное строение отмечено лишь у *Barnadesia dianthiflora* Mart ex Baker. [13]. Подобное анатомическое строение корней отмечено и у некоторых видов семейства Ranunculaceae, произрастающих в суровых условиях Заполярья, а именно: у *Caltha arctica* R. Br., *Ranunculus lanuginosiformis* Selin ex Felirn., *R. lapponicus* L., *R. pallasii* Schlecht. [14].

Таким образом, основные вторичные изменения корня *P. spurius* – это образование вторичных тканей: отдельных сосудов вторичной ксилемы в сохраняющемся по размерам центральном цилиндре без формирования значительного массива вторичных проводящих тканей, что можно рассматривать как базальную аббревиацию [15] в морфогенезе этого органа.

Очевидно, что указанные особенности обеспечивают две важнейшие функции корня: запас питательных веществ (признак мезофитов) и воздуха (признак гидрофитов). Из-за повышенной влажности и отсутствия необходимости снабжения растения водой в больших количествах у *P. spurius* не формируются в полном объеме вторичные проводящие ткани. Такая редукция проводящих элементов у этого типа корней компенсируется наличием специализированных для всасывания нитевидных корней.

### Заключение

1. Корневая система *P. spurius* образована придаточными корнями двух типов: 1) поверхностные нитевидные, обеспечивающие в основном снабжение организма водой; 2) шнуровидные, закрепляющие растение в почве и запасающие питательные вещества.

2. Приспособления растений к условиям переменного обводнения во внутреннем строении корней: 1) наличие паренхимы в составе коры; 2) формирование значительного слоя первичной коры, выполняющей запас питательных веществ; 3) укрепление центральной части корня у шнуровидных корней, обеспечивающее препятствие на разрыв в покрове и в полосе приюта.

3. Основные способы формирования этих адаптаций – базальная аббревиация (недоразвитие вторичных проводящих тканей) и терминальная пролонгация (формирование рексигенных межклетников).

4. Упрощение корневой системы компенсируется ксерофитными особенностями в строении надземной части побега, что обеспечивает целостность организации в условиях переменного обводнения при недолговечности особи в целом.

### Список литературы

1. Серебряков И. Г. Морфология вегетативных органов высших растений. М. : Советская наука, 1952. 390 с.

2. Sandulescu E. B., Oltenacu N., Stavrescu-Bedivan M.-M. Morphological characterization of *Alisma plantago-aquatica* L. (*Alismataceae*): a case study and literature review // *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2017. P. 526–529.
3. Коновалова И. А., Савиных Н. П. Адаптационные механизмы прибрежной экобиоморфы *Solanum dulcamara* L. на тканевом уровне // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 4–6 декабря 2017 г.). Киров : ВятГУ, 2017. С. 270–274.
4. Михайлова Е. А., Савиных Н. П. Анатомическое строение вегетативных органов *Eleocharis palustris* (L.) R. Br. // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 13–14 апреля 2017 г.). Киров : ВятГУ, 2017. С. 130–136.
5. Савиных Н. П., Шабалкина С. В., Шаклеина М. Н. Побегообразование белокопытника ложного // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Веси, 2014. С. 66–69.
6. Шаклеина М. Н., Савиных Н. П. Анатомическое строение оси побега *Petasites spurius* (Retz.) Reichenb // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Радуга-ПРЕСС, 2016. С. 108–113
7. Цвелёв Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб. : Изд-во СПХФА, 2000. 781 с.
8. Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль : ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с.
9. Шмидт В. М. Флора Архангельской области. СПб. : СПХФА, 2000. 781 с.
10. Скворцов В. Э. Атлас-определитель сосудистых растений таежной зоны Европейской России: определитель по генеративным и вегетативным признакам, региональные списки редких и охраняемых видов. М. : Гринпис России, 2000. 587 с.
11. Таршис Л. Г. Анатомия подземных органов высших сосудистых растений. Екатеринбург : УрО РАН, 2007. 221 с.
12. Барыкина Р. П., Веселова Т. Д., Девятков А. Г. [и др.]. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М. : Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
13. Evert R. F. *Esau's plant anatomy. Meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. Wiley-Interscience, 2015. 600 p.
14. Таршис Л. Г., Таршис Г. И., Морозова Л. М. [и др.]. Морфолого-анатомические особенности подземных органов покрытосеменных многолетников, произрастающих в экстремальных условиях среды // Сибирский экологический журнал. 2012. № 2. С. 197–204.
15. Серебрякова Т. И. О некоторых модусах морфологической эволюции цветковых растений // Журнал общей биологии. 1983. Т. 44, № 5. С. 579–592.

## References

1. Serebryakov I.G. *Morfologiya vegetativnykh organov vysshikh rasteniy = Morphology of the vegetative organs of higher plants*. Moscow: Sovetskaya nauka, 1952:390. (In Russ.)
2. Sandulescu E.B., Oltenacu N., Stavrescu-Bedivan M.-M. Morphological characterization of *Alisma plantago-aquatica* L. (*Alismataceae*): a case study and literature review. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2017:526–529.
3. Konovalova I.A., Savinykh N.P. Adaptation mechanisms of the coastal ecobiomorph *Solanum dulcamara* L. at the tissue level. *Biagnostika sostoyaniya prirodnikh i prirodno-tekhnogennykh sistem: materialy KhV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar.*



- uchastiem (g. Kirov, 4–6 dekabrya 2017 g.) = Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: proceedings of the 15<sup>th</sup> All-Russian scientific and practical conference with international participation (Kirov, December 4–6, 2017). Kirov: VyatGU, 2017:270–274. (In Russ.)*
4. Mikhaylova E.A., Savinykh N.P. The anatomical structure of the *Eleocharis palustris* (L.) R. Br. vegetative organs. *Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti resheniya: materialy KhII Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem (g. Kirov, 13–14 aprelya 2017 g.) = Ecology of the native land: problems and solutions: proceedings of the 12<sup>th</sup> All-Russian scientific and practical conference with international participation (Kirov, April 13–14, 2017). Kirov: VyatGU, 2017:130–136. (In Russ.)*
  5. Savinykh N.P., Shabalkina S.V., Shakleina M.N. Shoot formation of false butterbur. *Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem: materialy XII Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem = Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: proceedings of the 12<sup>th</sup> All-Russian scientific and practical conference with international participation. Kirov: Vesi, 2014:66–69. (In Russ.)*
  6. Shakleina M.N., Savinykh N.P. The anatomical structure of the *Petasites spurius* (Retz.) Reichenb shoot axis. *Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem: materialy KhIV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem = Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: proceedings of the 14<sup>th</sup> All-Russian scientific and practical conference with international participation. Kirov: Raduga-PRESS, 2016:108–113. (In Russ.)*
  7. Tsvelev N.N. *Opredelitel' sosudistykh rasteniy Severo-Zapadnoy Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti) = Key to vascular plants of North-Western Russia (Leningrad, Pskov and Novgorod regions). Saint Petersburg: Izd-vo SPKhFA, 2000:781. (In Russ.)*
  8. Papchenkov V.G. *Rastitel'nyy pokrov vodoemov i vodotokov Srednego Povolzh'ya = Vegetation cover of reservoirs and streams of the Middle Volga region. Yaroslavl: TsMP MUBiNT, 2001:200. (In Russ.)*
  9. Schmidt V.M. *Flora Arkhangel'skoy oblasti = Flora of the Arkhangelsk region. Saint Petersburg: SPKhFA, 2000:781. (In Russ.)*
  10. Skvortsov V.E. *Atlas-opredelitel' sosudistykh rasteniy taezhnoy zony Evropeyskoy Rossii: opredelitel' po generativnym i vegetativnym priznakam, regional'nye spiski redkikh i okhranyaemykh vidov = Atlas-key to vascular plants of the taiga zone of European Russia: key to generative and vegetative characteristics, regional lists of rare and protected species. Moscow: Grinpis Rossii, 2000:587. (In Russ.)*
  11. Tarshis L.G. *Anatomiya podzemnykh organov vysshikh sosudistykh rasteniy = Anatomy of the underground organs of higher vascular plants. Ekaterinburg: UrO RAN, 2007: 221. (In Russ.)*
  12. Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G. [et al.]. *Spravochnik po botanicheskoy mikrotekhnike. Osnovy i metody = Handbook of botanical microtechnology. Fundamentals and methods. Moscow: Izd-vo MGU, 2004:312. (In Russ.)*
  13. Evert R.F. *Esau's plant anatomy. Meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development. Wileywiley–Interscience, 2015:600.*
  14. Tarshis L.G., Tarshis G.I., Morozova L.M. [et al.]. Morphological and anatomical features of underground organs of angiosperms growing in extreme environmental conditions. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal = Siberian ecological journal. 2012;(2):197–204. (In Russ.)*
  15. Serebryakova T.I. On some modes of morphological evolution of flowering plants. *Zhurnal obshchey biologii = Journal of general biology. 1983;44(5):579–592. (In Russ.)*

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

***Мария Николаевна Шаклеина***

аспирант, старший лаборант центра компетенций «Использование биологических ресурсов», Вятский государственный университет (Россия, г. Киров, ул. Московская, 36)

E-mail: mariyashakleina@mail.ru

***Maria N. Shakleina***

Postgraduate student, senior laboratory assistant of the Center of Competence “Use of Biological Resources”, Vyatka State University (36 Moscovskaya street, Kirov, Russia)

***Наталья Павловна Савиных***

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биологии и методики обучения биологии, старший научный сотрудник центра компетенций «Использование биологических ресурсов», Вятский государственный университет (Россия, г. Киров, ул. Московская, 36)

E-mail: savva\_09@mail.ru

***Natalia P. Savinykh***

Doctor of biological sciences, professor, professor of the sub-department of biology and methods of teaching biology, senior scientist researcher of the Center of Competence “Use of Biological Resources”, Vyatka State University (36 Moscovskaya street, Kirov, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 29.03.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 08.11.2021**

**Принята к публикации / Accepted 15.11.2021**

УДК 574.5(285.2)

doi:10.21685/2307-9150-2021-4-7

## Особенности структуры и временной динамики зоопланктонных сообществ малых искусственных водоемов урбанизированных территорий (на примере г. Пензы)

Т. Г. Стойко<sup>1</sup>, В. А. Сенкевич<sup>2</sup>, Ю. А. Пастухова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup>tgstojko@mail.ru, <sup>2</sup>viktoriya0606@mail.ru, <sup>3</sup>yuliya.pastukhova.98@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Изучение зоопланктоценозов малых искусственных водоемов урбанизированных территорий расширяет знания о структуре, функционировании и формировании гидробиоценозов, которые вносят значительный вклад в поддержание общего биологического разнообразия. Пруды в условиях повышенного антропогенного воздействия, как правило, требуют принятия мер по контролю над их состоянием и планированию очистки. Цель исследования – изучить видовое богатство и динамику зоопланктонного сообщества в малом искусственном водоеме, а также выявить его сходство с сообществами из близко расположенных водных объектов. *Материалы и методы.* Пробы зоопланктона отбирали с апреля по ноябрь 2016–2017 гг. Камеральную обработку проб осуществляли согласно общепринятым методикам. Анализируя степень развития зоопланктонного сообщества, учитывали видовое богатство, численность (N) тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомассу (B) г/м<sup>3</sup>, индекс частоты встречаемости, комплекс доминирующих видов по численности. С помощью индекса Шеннона установили степень сложности сообщества зоопланктона и трофический статус копаного водоема. Видовой состав зоопланктона этого водоема сравнивали с видовым богатством р. Суры в черте города и Арбековского пруда. *Результаты.* В работе приведены данные о видовом составе зоопланктона (129 видов и форм), в том числе и двух новых для Пензенской области видах: *Limnias melicerta* и *Cephalodella sterea*. Расширена информация об экологии и биологии отдельных видов зоопланктона (*Cephalodella ventripes*, *Keratella irregularis*, *Asplanchna girodi*, *A. priodonta*). Установлена зависимость структурных параметров от температуры воды, осадков. Настоящий копаный водоем загрязнен органическими веществами, о чем свидетельствует индекс Шеннона, с помощью которого была определена степень сложности зоопланктонного сообщества. Однако динамика этого индекса, а следовательно, и трофический статус изменчивы. *Выводы.* В копаном пруду зоопланктонное сообщество на 3/4 состоит из зоопланктеров близко расположенного Арбековского пруда и р. Суры в черте города. Остальные объекты попали в водоем из небольших ручьев и, возможно, временных водоемов, а также водных объектов, расположенных на большем расстоянии.

**Ключевые слова:** копаный водоем, зоопланктонное сообщество, видовая структура, сезонная динамика

**Для цитирования:** 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. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-7

## Features of the structure and temporal dynamics of zooplankton communities of small artificial reservoirs in urbanized territories (by the example of Penza)

T.G. Stojko<sup>1</sup>, V.A. Senkevich<sup>2</sup>, Yu.A. Pastuchova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Penza State University, Penza, Russia

<sup>1</sup>tgstojko@mail.ru, <sup>2</sup>viktoriya0606@mail.ru, <sup>3</sup>yuliya.pastukhova.98@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The study of the zooplankton communities of small artificial reservoirs in urbanized territories expands knowledge about the structure, functioning and formation of hydrobiocenoses, which make a significant contribution to the conservation of biological diversity. These ponds require monitoring and treatment planning. The purpose of the research is to study the species diversity and dynamics of the zooplankton community in a small artificial reservoir, as well as to reveal the similarity with closely located water bodies. *Materials and methods.* Zooplankton samples were taken from April to November 2016–2017. Cameral processing of samples was carried out according to generally accepted methods. Analyzing the degree of development of the zooplankton community, we took into account the species diversity, abundance (N) thousand ind./m<sup>3</sup> and biomass (B) g/m<sup>3</sup>, the index of the frequency of occurrence, and the complex of dominant species in terms of abundance. Using the Shannon index, the degree of complexity of the zooplankton community and the trophic status of the dug reservoir were established. The species composition of the this zooplankton was compared with the species richness of the Sura river within the city and Arbekovskiy pond. *Results.* The research presents data on the species composition of zooplankton (129 species and forms), including two new species for the Penza region: *Limnias melicerta* and *Cephalodella sterea*. Information on the ecology and biology of certain zooplankton species (*Cephalodella ventripes*, *Keratella irregularis*, *Asplanchna girodi*, *A. priodonta*) has been expanded. The dependence of structural parameters on water temperature and precipitation has been established. This dug reservoir is polluted with organic matter, as evidenced by the Shannon index, which was used to determine the degree of complexity of the zooplankton community. However, the dynamics of this index and, consequently, the trophic status are changeable. *Conclusions.* In the dug pond, the zooplankton community at 3/4 consists of zooplankters from the nearby Arbekovskiy pond and the Sura river within the city. The rest of the objects got into the reservoir from small streams and, possibly, temporary reservoirs, as well as water bodies located at a greater distance.

**Keywords:** dug water body, zooplankton community, species structure, seasonal dynamics

**For citation:** Stojko T.G., Senkevich V.A., Pastuchova Yu.A. Features of the structure and temporal dynamics of zooplankton communities of small artificial reservoirs in urbanized territories (by the example of Penza). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):67–78. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-7

Изучение зоопланктоценозов малых искусственных водоемов урбанизированных территорий расширяет знания о структуре, функционировании и формировании гидробиоценозов, которые вносят значительный вклад в поддержание общего биологического разнообразия [1–4]. Видовой состав зоопланктоценозов копанных водоемов свидетельствует о широком взаимном

обмене видами между искусственными и естественными водными объектами, и значительной роли в формировании и сохранении биоразнообразия [5]. Исследования микробиоты водоемов г. Самары показали, что большинство из них, в том числе и копаные пруды, имеют невысокий потенциал для самоочищения, что требует принятия мер по контролю над их состоянием и очистке [6].

Цель исследования – изучить видовое богатство и динамику зоопланктонного сообщества в малом искусственном водоеме, а также выявить его сходство с сообществами из близко расположенных водных объектов.

### Материалы и методы

После открытия в г. Пензе автодрома в 1986 г. на его территории был создан противопожарный водоем для соблюдения техники безопасности. Водоем имеет вытянутую с востока на запад форму (длина – 700 м, ширина – 100 м). Питание водоема снеговое, дождевое, а также родниковое. Заселение этого искусственного водоема гидробионтами было возможным из близлежащих водных объектов, расположенных на расстоянии 3 км (ручей Стремянный, Арбековский пруд и пр.) и р. Суры, протекающей в 5 км от него. В пруд рыбаки неоднократно выпускали рыбу. В пробах зоопланктона также были обнаружены следующие виды беспозвоночных животных: гидра, мшанки (статобласты), карповая вошь – *Argulus foliaceus* Linne, 1758, физа – *Costatella acuta* (Draparnaud, 1805), прудовик большой – *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) и прудовик малый – *Lymnaea truncatula* (O.F. Müller). Запросили высшей водной растительности, представленные ивой ломкой (*Salix fragilis* L., 1753), рогозом (*Typha* sp.), ситнягом (*Eleocharis* sp.), манником (*Glyceria* sp.), развиты только на северной стороне, где лучше развита литораль. Температура на станциях во время взятия проб отличалась незначительно.

Пробы зоопланктона отбирали с апреля по ноябрь 2016 и 2017 гг. дважды в месяц утром на двух станциях: с северной и южной стороны. Всего было взято 59 проб. Через сеть Апштейна (размер ячеек 0,1–0,15 мм) в пластмассовые емкости процеживали 30 л поверхностной воды, осадок фиксировали 4 % раствором формалина. На каждой станции измеряли температуру воды. В 2016 г. весна была ранней, уже в середине апреля температура воды достигла 15 °C и, начиная с конца апреля она повышалась, достигнув максимума 30 °C во второй половине июля. В 2017 г. в конце апреля и все лето температура была на 5 °C ниже, а максимум был достигнут позже, чем в 2016 г. – в первой трети августа, а в конце лета она оказалась выше. Среднее значение температуры в 2016 г. составило 19,5 °C, а в 2017 г. – 18,9 °C [7].

Камеральную обработку проб осуществляли согласно общепринятым методикам [8]. Коловраток определяли по внешнему виду и строению челюстного аппарата, который выделяли с помощью водного раствора гипохлорита натрия. Таким же способом выявляли и съеденные ими объекты. Фотографии объектов зоопланктона сделаны под микроскопом Биомед-6 фотоаппаратом PowerShot A 560.

Анализируя степень развития зоопланктонного сообщества, учитывали видовое богатство, численность (N) тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомассу (B) г/м<sup>3</sup>. Также

рассчитывали индекс частоты встречаемости [9]. К широко распространенным видам отнесены те зоопланктеры, встречаемость которых составила  $\geq 50\%$ ; тех же, встречаемость которых не превысила  $10\%$ , считали редкими [8]. Для оценки комплексов доминирующих видов по численности рассчитывали индекс Паляя – Ковнацки [10, 11]. Определение основных направлений варьирования видовой структуры проводили путем ординации сообществ методом главных компонент на основе относительных обилий доминирующих видов. С помощью индекса Шеннона установили степень сложности сообщества зоопланктона и трофический статус искусственного водоема [12]. Видовой состав зоопланктона, а также частоту встречаемости зоопланктеров пруда сравнивали с этими же показателями р. Суры в черте города (2017–2018 гг., 36 проб) и Арбековского пруда (2008–2014 гг., 99 проб). Все полученные параметры обрабатывали с помощью программ MS Excel 2010 и Past 2.15 [13].

### Результаты и обсуждение

Всего в исследуемом водоеме было обнаружено 129 видов и форм: 106 – коловраток, 13 – кладоцер и 10 – копепод. В 2016 г. в сообществе зоопланктона отмечено 110 видов, а в 2017 г. – 76. В водоеме на протяжении двух лет исследований присутствовали следующие виды и формы, с частотой встречаемости выше  $50\%$ : *Cephalodella ventripes* (Dixon-Nuttall, 1901), *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834), *Euchlanis dilatata* (Ehrenberg, 1832), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Keratella irregularis* (Lauterborn, 1898), *K. i. wartmanni* (Asper et Heusler, 1889), *Polyarthra dolichoptera* (Idelson, 1925), *Polyarthra major* (Burckhardt, 1900), *Rotaria* sp., *Trichocerca similis* (Wierzejski, 1893), *Trichocerca pusilla* (Lauterborn, 1898), *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785), *Ceriodaphnia pulchella* (Sars, 1862), а также копеподиты и науплии циклопов. С такой же частотой отмечены только в 2016 г.: *Colurella uncinata* (Müller, 1773), *Lecane closterocerca* (Schmarda, 1859), *Polyarthra euryptera* (Wierzejski, 1891), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785), *Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller, 1776), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863); в 2017 г.: *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), *Brachionus angularis* (Gosse, 1851), *K. c. tecta* (Gosse, 1851), *Synchaeta pectinata* (Ehrenberg, 1832), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857).

Сообщество зоопланктона исследуемого пруда формировалось примерно в течение 30 лет. Можно предположить, что видовое разнообразие копаного пруда и близко расположенных водных объектов должно быть сходным. На момент исследования в изучаемом водоеме и Арбековском пруду обнаружено по 129 видов и форм, а в р. Суры – 120 [14, 15]. При сравнении видового состава зоопланктонного сообщества изучаемого водоема с составом сообщества р. Суры было обнаружено 67 общих видов, с составом сообщества Арбековского пруда – 71, а при сравнении состава сообществ р. Суры и Арбековского пруда – 70. Кроме этого, в изучаемом водоеме были отмечены 32 вида зоопланктона, которые не были обнаружены в р. Суры и Арбековском пруду. Среди них два вида коловраток *Limnias melicerta* Weisse, 1848 и *Cephalodella sterea* (Gosse, 1887) не отмечены в списках обитателей пензенских водных объектов [16] (рис. 1). Согласно кадастру планктонных беспозвоночных

бассейна Волги и Северного Каспия [17] оба вида обнаружены в Северном регионе бассейна Волги. Первый вид, *L. melicerta*, будучи космополитом, обитает на подводных частях водной растительности, а второй, *C. sterea* – в заиленных небольших водоемах, лужах, дренажных канавах, желобах среди водной растительности, в болотах. Можно предположить, что некоторые виды в изучаемом водоеме, с частотой встречаемости выше 50 % (*Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *K. irregularis*, *Polyarthra dolichoptera*, *P. major*, *Trichocerca similis*, *T. pusilla*) – вселенцы из р. Суры и Арбековского пруда, поскольку обитают в этих водных объектах.

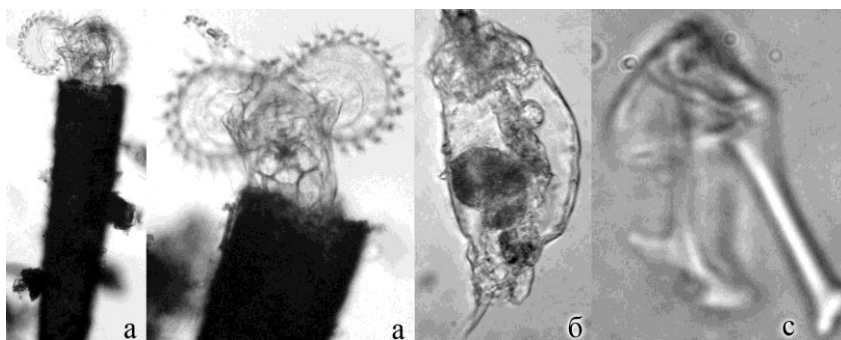


Рис. 1. Вновь обнаруженные виды коловраток в противопожарном водоеме Автодрома (г. Пенза): а – *L. melicerta*, б, с – *C. sterea*, с – трофи

В ходе наших исследований были получены некоторые новые данные по биологии часто встречаемого вида *Cephalodella ventripes*. Известно, что эта коловратка является космополитом и обитает обычно среди водной растительности прудов, озер, канав, луж, в береговом песке, в термальных источниках [18]. В Пензенской области эта коловратка отмечена и в других прудах и реках. В изучаемом водоеме она питалась диатомовыми водорослями (рис. 2). Численность *C. ventripes* повышалась при температуре 15–19 °С (рис. 3). Можно предположить, что численность этого вида зависит от обилия холодостойких диатомей, и поэтому условия весны и осени 2016 г. и периода май – июнь 2017 г. были благоприятны для развития *C. ventripes*.

Кроме *C. ventripes*, в изучаемом водоеме постоянно присутствуют коловратка *Keratella irregularis* и ее подвид *K. i. wartmanni*. Они были отмечены как объекты питания двух видов коловраток рода *Asplanchna*. При этом *A. girodi* питалась ими постоянно, а *A. priodonta* – очень редко. Последняя коловратка является всеядной, и в ее желудке часто обнаруживаются золотистые (*Dinobryon* sp.) и эвгленовые (*Strombomonas* sp.) водоросли, другие виды коловраток (*Trichocerca* sp.) и даже пыльца сосны (рис. 4). Анализ динамики численности вида *K. irregularis* показал, что снижение его обилия в течение всего периода исследований происходило в период максимального развития в сообществе *A. girodi*.

На структурные параметры зоопланктонного сообщества заметно влияет температура. В 2016 г., когда весна была ранней и теплой, видовое разнообразие зоопланктона оказалось выше, чем в следующем году (рис. 5,а). В 2017 г. в связи с более типичным для региона развитием температуры видовое богатство сообщества ниже, менее развиты ветвистоусые ракообразные, но численность из-за развития эврибионтных видов оказалась выше

(рис. 5,б). В 2016 г. биомасса сообщества по сравнению с численностью была большей из-за лучшего развития более крупных, чем коловратки, ветвистых ракообразных. В начале июля (03.07) 2016 г. наблюдалось значительное снижение биомассы, вызванное уменьшением численности ракообразных: *Ceriodaphnia pulchella*, *Scapholeberis mucronata*, *Mesocyclops leuckarti* и личинок копепод. В 2017 г. значения биомассы дважды сокращались: в начале июня (03.06), когда в 10 раз снизилась численность коловратки *K. irregularis*, по нашему предположению в связи с поеданием ее *A. girodi*; и в начале июля (02.07) вследствие выедания рыбой веслоногого ракообразного *Mesocyclops leuckarti* и его личинок.

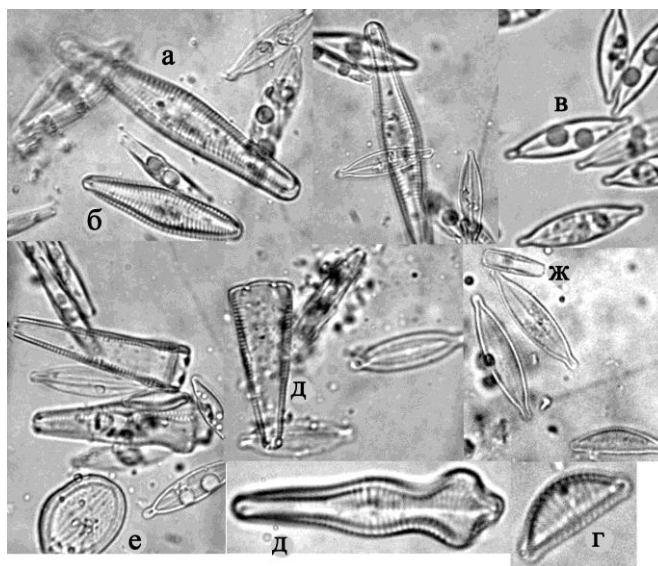


Рис. 2. Диатомовые водоросли, обнаруженные в желудке коловратки *C. ventripes*: а – *Gomphonema* sp., б – *Gomphonema* sp., в, ж – *Craticula* sp., з – *Encyonema minutum* (Hilse) D.G. Mann, д – *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg, е – *Cocconeis placentula* Ehrenberg (определение М. С. Куликовского, лаборатория молекулярной систематики водных растений, Института физиологии растений имени К. А. Тимирязева Российской академии наук)

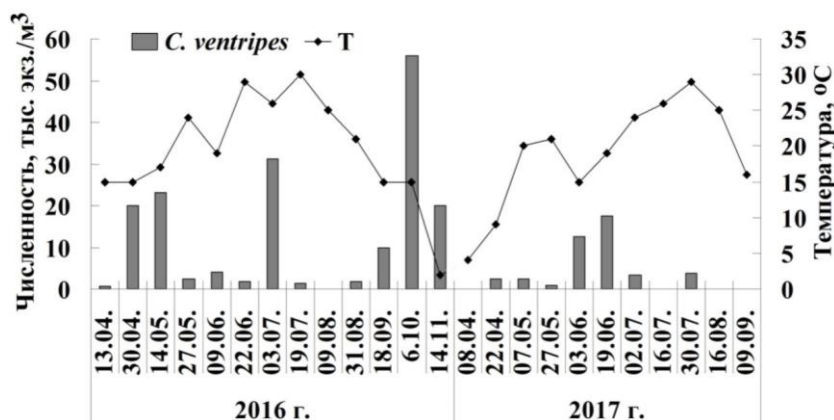


Рис. 3. Динамика численности коловратки *C. ventripes* и температуры воды в противопожарном водоеме Автодрома (г. Пенза)



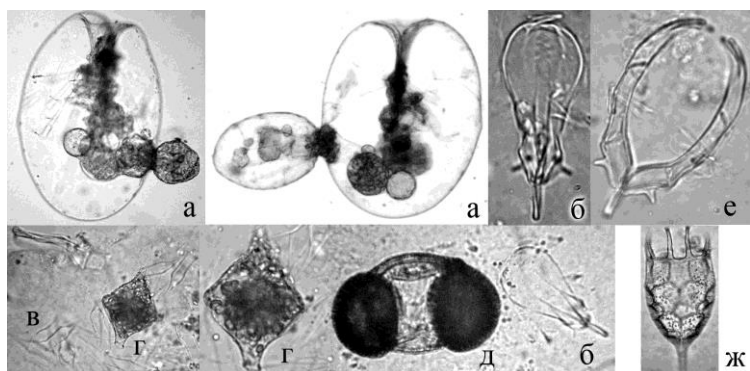


Рис. 4. Коловратки и их пищевые объекты: *Asplanchna priodonta*: а – рождение новой коловратки, б – трофи, в – *Dinobrion* sp. г – *Strombomonas* sp., д – пыльца сосны из желудка; *A. girodi*: е – трофи, ж – *K. irregularis* из желудка

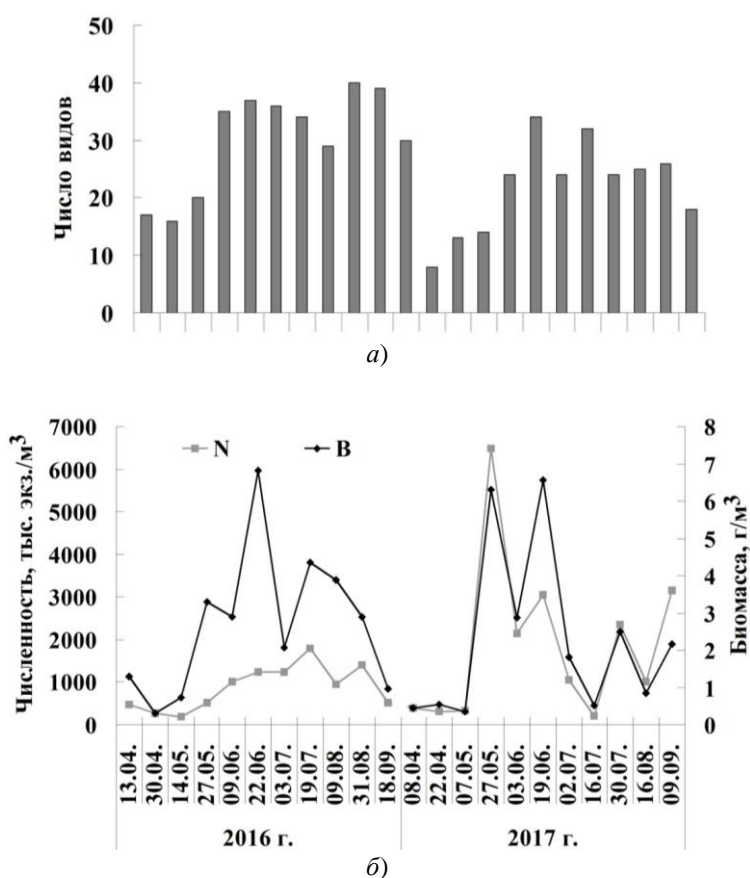


Рис. 5. Число видов зоопланктонного сообщества (а), численность и биомасса (б) в противопожарном водоеме Автодрома (г. Пенза)

В изучаемом водоеме доминируют в основном пелагические виды зоопланктона, половина из которых холодолюбивые. Анализ состава доминантных видов показал, что в 2016 г. в конце апреля (30.04) и в летний период (09.06, 03.07, 19.07, 09.08, 31.08) сообщество отличается на 49 %. При этом на

такую ситуацию в наибольшей мере повлияла динамика численности пелагического, холодолюбивого вида *Polyarthra dolichoptera* (рис. 6). В апреле температура была необычно высокой и, возможно, в водоеме в достаточном количестве развился фитопланктон (криptomonеды, хризмонеды и диатомовые), являющийся основной пищей для этого вида [19]. Его численность к концу апреля увеличилась в 10 раз, в мае снизилась и почти весь летний период была достаточно высокой вследствие высокой температуры воды в прибрежной линии (рис. 7). Возможно, выявленные различия в составе зоопланктонного сообщества изучаемого водоема связаны также и с поступлением в него холодных вод родников. На 26 % отличались сообщества в июне (22.06) (рис. 6,а). В это время была отмечена самая высокая численность личинок веслоногих ракообразных. В течение лета численность личинок снижалась вследствие превращения их части во взрослых особей. Следует отметить, что на протяжении всего времени исследований отмечалась низкая доля взрослых копепоидит. Можно предположить, что такая низкая численность взрослых особей объясняется выеданием ракообразных присутствующими в водоеме рыбами.

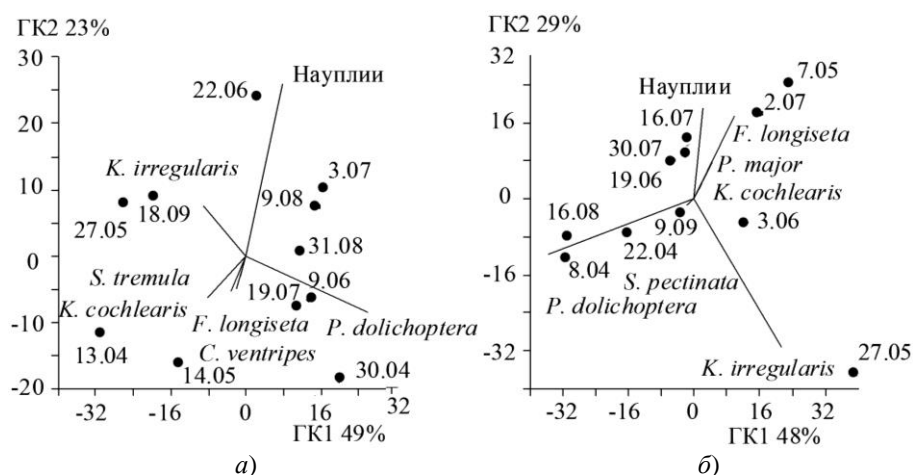


Рис. 6. Результаты ординации сообщества зоопланктона из противопожарного водоема Автодрома (г. Пенза) методом главных компонент на основе относительных обилий доминирующих видов: а – 2016 г.; б – 2017 г. ГК 1 и ГК 2 – главные компоненты и процент объясненной общей дисперсии

В 2017 г. изменения доли доминантов были более динамичными. В конце мая (27.05) сообщество изменилось на 48 % вследствие повышения доли коловратки *K. irregularis* (54 %) (рис. 6,б). Структура сообщества 08.04, 22.04 и 16.08, 09.09 определялась численностью коловратки *P. dolichoptera*. Сообщество отличалось на 29 % при увеличении температуры воды в изучаемом водоеме и нарастании разнообразия доминантов: *F. longiseta*, *P. major*, *K. cochlearis* и науплиев (07.05, 19.06, 02.07, 16.07, 30.07).

Средние значения индекса Шеннона в течение двух лет исследований составили: по численности –  $1,9 \pm 0,1$  и  $1,8 \pm 0,2$ ; по биомассе –  $1,7 \pm 0,1$  и  $1,9 \pm 0,1$  соответственно, что свидетельствует об эвтрофном типе исследованного водоема. В 2016 г. только в мае по сравнению с началом весны

(в апреле), когда повысилась температура и выпали осадки, значения индекса Шеннона составили 2,5–2,9, т.е. трофность водоема снизилась. В остальное время этого года наблюдений значение индекса Шеннона не поднималось выше 2,0, даже когда выпадали обильные дожди и температура была оптимальной для развития зоопланктеров. Следовательно, на трофность водоема влияют не только внешние факторы, но и особенности развития биоты в водоеме. В 2017 г. с середины июня до начала августа вода в изучаемом водоеме может быть отнесена к мезотрофному типу (значения индекса Шеннона изменялись в пределах 2,2–2,5). В этот временной промежуток по сравнению с маем более, чем в два раза больше выпало осадков и наблюдалось постепенное повышение температуры воды.

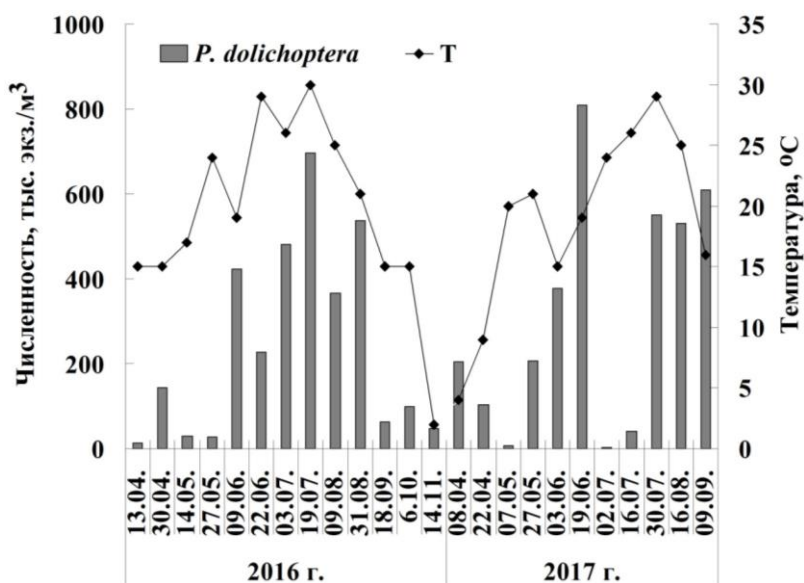


Рис. 7. Динамика численности коловратки *P. dolichoptera* и температуры воды, определяющей развитие ее пищи

### Заключение

В пожарном водоеме Автродрома обнаружен достаточно богатый видовой состав зоопланктона (129 видов и форм). При этом отмечено два новых для Пензенской области вида: *L. melicerta* и *C. sterea*. Результаты исследования позволили расширить информацию об экологии и биологии отдельных видов зоопланктона (*C. ventripes*, *K. irregularis*, *A. girodi*, *A. priodonta*). Доминантный состав сообщества представлен коловратками и науплиями веслоногих ракообразных. Структурные параметры сообщества этого водоема зависят от температуры воды и осадков. Численность взрослых ракообразных (ветвистоусых и веслоногих) низкая, возможно, из-за обитающих в пруде рыб. Изученный водоем загрязнен органическими веществами, о чем свидетельствуют значения индекса Шеннона, с помощью которого была выявлена степень сложности изученного зоопланктонного сообщества. Однако динамика этого индекса отличается по годам и в течение сезона.

В нашем исследовании удалось установить, что по видовому составу на 3/4 исследованное зоопланктонное сообщество состоит из зоопланктеров

близко расположенного Арбековского пруда и р. Суры. Остальные обнаруженные зоопланктонные виды попали в водоем из небольших ручьев и, возможно, временных водоемов, а также водных объектов расположенных на большем расстоянии.

### Список литературы

1. Синицкий А. В. Особенности структурной организации зоопланктоценозов малых водоемов урбанизированных территорий : автореф. ... канд. биол. наук. Самара : СГУ, 2004. 20 с.
2. Герасимов Ю. Л. Зоопланктон как компонент гидробиоценозов городских прудов // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. 2007. № 8. С. 39–49.
3. Лобуничева Е. В. Зоопланктон малых водоемов разных ландшафтов Вологодской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок : Вологод. гос. пед. ун-т, 2009. 19 с.
4. Chantal A., MacPhee S., Keller W. Constructed ponds colonised by crustacean zooplankton local and regional influences // *J. Limnol.* 2013. Т. 72, № 3. P. 524–553.
5. Leon D., Penalver P., Casas J. [et al.]. Zooplankton richness in farm ponds of Andalusia (Southern Spain). A comparison with natural wetlands // *Limnetica.* 2010. Т. 29, № 1. P. 153–162.
6. Герасимов Ю. Л., Кленова Н. А., Орлова С. А. Аэробная и факультативно анаэробная микробиота городских водоемов (г. Самара) // Поволжский экологический журнал. 2016. № 1. С. 41–48.
7. Погода в Пензенской области. URL: [www.pogodaiklimat.ru](http://www.pogodaiklimat.ru) (дата обращения: 01.01.2020).
8. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. М. : Наука, 1975. 254 с.
9. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
10. Палий В. Ф. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоологический журнал. 1961. Т. 60, вып. 1. С. 3–12.
11. Kownacki A. Taxocens of Chironomidae in streams of the Polish Hight Tatra, Mts // *Acta Hydrobiol.* 1971. Vol. 13, № 2. P. 439–463.
12. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб. : Наука, 1996. 189 с.
13. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologica electronica.* 2001. Vol. 4, iss. 1. 9 p.
14. Сенкевич В. А. Видовая структура сообществ зоопланктона малых рек и искусственных водоемов лесостепной зоны Приволжской возвышенности (на примере Пензенской области) : автореф. ... канд. биол. наук. Пенза, 2017. 27 с.
15. Пастухова Ю. А. Состояние зоопланктонного сообщества р. Суры (г. Пенза) // Экологический сборник 7: Труды молодых ученых. Биологические науки. Тольятти, 2019. С. 356–360.
16. Стойко Т. Г., Мазей Ю. А., Сенкевич В. А. Планктонные коловратки пензенских водоемов. Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. 166 с.
17. Чуйков Ю. С. Материалы к кадастру планктонных беспозвоночных бассейна Волги и Северного Каспия. Коловратки (Rotatoria). Тольятти : ИЭВБ РАН, 2000. 196 с.
18. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Л. : Наука, Ленинградское отделение, 1970. 744 с.
19. Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных. М. : Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова, 1998. 319 с.

## References

1. Sinitskiy A.V. Features of the structural organization of zooplanktonocenoses of small water bodies of urbanized territories. PhD abstract. Samara: SGU, 2004:20. (In Russ.)
2. Gerasimov Yu.L. Zooplankton as a component of hydrobiocenoses of urban ponds. *Vestnik Samarskogo universiteta. Estestvennonauchnaya seriya = Bulletin of Samara University. Natural sciences*. 2007;(8):39–49. (In Russ.)
3. Lobunicheva E.V. Zooplankton of small water bodies in different landscapes of the Volgda region. PhD abstract. Borok: Vologod. gos. ped. un-t, 2009:19. (In Russ.)
4. Chantal A., MacPhee S., Keller W. Constructed ponds colonised by crustacean zooplankton local and regional influences. *J. Limnol.* 2013;72(3):524–553.
5. Leon D., Penalver P., Casas J. [et al.]. Zooplankton richness in farm ponds of Andalusia (Southern Spain). A comparison with natural wetlands. *Limnetica*. 2010;29(1):153–162.
6. Gerasimov Yu.L., Klenova N.A., Orlova S.A. Aerobic and facultative anaerobic microbiota of urban water bodies (Samara). *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal = Volga ecological journal*. 2016;(1):41–48. (In Russ.)
7. *Pogoda v Penzenskoy oblasti = The weather in Penza region*. (In Russ.). Available at: [www.pogodaiklimat.ru](http://www.pogodaiklimat.ru) (accessed 01.01.2020).
8. Mordukhay-Boltovskiy F.D. (ed.). *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov = Methodology for studying biogeocenoses of inland water bodies*. Moscow: Nauka, 1975:254. (In Russ.)
9. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoy identifikatsii = Quantitative hydroecology: methods of system identification*. Tolyatti: IEVB RAN, 2003:463. (In Russ.)
10. Paliy V.F. On quantitative indicators in the processing of faunistic materials. *Zoologicheskiy zhurnal = Zoological journal*. 1961;60(1):3–12. (In Russ.)
11. Kownacki A. Taxocens of Chironomidae in streams of the Polish Hight Tatra, Mts. *Acta Hydrobiol.* 1971;13(2):439–463.
12. 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.)
13. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologica electronica*. 2001;4(1):9.
14. Senkevich V.A. Species structure of zooplankton communities in small rivers and artificial reservoirs in the forest-steppe zone of the Volga Upland (on the example of the Penza region). PhD abstract. Penza, 2017:27. (In Russ.)
15. Pastukhova Yu.A. The state of the zooplankton community of the Sura river (Penza). *Ekologicheskiy sbornik 7: Trudy molodykh uchenykh. Biologicheskie nauki = Environmental collection 7: Proceedings of the young scientists. Biological sciences*. Tolyatti, 2019:356–360. (In Russ.)
16. Stoyko T.G., Mazey Yu.A., Senkevich V.A. *Planktonnye kolovratki penzenskikh vodoemov = Planktonic rotifers of Penza water bodies*. Penza: Izd-vo PGU, 2016:166. (In Russ.)
17. Chuykov Yu.S. *Materialy k kadastru planktonnykh bespozvonochnykh basseyna Volgi i Severnogo Kaspiya. Kolovratki (Rotatoria) = Materials for the cadastre of planktonic invertebrates in the Volga and Northern Caspian basins. The rotifers (Rotatoria)*. Tol'yatti: IEVB RAN, 2000:196. (In Russ.)
18. Kutikova L.A. *Kolovratki fauny SSSR = The rotifers of the USSR fauna*. Leningrad: Nauka, Leningradskoe otделение, 1970:744. (In Russ.)
19. Monakov A.V. *Pitanie presnovodnykh bespozvonochnykh = Feeding freshwater invertebrates*. Moscow: In-t problem ekologii i evolyutsii im. A.N. Severtsova, 1998:319. (In Russ.)

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

***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)

***Виктория Александровна Сенкевич***

кандидат биологических наук, ассистент  
кафедры зоологии и экологии,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: viktoriya0606@mail.ru

***Victoria A. Senkevich***

Candidate of biological sciences, assistant  
of the sub-department of zoology and ecol-  
ogy, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

***Юлия Александровна Пастухова***

магистрант, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: yuliya.pastukhova.98@mail.ru

***Julija A. Pastuchova***

Master degree student, 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 18.09.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.10.2021**

**Принята к публикации / Accepted 21.11.2021**

## Влияние продуктов деградации лигнина на динамику комплекса мицелиальных грибов в модельных условиях

Г. В. Ильина<sup>1</sup>, Д. Ю. Ильин<sup>2</sup>, А. А. Воробьева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup>ilyina.g.v@pgau.ru, <sup>2</sup>ilyin.d.u@pgau.ru, <sup>3</sup>vorobieva.a.a@pgau.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Наблюдаемая практически повсеместно в настоящее время переэксплуатация почвы как производственного ресурса приводит к истощению запасов гумуса, являющегося, в свою очередь, важнейшим фактором плодородия. В естественных ценозах эта проблема не является столь существенной, поскольку запасы гумуса находятся в состоянии относительного динамического равновесия. Это достигается благодаря постоянному поступлению отмершей растительной органики в почву и слаженной деятельности комплекса микроорганизмов, обеспечивающих ее ступенчатую деградацию. Важное место в указанном комплексе занимают мицелиальные грибы, способные к ферментативной деструкции сложных полимеров (целлюлозы и особенно лигнина). На основании продуктов их неполного распада, а также их вторичных производных формируется сложный комплекс соединений фенольной природы слагающих вещество гумуса. Проявление физиологической и функциональной активности почвенных мицелиальных грибов в естественных условиях сопряжено с целым комплексом внешних параметров: влиянием гидрологических, эдафических, климатических факторов, взаимодействием с другими организмами, в том числе с ризосферной микрофлорой, видами-конкурентами и т.д. Существенный интерес представляет возможность влияния на ход развития гриба со стороны его природного субстрата: органической массы на разных стадиях разложения, а также интермедиатов, образующихся в процессе деструкции, в том числе производных лигнина, активных форм кислорода и др. По мнению многих авторов, лигнин и продукты его частичной деградации как компоненты субстрата способны оказывать значительное влияние на процессы развития и морфогенез грибов. В этой связи представляет интерес изучение влияния промежуточных продуктов распада лигнина на структуру комплекса микобиоты в модельных условиях. Целью исследований стало изучение роли интермедиата лигнина как фактора, обеспечивающего конкурентное преимущество зимогенной и автохтонной микобиоты на разных стадиях деструкции растительной органики. *Материалы и методы.* Объектами исследования послужили штаммы мицелиальных грибов *Trichoderma viride* Pers (TV-18), *Aspergillus terreus* Thom (Ater-12), *Penicillium chrysogenum* Thom (Pch-19), выделенные из серых лесных почв Пензенской области и поддерживаемые в коллекции мицелиальных культур Пензенского ГАУ. Культивирование мицелия проводили на среде Гетчинсона по общепринятым методикам. Эксперименты проводили с использованием типичного промежуточного продукта деградации лигнина – сиреневого альдегида, содержащего 34 % метоксильных групп (-OCH<sub>3</sub>) в своем составе. О степени утилизации мицелием указанного продукта судили по динамике содержания метоксильных групп в среде. Определение содержания метоксильных групп в субстратах осуществлялось методом Цейзеля в модификации с применением газожидкостной хроматографии. Параметры развития мицелиальных культур оценивали по средней скорости роста мицелия, а также по интенсивности синтеза эргостерина как иллюстрации подготовки культуры к вторичному метаболизму. Определение содержания эргостерина

в мицелии проводили газохроматографическим методом с дериватизацией неомыляемой фракции липидов, экстрагированных из мицелия по методу Фолча, в триметилсилильные производные. Статистическая обработка проводилась с помощью программы для обработки и анализа данных “Statistica 6.0”. *Результаты.* Исследования динамики развития культур мицелиальных грибов *Trichoderma viride* Pers (TV-18), *Aspergillus terreus* Thom (Ater-12), *Penicillium chrysogenum* Thom (Pch-19) осуществлялись при индивидуальном и совместном культивировании в модельных условиях в присутствии сиреневого альдегида на разных стадиях деструкции. Установлено, что при индивидуальном культивировании влияния на развитие *T. viride* со стороны сиреневого альдегида, содержащегося в питательной среде на уровне 0,25 %, не отмечается. Скорость роста, культурально-морфологические параметры (изменение пигментации мицелия, сроки наступления и интенсивность споруляции) практически не отличались от контрольного варианта, в котором сиреневый альдегид отсутствовал. Содержание метоксильных групп в питательной среде за период культивирования практически не изменилось. При изучении особенностей развития на среде Гетчинсона с добавлением сиреневого альдегида в количестве 0,25 % от состава среды культур *A. terreus* и *P. chrysogenum* обнаружена стимуляция роста мицелия грибов обоих видов, а также связь динамики содержания метоксильных групп с синтезом эргостерина, интенсивностью пигментации мицелия и споруляцией. Совместное культивирование трех изученных видов на указанной среде позволило установить угнетение развития культуры *T. viride* на фоне интенсивного развития *A. terreus* и *P. chrysogenum*. Причем в контрольном варианте *T. viride* проявила себя как сильный конкурент и благодаря высокой скорости роста как правило подавляла развитие *A. terreus* и *P. chrysogenum* в первые пять суток культивирования. *Выводы.* Изучены особенности развития распространенных видов почвенной микобиоты, вносящих значительный вклад в ход почвообразовательных процессов, в модельных условиях в присутствии продукта деструкции лигнина, богатого метоксильными группами – сиреневого альдегида. В экспериментах установлена роль данного компонента питательной среды как фактора, обеспечивающего конкурентные преимущества автохтонной микобиоте. Можно предположить, что присутствие продукта деструкции лигнина способно выступить как фактор отбора, определяющий конкурентный потенциал микобиоты и функциональную активность ее компонентов на разных стадиях почвообразовательного процесса. Учитывая, что сиреневый альдегид и сходные с ним фенольные соединения являются компонентами нерегулярной молекулы лигнина, высвобождаемыми в процессах гумификации, можно допустить существование аналогичных механизмов в естественных условиях.

**Ключевые слова:** экология грибов, фенольные соединения, интермедиаты деградации лигнина, почвообразование, адаптационный потенциал грибов, экологические стратегии

**Для цитирования:** Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Воробьева А. А. Влияние продуктов деградации лигнина на динамику комплекса мицелиальных грибов в модельных условиях // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 79–91. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-8

## The effect of lignin degradation products on the dynamics of mycelial fungi complex under the model conditions

G.V. Ilyina<sup>1</sup>, D.Yu. Ilyin<sup>2</sup>, A.A. Vorobyova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Penza State Agrarian University, Penza, Russia

<sup>1</sup>ilyina.g.v@pgau.ru, <sup>2</sup>ilyin.d.u@pgau.ru, <sup>3</sup>vorobieva.a.a@pgau.ru

**Abstract. Background.** Overexploitation of soil as a productive resource, which is observed almost everywhere at the present time, leads to depletion of humus reserves, which, in turn,



is the most important factor of fertility. In natural cenosis, this problem is not so significant, since humus reserves are in a state of relative dynamic equilibrium. This is achieved due to the constant flow of dead plant organic matter into the soil and the coordinated activity of a complex of microorganisms, ensuring its stepwise degradation. An important place in this complex is occupied by filamentous fungi capable of enzymatic destruction of complex polymers (cellulose and, especially, lignin). On the basis of the products of their incomplete decomposition, as well as their secondary derivatives, a complex complex of phenolic compounds is formed that compose the substance of humus. The manifestation of the physiological and functional activity of soil filamentous fungi in natural conditions is associated with a whole range of external parameters: the influence of hydrological, edaphic, climatic factors, interaction with other organisms, including rhizosphere microflora, competing species, etc. Of considerable interest is the possibility of influencing the development of the fungus from its natural substrate: organic matter at different stages of decomposition, as well as intermediates formed in the process of destruction, including lignin derivatives, reactive oxygen species, and others. In the opinion of many authors, lignin and the products of its partial degradation as components of the substrate are capable of significantly influencing the development and morphogenesis of fungi. In this regard, it is of interest to study the effect of intermediate lignin decomposition products on the structure of the mycobiota complex under model conditions. The purpose of the research is to study the role of lignin intermediate as a factor providing a competitive advantage of zymogenic and autochthonous mycobiota at different stages of destruction of plant organic matter. *Materials and methods.* The objects of the study were strains of filamentous fungi *Trichoderma viride* Pers (TV-18), *Aspergillus terreus* Thom (Ater-12), *Penicillium chrysogenum* Thom (Pch-19), isolated from gray forest soils of the Penza region and maintained in the collection of mycelial cultures of the Penza State Agrarian University. The cultivation of the mycelium was carried out on Hutchinson's medium according to generally accepted methods. The experiments were carried out using a typical intermediate product of lignin degradation – syringaldehyde containing 34 % of methoxyl groups (-OCH<sub>3</sub>) in its composition. The degree of utilization of the specified product by the mycelium was judged by the dynamics of the content of methoxyl groups in the medium. The determination of the content of methoxyl groups in the substrates was carried out by the Zeisel method in modification with the use of gas-liquid chromatography. The development parameters of mycelial cultures were assessed by the average growth rate of mycelium, as well as by the intensity of ergosterol synthesis, as an illustration of the preparation of the culture for secondary metabolism. The determination of the content of ergosterol in the mycelium was carried out by gas chromatography with derivatization of the unsaponifiable fraction of lipids extracted from the mycelium by the Folch method into trimethylsilyl derivatives. Statistical processing was carried out using the program for data processing and analysis "Statistica 6.0". *Results.* Studies of the dynamics of development of cultures of filamentous fungi *Trichoderma viride* Pers (TV-18), *Aspergillus terreus* Thom (Ater-12), *Penicillium chrysogenum* Thom (Pch-19) were carried out under individual and joint cultivation under model conditions in the presence of syringaldehyde at different stages of destruction. It was found that during individual cultivation, the influence on the development of *T. viride* from the syringaldehyde contained in the nutrient medium at a level of 0.25 % is not observed. Growth rate, as well as cultural and morphological parameters (changes in mycelium pigmentation, timing of onset and intensity of sporulation) practically did not differ from the control variant, in which syringaldehyde was absent. The content of methoxyl groups in the nutrient medium practically did not change during the cultivation period. When studying the features of development on Hutchinson's medium with the addition of syringaldehyde in an amount of 0.25 % of the composition of the medium of *A. terreus* and *P. chrysogenum* cultures, stimulation of the growth of mycelium of fungi of both species was found, as well as the relationship between the dynamics of the content of methoxyl groups with the synthesis of ergosterol, the intensity of pigmentation of the mycelium and sporulation. The joint cultivation of the three studied species on the indicated medium made it possible to establish the

suppression of the development of the *T. viride* culture against the background of the intensive development of *A. terreus* and *P. chrysogenum*. Moreover, in the control variant, *T. viride* showed itself as a strong competitor, and, due to its high growth rate, as a rule, suppressed the development of *A. terreus* and *P. chrysogenum* in the first five days of cultivation. **Conclusions.** The features of the development of common soil mycobiota species, which make a significant contribution to the course of soil-forming processes, have been studied under model conditions in the presence of a lignin degradation product rich in methoxyl groups – syringaldehyde. In experiments, the role of this component of the nutrient medium as a factor providing competitive advantages to autochthonous mycobiota was established. It can be assumed that the presence of a product of lignin destruction can act as a selection factor that determines the competitive potential of mycobiota and the functional activity of its components at different stages of the soil-forming process. Considering that syringaldehyde and similar phenolic compounds are components of an irregular lignin molecule released in humification processes, it is possible to assume the existence of similar mechanisms in natural conditions.

**Keywords:** ecology of fungi, phenolic compounds, intermediates of lignin degradation, soil formation, adaptive potential of fungi, ecological strategies

**For citation:** Ilyina G.V., Ilyin D.Yu., Vorobyova A.A. The effect of lignin degradation products on the dynamics of mycelial fungi complex under the model conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):79–91. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-8

Наблюдаемая практически повсеместно в настоящее время переэксплуатация почвы как производственного ресурса приводит к истощению запасов гумуса, являющегося, в свою очередь, важнейшим фактором плодородия [1–3]. В естественных ценозах эта проблема не является столь существенной, поскольку запасы гумуса находятся в состоянии относительного динамического равновесия. Это достигается благодаря постоянному поступлению отмершей растительной органики в почву и слаженной деятельности комплекса микроорганизмов, обеспечивающих ее ступенчатую деградацию. Важное место в указанном комплексе занимают мицелиальные грибы, способные к ферментативной деструкции сложных полимеров (целлюлозы и особенно лигнина) [4, 5]. На основании продуктов их неполного распада, а также их вторичных производных формируется сложный комплекс соединений фенольной природы, слагающих вещество гумуса. Проявление физиологической и функциональной активности почвенных мицелиальных грибов в естественных условиях сопряжено с целым комплексом внешних параметров: влиянием гидрологических, эдафических, климатических факторов, взаимодействием с другими организмами, в том числе с ризосферной микрофлорой, видами-конкурентами и т.д. [6]. Существенный интерес представляет возможность влияния на ход развития гриба со стороны его природного субстрата: органической массы на разных стадиях разложения, а также интермедиатов, образующихся в процессе деструкции, в том числе производных лигнина, активных форм кислорода и др. [2, 7]. По мнению многих авторов, лигнин и продукты его частичной деградации как компоненты субстрата способны оказывать значительное влияние на процессы развития и морфогенез грибов [8]. Многие авторы отмечают как роль мицелиальных почвенных грибов в процессах деструкции и утилизации лигниновых комплексов, так и аспекты биологической активности продуктов деградации последних [5, 9, 10].

Обсуждается также возможность влияния продуктов деградации лигнина на синтез целлюлаз, вплоть до полного их ингибирования [8, 11]. В этой связи фрагменты лигнина, такие как сиреневый альдегид, можно рассматривать как фактор, способный повлиять на ферментативную активность зимогенной микрофлоры, проявляющей высокую активность на ранних стадиях деструкции растительной органики [6, 9]. Это, в свою очередь, повлечет качественные изменения видового состава функционального ядра почвенной микробиоты [7]. В этой связи представляет интерес изучение влияния промежуточных продуктов распада лигнина на структуру комплекса микробиоты в модельных условиях.

Целью исследований стало изучение роли интермедиата лигнина как фактора, обеспечивающего конкурентное преимущество зимогенной и аутохтонной микробиоты на разных стадиях деструкции растительной органики.

### Материалы и методы

Объектами исследования послужили штаммы мицелиальных грибов *Trichoderma viride* Pers (TV-18), *Aspergillus terreus* Thom (Ater-12), *Penicillium chrysogenum* Thom (Pch-19), выделенные из серых лесных почв Пензенской области и поддерживаемые в коллекции мицелиальных культур Пензенского ГАУ. Культивирование мицелия проводили на среде Гетчинсона, с диском из фильтровальной бумаги в качестве источника целлюлозы, по общепринятым методикам [12]. Убыль целлюлозы (по причине ассимиляции мицелием) оценивалась гравиметрически.

Эксперименты проводили с использованием типичного промежуточного продукта деградации лигнина – сиреневого альдегида, содержащего 34 % метоксильных групп (-OCH<sub>3</sub>) в своем составе. О степени утилизации мицелием указанного продукта судили по динамике содержания метоксильных групп в среде. Определение содержания метоксильных групп в субстратах осуществлялось методом Цейзеля в модификации с применением газожидкостной хроматографии [13]. Параметры развития мицелиальных культур оценивали по средней скорости роста мицелия, а также по интенсивности синтеза эргостерина как иллюстрации подготовки культуры к вторичному метаболизму. Определение содержания эргостерина в мицелии проводили газохроматографическим методом с дериватизацией неомыляемой фракции липидов, экстрагированных из мицелия по методу Фолча, в триметилсилильные производные [14]. В качестве стандарта использовали стандарт эргостерина фирмы “Merck”. В работе использовали хроматограф «Кристалл-2000 М» с пламенно-ионизационным детектором, оснащенный набивной колонкой с насадкой – 5 % SE-30 на инертоне.

Статистическая обработка проводилась с помощью программы для обработки и анализа данных “Statistica 6.0”. Оценка достоверности влияния на продуктивные параметры со стороны различных факторов осуществлялась с помощью дисперсионного анализа полученного массива данных (ANOVA). Для оценки значимости полученных данных использовался *t*-критерий Стьюдента при уровне значимости 0,05 [15].

### Результаты и обсуждение

Исследования динамики развития культур мицелиальных грибов *Trichoderma viride* Pers (TV-18), *Aspergillus terreus* Thom (Ater-12), *Penicillium*

*chrysogenum* Thom (Pch-19) осуществлялись при индивидуальном и совместном культивировании в модельных условиях в присутствии сиреневого альдегида на среде Гетчинсона с дисками из фильтровальной бумаги в качестве источника целлюлозы. С позиций экологии *T. viride* относят преимущественно к представителям зимогенной микобиоты, способным в присутствии доступной целлюлозы в короткие сроки обеспечить доминирование в микоценозе. Эксплерентная стратегия реализуется в пределах, определяемых наличием субстрата, т.е. на начальных этапах деструкции погребенной растительной органики. Извлечение и ассимиляция полисахаридов из лигно-целлюлозных комплексов приводит к смещению баланса последних в пользу лигнина. Лигнин в отличие от целлюлозы является нестереорегулярным фенольным соединением. Деструкция лигнинового комплекса имеет по сравнению с деструкцией целлюлозы более низкие темпы, поскольку в данном случае необходимо вовлечение сложных ферментативных и неферментативных механизмов. Этот процесс обеспечивается, прежде всего, оксидазными комплексами преимущественно автохтонной микобиоты. К представителям этой группы традиционно, помимо прочих, относят виды родов *Aspergillus* и *Penicillium*. В этой связи определенный интерес представляют конкурентные отношения видов, формирующиеся под влиянием трофических факторов субстрата. В совокупности они способны определять вектор изменения структуры сообщества микромицетов почвы.

Эксперименты, проведенные в лабораторных условиях, показали, что присутствие в питательной среде одного из продуктов деструкции лигнина – сиреневого альдегида, безразлично для культур изученных видов. Установлено, что при индивидуальном культивировании *T. viride* достоверного влияния на развитие культуры со стороны сиреневого альдегида, содержащегося в среде на уровне 0,25 %, не отмечается (табл. 1). Наблюдалось незначительное снижение скорости роста мицелия, однако полученные результаты не характеризовались существенными отличиями. Культурально-морфологические параметры (изменение пигментации мицелия, сроки наступления и интенсивность споруляции) практически не отличались от контрольного варианта, в котором сиреневый альдегид отсутствовал. Отмечено достоверное увеличение содержания эргостерина в мицелии. Нередко интенсивность синтеза эргостерина коррелирует с темпами роста мицелия, однако в данном случае этого не отмечается. Можно предположить, что усиление синтеза основного грибного стерина связано с процессами адаптации мицелия к действию химических факторов среды и связанными с ними физиологическими перестройками.

Содержание метоксильных групп в питательной среде за период культивирования практически не изменилось (рис. 1). Однако выявлена достоверная разница в убыли массы целлюлозы. В контроле убыль целлюлозы происходила более интенсивно, что особенно заметно в последнюю фазу культивирования.

Таким образом, в модельных условиях отмечено угнетение процесса утилизации целлюлозы мицелием *T. viride* в присутствии в среде одного из распространенных интермедиатов лигнина. На фоне отсутствия достоверной динамики концентрации метоксильных групп явление пессимации целлюлозной активности можно связать с влиянием со стороны фенольных единиц

молекул сиреневого альдегида. Полученные в эксперименте данные согласуются с имеющимися в литературных источниках сведениями об угнетении целлюлазной активности микроорганизмов в присутствии некоторых продуктов распада лигнина в естественных условиях [8, 16].

Таблица 1

Влияние сиреневого альдегида на культурально-морфологические и биохимические свойства мицелия *Trichoderma viride*, среда Гетчинсона, 9 суток культивирования, повторность трехкратная ( $p < 0,05$ )

Изученные показатели	Варианты опыта	
	Опыт (сиреневый альдегид, 0,25 % от массы среды)	Контроль
Средняя скорость роста, мм/сут	16,4 ± 3,3	18,1 ± 2,6
Пигментация мицелия	насыщенная	насыщенная
Сроки начала споруляции	3–4 сут	4–5 сут
Содержание эргостерина, % от сухой массы мицелия	1,04 ± 0,06	0,79 ± 0,13

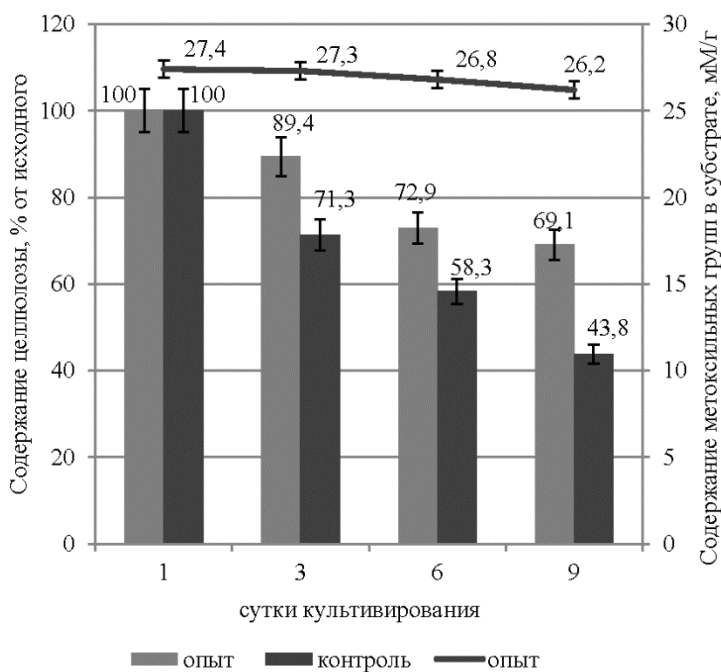


Рис. 1. Утилизация мицелием *Trichoderma viride* метоксильных групп ( $-OCH_3$ ) и целлюлозы из субстрата: развитие на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой; опыт – аналогичная среда с добавлением 0,25 % от массы сиреневого диальдегида, ( $p < 0,05$ ), планки погрешностей – ошибка средней

При изучении особенностей развития на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой и добавлением сиреневого альдегида в количестве 0,25 % от состава среды культур *A. terreus* и *P. chrysogenum* обнаружена достоверная стимуляция средних скоростей роста мицелия грибов обоих видов, а также

связь динамики содержания метоксильных групп с синтезом эргостерина, интенсивностью пигментации мицелия и споруляцией (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Влияние сиреневого альдегида на культурально-морфологические и биохимические свойства мицелия *Aspergillus terreus* и *Penicillium chrysogenum*, среда Гетчинсона, 9 суток культивирования, повторность трехкратная ( $p < 0,05$ )

Штамм	Варианты опыта			
	Опыт (сиреневый альдегид, 0,25 % от массы среды)		Контроль	
	<i>A. terreus</i>	<i>P. chrysogenum</i>	<i>A. terreus</i>	<i>P. chrysogenum</i>
Средняя скорость роста, мм/сут	13,4 ± 0,6	14,0 ± 1,3	9,2 ± 0,3	10,1 ± 0,6
Пигментация мицелия	слабая	насыщенная	насыщенная	насыщенная
Сроки начала споруляции	3–4 сут	3–4 сут	2–3 сут	2–3 сут
Содержание эргостерина, % от сухой массы мицелия	1,97 ± 0,06	1,94 ± 0,13	1,32 ± 0,03	1,46 ± 0,11

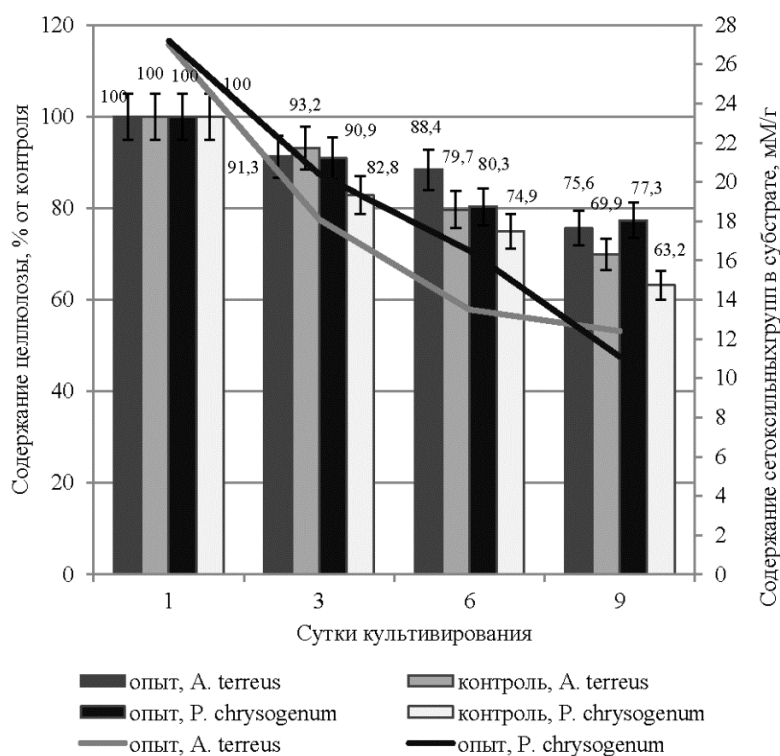


Рис. 2. Утилизация мицелием *Aspergillus terreus* и *Penicillium chrysogenum* метоксильных групп (-OCH<sub>3</sub>) и целлюлозы из субстрата: контроль – развитие на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой; опыт – аналогичная среда с добавлением 0,25 % от массы сиреневого диальдегида, ( $p < 0,05$ ), планки погрешностей – ошибка средней

Такие данные могут свидетельствовать о включении компонентов сиреневого альдегида в обменные процессы мицелия изученных видов. Под влиянием указанного интермедиата лигнина не только не обнаруживается угнетения роста мицелия, но и отмечается достоверная стимуляция данного показателя. Линейное снижение концентрации метоксильных групп в питательном субстрате свидетельствует об их утилизации мицелием. Оценка убыли целлюлозы показала, что в контрольных вариантах ее ассимиляция грибами происходила более интенсивно, чем в опыте. Установленный факт также может служить аргументом в пользу заключения о негативном воздействии со стороны фенольной основы сиреневого альдегида на активность целлюлаз мицелия (см. рис. 2).

На следующем этапе исследований были изучены конкурентные взаимоотношения включенных в эксперимент видов в модельных условиях. Для этого культуры выращивались совместно, причем в качестве фактора, способного повлиять на раскрытие конкурентного потенциала микромицетов, в опытных вариантах был использован сиреневый альдегид.

В контрольном варианте, на среде Гетчинсона с фильтрованной бумагой *T. viride* проявила себя как сильный конкурент и благодаря высокой скорости роста подавляла развитие *A. terreus* и *P. chrysogenum* в течение пяти суток культивирования (рис. 3).

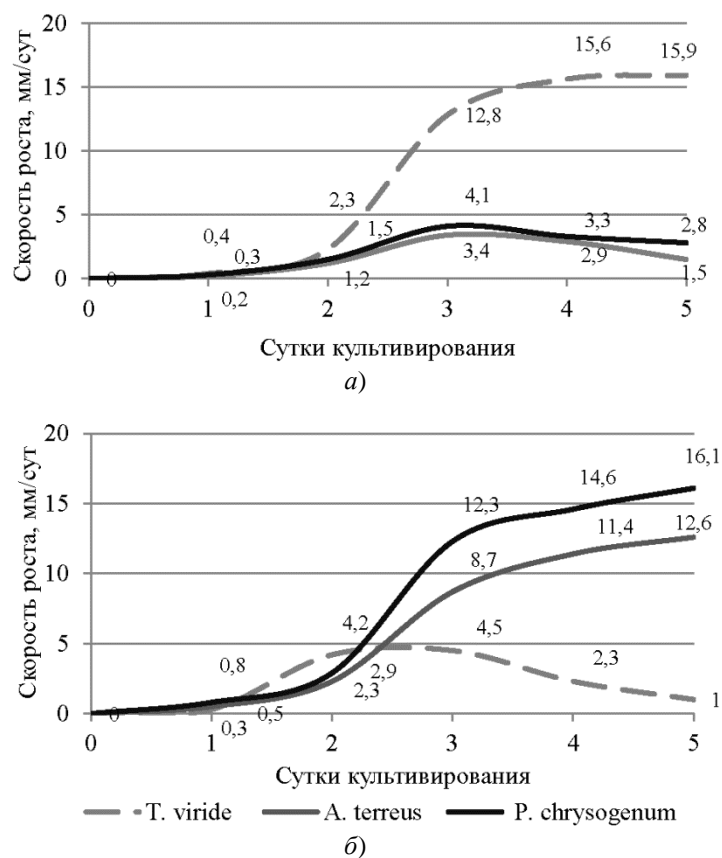


Рис. 3. Развитие мицелиальных культур *Trichoderma viride*, *Aspergillus terreus* и *Penicillium chrysogenum* при совместном культивировании: а) контроль – развитие на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой; б) опыт – аналогичная среда с добавлением сиреневого альдегида (0,25 % от массы) ( $p < 0,05$ )

Совместное культивирование трех изученных видов на указанной среде позволило установить угнетение развития культуры *T. viride* на фоне интенсивного развития *A. terreus* и *P. chrysogenum*.

При совместном культивировании на среде Гетчинсона с фильтровальной бумагой в качестве источника целлюлозы отмечалось интенсивное развитие *T. viride*, которая быстро утилизировала доступные ресурсы, что сопровождалось ее активной экспансией по площади питательной среды. При этом надо отметить, что культуры *A. terreus* и *P. chrysogenum*, чьи скорости роста были снижены до минимальных значений, тем не менее не были вытеснены из комплекса взаимодействующих видов полностью. Локально, на поверхности среды, а также и на стенках чашки Петри (на следовых количествах застывшей среды) отмечались и вторичные очаги роста мицелия данных видов, обусловленные спороношением.

В опытных вариантах, предполагающих внесение в питательную среду сиреневого альдегида в концентрации 0,25 % от массы среды, более конкурентоспособными проявили себя напротив, *A. terreus* и *P. chrysogenum*, подавившие развитие *T. viride*. Торможение развития триходермы стало заметным к третьим суткам совместного культивирования, хотя лаг-фаза развития протекала у этого вида довольно активно. Вероятно, за счет угнетения целлюлозолитической активности стала затрудненной ассимиляция ресурсов субстрата. Развитие же видов-конкурентов, способных за счет активизации оксидазного комплекса к ассимиляции не только целлюлозы, но и метоксильных групп, а также фенольных структур лигнина, происходило весьма эффективно. Нельзя исключить и возможности неферментативного расщепления целлюлозы за счет активных форм кислорода и других радикалов, образующихся в ходе каскадных реакций, протекающих при деструкции сиреневого альдегида. Таким образом, проведенные исследования позволили продемонстрировать регулируемую роль со стороны лигниновых компонентов субстрата (метоксильных групп и фенолов), в формировании вектора конкурентных взаимоотношений типичных представителей почвенной микобиоты в модельных условиях [17–19].

Можно предположить, что присутствие продукта деструкции лигнина способно выступить как фактор отбора, определяющий конкурентный потенциал микобиоты и функциональную активность ее компонентов на разных стадиях почвообразовательного процесса. Учитывая, что сиреневый альдегид и сходные с ним фенольные соединения являются компонентами нерегулярной молекулы лигнина, высвобождаемыми в процессах гумификации, можно допустить существование аналогичных механизмов в естественных условиях.

### Список литературы

1. Ball B. C., Hargreaves P. R., Watson C. A. A framework of connections between soil and people can help improve sustainability of the food system and soil functions // *Ambio*. 2018. Vol. 47, № 3. P. 269–283. doi:10.1007/s13280-017-0965-z. PMID: 29178061.
2. Guo F., Qin S., Xu L., Bai Y., Xing B. Thermal degradation features of soil humic acid sub-fractions in pyrolytic treatment and their relation to molecular signatures // *Science of The Total Environment*. 2020. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142318. PMID: 33370911.
3. Rhodes C. J. Temporal connection revealed from past usage of soil helps to bring awareness to policy workers of the need for the long-term preservation of soil quality



- for environmental conservation. The understanding of indirect and temporal connections can be helped by // *Sci Prog.* 2017. P. 80–129. doi:10.3184/003685017X14876775256165. PMID: 28693674.
4. Стручкова И. В., Лазарева Е. С., Смирнов В. Ф. Амилазная и оксидоредуктазная активность микодеструктора *Aspergillus terreus* при его росте на новых полимерных материалах // *Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского.* 2010. № 2 (2). С. 591–595.
  5. Ahmad K. S. Remedial potential of bacterial and fungal strains (*Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* and *Penicillium chrysogenum*) against organochlorine insecticide Endosulfan // *Folia Microbiol (Praha).* 2020. Vol. 65, № 5. P. 801–810. doi:10.1007/s12223-020-00792-7. PMID: 32383069.
  6. Hewedy O. A., Abdel Lateif K. S., Seleiman M. F. [et al.]. Phylogenetic Diversity of *Trichoderma* Strains and Their Antagonistic Potential against Soil-Borne Pathogens under Stress Conditions // *Biology (Basel).* 2020. Vol. 9, № 8. P. 189. doi:10.3390/biology9080189. PMID: 32718102.
  7. Lee S., Monnappa A. K., Mitchell R. J. Biological activities of lignin hydrolysate-related compounds // *BMB Reports.* 2012. Vol. 45, № 5. P. 265–274. doi:10.5483/bmbrep.2012.45.5.265. PMID: 22617449.
  8. Singh G., Singh S., Kaur K. [et al.]. Thermo and halo tolerant laccase from *Bacillus* sp. SS4: Evaluation for its industrial usefulness // *Gen Appl Microbiol.* 2019. Vol. 65, № 1. P. 26–33. doi:10.2323/jgam.2018.04.002. PMID: 29952346.
  9. Henderson M. E., Farmer V. C. Utilization by soil fungi of p-hydroxybenzaldehyde, ferulic acid, syringaldehyde and vanillin // *Gen Microbiol.* 1955. Vol. 12, № 1. P. 37–46. doi:10.1099/00221287-12-1-37. PMID: 14354131.
  10. Zhang D., Yan D., Cheng H. [et al.]. Effects of multi-year biofumigation on soil bacterial and fungal communities and strawberry yield // *Environ Pollut.* 2020. doi:10.1016/j.envpol.2019.113415. PMID: 31672346.
  11. Mhlongo S. I., Viljoen-Bloom M., Van Zyl W. H., Den Haan R. Lignocellulosic hydrolysate inhibitors selectively inhibit/deactivate cellulase performance // *Enzyme and Microbial Technology.* 2015. Vol. 81. P. 16–22. doi:10.1016/j.enzmictec.2015.07.005. PMID: 26453468.
  12. Бухало А. С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. Киев : Наукова думка, 1988. 144 с.
  13. Закис Г. Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производных. Рига : Зинатне, 1987. 230 с.
  14. Folch J. A., Lees M., Sloane Stanley G. H. Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipides from Animal Tissues // *The Journal of Biological Chemistry.* 1957. Vol. 226. P. 497–509.
  15. Халафян А. А. *Statistica 6. Статистический анализ данных.* 3-е изд. М. : Бином-Пресс, 2007. 512 с.
  16. Liu Y., Feng Y., Cheng D. [et al.]. Gentamicin degradation and changes in fungal diversity and physicochemical properties during composting of gentamicin production residue // *Bioresour Technol.* 2017. № 244. P. 905–912. doi:10.1016/j.biortech. PMID: 28847079.
  17. Лыков Ю. С., Ильина Г. В., Ильин Д. Ю. Возможности стимуляции синтеза эргостерина мицелием ксилотрофных базидиомицетов в условиях глубинной культуры // *Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В. Г. Белинского. Естественные науки.* 2011. № 25. С. 290–294.
  18. Фенгел Д., Вегенер Г. *Древесина (химия, ультраструктура, реакции) : пер. с англ. / под ред. А. А. Леоновича.* М. : Лесная промышленность, 1988. 512 с.
  19. Rhodes C. J. The imperative for regenerative agriculture // *Sci Prog.* 2017. Vol. 100, № 1. P. 80–129. doi:10.3184/003685017X14876775256165. PMID: 28693674.

## References

1. Ball B.C., Hargreaves P.R., Watson C.A. A framework of connections between soil and people can help improve sustainability of the food system and soil functions. *Ambio*. 2018;47(3):269–283. doi:10.1007/s13280-017-0965-z. PMID: 29178061.
2. Guo F., Qin S., Xu L., Bai Y., Xing B. Thermal degradation features of soil humic acid sub-fractions in pyrolytic treatment and their relation to molecular signatures. *Science of The Total Environment*. 2020. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142318. PMID: 33370911.
3. Rhodes C.J. Temporal connection revealed from past usage of soil helps to bring awareness to policy workers of the need for the long-term preservation of soil quality for environmental conservation. The understanding of indirect and temporal connections can be helped by. *Sci Prog*. 2017;80–129. doi:10.3184/003685017X14876775256165. PMID: 28693674.
4. Struchkova I.V., Lazareva E.S., Smirnov V.F. Amylase and oxidoreductase activity of the mycodestructor *Aspergillus terreus* during its growth on new polymeric materials. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N.I. Lobachevskogo = Bulletin of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2010;(2):591–595. (In Russ.)
5. Ahmad K.S. Remedial potential of bacterial and fungal strains (*Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* and *Penicillium chrysogenum*) against organochlorine insecticide Endosulfan. *Folia Microbiol (Praha)*. 2020;65(5):801–810. doi:10.1007/s12223-020-00792-7. PMID: 32383069.
6. Hewedy O.A., Abdel Lateif K.S., Seleiman M.F. [et al.]. Phylogenetic Diversity of *Trichoderma* Strains and Their Antagonistic Potential against Soil-Borne Pathogens under Stress Conditions. *Biology (Basel)*. 2020;9(8):189. doi:10.3390/biology9080189. PMID: 32718102.
7. Lee S., Monnappa A.K., Mitchell R.J. Biological activities of lignin hydrolysate-related compounds. *BMB Reports*. 2012;45(5):265–274. doi:10.5483/bmbrep.2012.45.5.265. PMID: 22617449.
8. Singh G., Singh S., Kaur K. [et al.]. Thermo and halo tolerant laccase from *Bacillus* sp. SS4: Evaluation for its industrial usefulness. *Gen Appl Microbiol*. 2019;65(1):26–33. doi:10.2323/jgam.2018.04.002. PMID: 29952346.
9. Henderson M.E., Farmer V.C. Utilization by soil fungi of p-hydroxybenzaldehide, ferulic acid, syringaldehyde and vanillin. *Gen Microbiol*. 1955;12(1):37–46. doi:10.1099/00221287-12-1-37. PMID: 14354131.
10. Zhang D., Yan D., Cheng H. [et al.]. Effects of multi-year biofumigation on soil bacterial and fungal communities and strawberry yield. *Environ Pollut*. 2020. doi:10.1016/j.envpol.2019.113415. PMID: 31672346.
11. Mhlongo S.I., Viljoen-Bloom M., Van Zyl W.H., Den Haan R. Lignocellulosic hydrolysate inhibitors selectively inhibit/deactivate cellulase performance. *Enzyme and Microbial Technology*. 2015;81:16–22. doi:10.1016/j.enzmictec.2015.07.005. PMID: 26453468.
12. Bukhalo A.S. *Vysshie s"edobnye bazidiomitsety v chistoy kul'ture = Higher edible basidiomycetes in pure culture*. Kiev: Naukova dumka, 1988:144. (In Russ.)
13. Zakis G.F. *Funktsional'nyy analiz ligninov i ikh proizvodnykh = Functional analysis of lignins and their derivatives*. Riga: Zinatne, 1987:230. (In Russ.)
14. Folch J.A., Lees M., Sloane Stanley G.H. Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipides from Animal Tissues. *The Journal of Biological Chemistry*. 1957; 226:497–509.
15. Khalafyan A.A. *Statistica 6. Statisticheskii analiz dannykh = Statistica 6. Statistical data analysis*. 3rd ed. Moscow: Binom-Press, 2007:512. (In Russ.)
16. Liu Y., Feng Y., Cheng D. [et al.]. Gentamicin degradation and changes in fungal diversity and physicochemical properties during composting of gentamicin production residue. *Bioresour Technol*. 2017;(244):905–912. doi:10.1016/j.biortech. PMID: 28847079.

17. Lykov Yu.S., P'ina G.V., P'in D.Yu. Possibilities of stimulation of ergosterol synthesis by mycelium of xylotrophic basidiomycetes under conditions of submerged culture. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni V.G. Belinskogo. Estestvennye nauki = Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinskiy. Natural sciences.* 2011;(25):290–294. (In Russ.)
18. Fengel D., Vegener G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsii): per. s angl. = Wood (chemistry, ultrastructure, reactions): translated from English.* Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1988:512. (In Russ.)
19. Rhodes C.J. The imperative for regenerative agriculture. *Sci Prog.* 2017;100(1):80–129. doi:10.3184/003685017X14876775256165. PMID: 28693674.

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

##### ***Галина Викторовна Ильина***

доктор биологических наук, профессор,  
профессор кафедры биологии,  
биологических технологий и ветеринарно-  
санитарной экспертизы, Пензенский  
государственный аграрный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru

##### ***Galina V. Ilyina***

Doctor of biological sciences, professor,  
professor of the sub-department of biology,  
biological technologies and veterinary and  
sanitary expertise, Penza State Agrarian  
University (30 Botanicheskaya street,  
Penza, Russia)

##### ***Дмитрий Юрьевич Ильин***

кандидат биологических наук, доцент,  
доцент кафедры биологии,  
биологических технологий и ветеринарно-  
санитарной экспертизы, Пензенский  
государственный аграрный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: ilyin.d.u@pgau.ru

##### ***Dmitry Yu. Ilyin***

Candidate of biological sciences, associate  
professor, associate professor of the  
sub-department of biology, biological  
technologies and veterinary and sanitary  
expertise, Penza State Agrarian University  
(30 Botanicheskaya street, Penza, Russia)

##### ***Анна Андреевна Воробьева***

аспирант, Пензенский государственный  
аграрный университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Ботаническая, 30)

E-mail: vorobieva.a.a@pgau.ru

##### ***Anna A. Vorobyova***

Postgraduate student, Penza State Agrarian  
University (30 Botanicheskaya street,  
Penza, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 08.10.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 05.11.2021**

**Принята к публикации / Accepted 25.11.2021**

УДК 598.279.23:575.2(470.4)  
doi:10.21685/2307-9150-2021-4-9

## Генетическая дифференциация поволжской популяции орла-могильника (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) по результатам анализа гена *cyt b*

М. Д. Симаков<sup>1</sup>, М. В. Корепов<sup>2</sup>, А. А. Кузьмин<sup>3</sup>, С. В. Титов<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup>Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

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

<sup>1</sup>maksimakov@bk.ru, <sup>2</sup>korepov@list.ru, <sup>3</sup>kuzmin-puh@yandex.ru,  
<sup>4</sup>svtitov@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Несмотря на подробную изученность изменчивости контрольного региона мтДНК орлов-могильников в поволжской популяции, должного внимания второму, менее изменчивому в филогенетическом плане митохондриальному маркеру – *cyt b*, уделено не было. Поэтому исследования полиморфизма гена *cyt b* в поволжской популяции *A. heliaca* на фоне уже имеющихся данных по изменчивости мтДНК являются актуальными и полезными для уточнения популяционной дифференциации орлов-могильников на уровне региональных гнездовых групп. Целью работы было изучение уровня полиморфизма и выявление специфических генетических и экологических черт поволжской популяции орла-могильника (*A. heliaca*) на территории Ульяновской области по данным анализа изменчивости гена *cyt b* митохондриальной ДНК. *Материалы и методы.* Материал для генетических исследований был получен из проб ( $n = 15$ ) линных перьев орлов-могильников, собранных в Ульяновской области. ДНК выделяли по стандартной методике фенол-хлороформной экстракции после обработки материала протеиназой К и SDS. Для генетического анализа полиморфизма фрагмента гена *cyt b* (977 пн) использовали оригинальные праймеры – AqH Cyt b D (5'-GAAAGTCCCACCCCTCTGCT-3') и AqH Cyt b R (5'-GCTCCAATTAGAGGGAAGAG-3'). Полимеразноцепную реакцию (PCR) проводили в 25 мкл стандартной реакционной смеси при температуре отжига 60 °С. Секвенирование фрагментов контрольного региона мтДНК ( $n = 15$ ) проводили на секвенаторе ABI 3500 (Applied Biosystems). Гаплотипическое и нуклеотидное разнообразие изучали с помощью программы DnaSP 5.10.01. Для реконструкции филогенетических отношений использовали методы максимального правдоподобия (ML) в программе MEGA X. Медианная сеть (Median Joining) митохондриальных гаплотипов была построена в программе PopART с использованием алгоритма TCS. Полученные нуклеотидные последовательности выявленных гаплотипов мтДНК по нуклеотидным последовательностям гена *cyt b* орла-могильника были депонированы в GenBank NCBI под номерами OL421575–OL421587. Для статистической обработки результатов для всех тестов был установлен уровень значимости  $p \leq 0,05$ . *Результаты.* Полученные в ходе нашего исследования данные по скрытому полиморфизму митохондриального гена *cyt b* географически изолированных гнездовых групп орла-могильника на территории Ульяновской области свидетельствуют о гаплотипическом разнообразии и специфичности поволжской популяции *A. heliaca*. Максимальное число специфических гаплотипов отмечается в северо-восточной и южной гнездовых группах поволжской популяции, приуроченных к наиболее фрагментированным лесостепным и степным участкам Ульяновской области (Нар 3,

© Симаков М. Д., Корепов М. В., Кузьмин А. А., Титов С. В., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Нар 6, Нар 7 – 60 % и Нар 9, Нар 10, Нар 11 – 43 % соответственно). При этом самым распространенным в поволжской популяции гаплотипом является Нар 4, который формирует основу как гаплогруппы AqH\_1 (= G1), так и каждой из выделенных географических гнездовых групп (NE – 40 %, C – 33 %, S – 57 %). В то же время таких выраженных различий в доле гаплотипической структуре групп оказалось недостаточно для обнаружения статистически достоверно значимой генетической дифференциации ульяновской субпопуляции поволжской популяции орла-могильника.

**Выводы.** Полученные данные по изменчивости фрагмента гена *cyt b* свидетельствуют, что уровень полиморфизма орла-могильника является низким, а популяция, регистрируемая на территории Ульяновской области, является достаточно однородной.

**Ключевые слова:** *Aquila heliaca*, ген *cyt b*, мтДНК, гаплотипическое разнообразие, поволжская популяция

**Для цитирования:** Симаков М. Д., Корепов М. В., Кузьмин А. А., Титов С. В. Генетическая дифференциация поволжской популяции орла-могильника (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) по результатам анализа гена *cyt b* // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 92–106. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-9

### Genetic differentiation of the Volga population of the eastern imperial eagle (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) based on the *cyt b* gene analysis results

M.D. Simakov<sup>1</sup>, M.V. Korepov<sup>2</sup>, A.A. Kuzmin<sup>3</sup>, S.V. Titov<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Penza State University, Penza, Russia

<sup>2</sup>Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov, Ulyanovsk, Russia

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

<sup>1</sup>maksimakov@bk.ru, <sup>2</sup>korepov@list.ru, <sup>3</sup>kuzmin-puh@yandex.ru, <sup>4</sup>sstitov@yandex.ru

**Abstract. Background.** Despite the study of the variability of the mtDNA control region of the eastern imperial eagles in the Volga population, due attention was not paid to *cyt b*, the second mitochondrial marker. Therefore, studies of *cyt b* gene polymorphism in Volga population of *Aquila heliaca*, taking into account the available data on mtDNA variability, are relevant and useful. This is necessary to clarify the population differentiation of imperial eagles at the level of regional breeding groups. The purpose of the research is to study the level of polymorphism of the imperial eagle (*A. heliaca*) on the territory of the Ulyanovsk region according to the analysis of the variability of the *cyt b* gene of mitochondrial DNA. In addition, it was supposed to identify specific genetic and ecological traits of the Volga population. **Materials and methods.** The material for genetic studies was obtained from samples ( $n = 15$ ) of linn feathers of imperial eagles collected in the Ulyanovsk region. DNA was isolated according to the standard procedure of phenol-chloroform extraction after treatment of the material with proteinase K and SDS. Original primers – AqH Cyt b D (5'-GAAAGTCCCACCCTCTGCT-3') and AqH Cyt b R (5'-GCTCCAATTAGGGAAGAG-3') were used for genetic analysis of polymorphism of the *cyt b* gene fragment (977 bp). The polymerase chain reaction (PCR) was carried out in 25  $\mu$ l of a standard reaction mixture at an annealing temperature of 60 °C. Fragments of the mtDNA control region ( $n = 15$ ) were sequenced using an ABI 3500 sequencer (Applied Biosystems). Haplotypic and nucleotide diversity were studied using the DnaSP 5.10.01 program. Maximum likelihood (ML) methods in the MEGA X program were used to reconstruct phylogenetic relationships. The Median network (Median Joining) of mitochondrial haplotypes was built in the

PopART program using the TCS algorithm. The obtained nucleotide sequences of mtDNA haplotypes of the *cyt b* gene of the imperial eagle were deposited in GenBank NCBI – OL421575–OL421587. For statistical processing of the results, the significance level  $p \leq 0.05$  was set for all tests. **Results.** The data obtained in the course of the study on the latent polymorphism of the mitochondrial *cyt b* gene of geographical breeding groups of the imperial eagle on the territory of the Ulyanovsk region indicates the haplotypic diversity and specificity of the Volga population of *A. heliaca*. The maximum number of specific haplotypes is observed in the northeastern and southern breeding groups of the Volga population. They are confined to the most fragmented forest-steppe and steppe areas of the Ulyanovsk region (Hap 3, Hap 6, Hap 7 – 60 % and Hap 9, Hap 10, Hap 11 – 43 %, respectively). At the same time, the most common haplotype in the Volga population is Hap 4. It forms the basis of haplogroup AqH\_1 (= G1) and each of the selected geographical breeding groups (NE – 40 %, C – 33 %, S – 57 %). Such pronounced differences in the shared haplotypic structure of the groups were insufficient to detect statistically significantly genetic differentiation of the Ulyanovsk subpopulation of the Volga population of the imperial eagle. **Conclusions.** The obtained data on the variability of the *cyt b* gene fragment indicate that the level of polymorphism of the imperial eagle is low, and the population recorded in the Ulyanovsk region is fairly homogeneous.

**Keywords:** *Aquila heliaca*, *cyt b* gene, mtDNA, haplotype diversity, Volga region population

**For citation:** Simakov M.D., Korepov M.V., Kuzmin A.A., Titov S.V. Genetic differentiation of the Volga population of the eastern imperial eagle (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) based on the *cyt b* gene analysis results. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):92–106. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-9

Одним из самых редких видов дневных хищных птиц в Поволжье является орел-могильник (*Aquila heliaca*, Savigny 1809). В некоторых регионах Поволжья (Пензенская область, Республика Мордовия, Чувашская республика и др.) отмечены лишь единичные его встречи [1–3]. Орел-могильник включен в Красную книгу Российской Федерации (категория 2, У, III – сокращающий численность, уязвимый вид, требующий общих мер охраны) и Красный список МСОП (VU – уязвимый вид) [4]<sup>1</sup>. Вследствие своего палеарктического распространения в пустынных, степных и лесостепных ландшафтах от Словакии на западе до Забайкалья на востоке и особенностей биотопической приуроченности [5] этот крупный вид хищных птиц формирует не всегда четко ограниченные региональные популяции (западную, карпатскую, днепро-донскую, прикаспийскую, поволжскую и южно-уральскую и др.). При этом в зависимости от существующих региональных условий *A. heliaca* может образовывать достаточно большие гнездовые группы. Одним из примеров такой группы является поволжская популяция орла-могильника, ядро которой располагается на территории Ульяновской области [6, 7]. Такие региональные особенности распространения способствуют формированию некоторой генетической дифференциации и возникновению заметных генетических различий обособленных гнездовых групп орлов.

Изучение генетической дифференциации географически обособленных популяций орлов-могильников проводили на уровне изменчивости митохондриальной и микросателлитной ДНК. Первые исследования были посвящены

<sup>1</sup> Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации : приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 24 марта 2020 г. № 162. URL: www.garant.ru

изучению видовой генетической дифференциации и филогении пяти европейских орлов рода *Aquila* (*A. clanga*, *A. pomarina*, *A. chrysaetos*, *A. heliaca*, *A. adalberti*) по уровню изменчивости гена мтДНК *cyt b* [8]. В результате этих исследований были выявлены надежные видовые различия у изученных таксономических форм по данному молекулярно-генетическому маркеру.

Недавние наши исследования мтДНК (D-loop) в поволжской популяции орлов-могильников (Ульяновская область) выявили ее генетическую особенность относительно западных и восточных евразийских популяций. Из восьми гаплотипов мтДНК орлов-могильников, обнаруженных на территории области, шесть гаплотипов (RA, RB, RC, RD, RE, RF) для поволжской популяции оказались специфичными, а пять – D, E, F, R, S – такими же, как митотипы, обнаруженные в Словакии, Венгрии и Казахстане [9, 10]. В последних исследованиях [10] было показано, что на уровне поволжской популяции существует более мелкая градация на локальные гнездовые группы: татарстанскую (RTat) и четыре ульяновские – северо-западную (UI-NW), северо-восточную (UI-NE), центральную (UI-C) и южную (UI-S).

Несмотря на столь подробную изученность изменчивости контрольного региона мтДНК орлов-могильников в поволжской популяции, должного внимания второму менее изменчивому в филогенетическом плане митохондриальному маркеру – *cyt b* уделено не было. Поэтому исследования полиморфизма гена *cyt b* в поволжской популяции *A. heliaca* на фоне уже имеющихся данных по изменчивости мтДНК являются актуальными и необходимыми для уточнения популяционной дифференциации орлов-могильников на уровне региональных гнездовых групп.

Целью работы было изучение уровня полиморфизма и выявление специфических генетических и экологических черт поволжской популяции орла-могильника (*A. heliaca*) на территории Ульяновской области по данным анализа изменчивости гена *cyt b* митохондриальной ДНК.

### Материалы и методы

Материал для генетических исследований был получен из проб ( $n = 15$ ) линных перьев орлов-могильников, собранных в Ульяновской области (табл. 1, рис. 1). При изучении генетической дифференциации поволжской популяции *A. heliaca* кроме упомянутых выше генетических проб в аналитическую выборку ( $n = 20$ ) были включены секвенсы фрагментов мтДНК (*cyt b*) орлов-могильников ( $n = 5$ ), полученных в исследованиях других авторов (Z73465, EU345506, AJ604488, AY987285, KU646835) [8, 11–14].

ДНК выделяли из линных перьев взрослых птиц, преимущественно маховых и рулевых, собранных под гнездами орлов, а также из пульпы и крови птенцов (использовали полностью) [15] по стандартной методике фенол-хлороформной экстракции после обработки материала протеиназой K и SDS [16, 17].

Для генетического анализа полиморфизма фрагмента гена *cyt b* (977 пн) использовали оригинальные праймеры – AqH Cyt b D (5'-GAAAGTCCCA CCCTCTGCT-3') и AqH Cyt b R (5'-GCTCCAATTAGAGGGAAGAG-3'), подобранные по последовательности AJ604488, депонированной в GenBank NCBI [12]. Полимеразно-цепную реакцию (PCR) проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержащей 50 мМ трис-HCl (pH 8,9), 20 мМ сульфат аммония,

20 мкМ ЭДТА, 150 мкг/мл бычьего сывороточного альбумина, смесь дезоксирибонуклеозидтрифосфатов (200 мкМ каждого), 2 мМ хлористый магний, 15 пмоль каждого из праймеров, 2 ед. активности Taq-полимеразы и 0,1–0,2 мкг ДНК при температуре отжига 60 °С.

Таблица 1

Образцы ДНК орлов-могильников (*Aquila heliaca* Sav.)  
поволжской популяции, использованные в исследовании

Номер образца	Адрес	Координаты
AqH1	Ульяновская область, Барышский район, с. Калда	N 53.738056 E 47.567222
AqH7	Ульяновская область, Барышский район, с. Смольково	N 53.726219 E 47.648741
AqH12	Ульяновская область, Новомалыкский район, с. Средняя Якушка	N 54.154342 E 49.842140
AqH17	Ульяновская область, Чердаклинский район, с. Старое Матюшкино	N 54.363333 E 49.168611
AqH24	Ульяновская область, Мелекесский район, пос. Лесной	N 54.276944 E 49.173889
AqH26	Ульяновская область, Старомайнский район, с. Татарское Урайкино	N 54.420000 E 49.282222
AqH27	Ульяновская область, Кузоватовский район, с. Порецкое	N 53.819671 E 47.918599
AqH30	Ульяновская область, Радищевский район, пос. Соловчиха	N 52.976389 E 47.804167
AqH34	Ульяновская область, Радищевский район, с. Дмитриевка	N 52.993909 E 47.736327
AqH36	Ульяновская область, Радищевский район, пос. Соловчиха	N 53.001944 E 47.771944
AqH39	Ульяновская область, Радищевский район, пос. Соловчиха	N 52.976236 E 47.803679
AqH41	Ульяновская область, Радищевский район, пос. Соловчиха	N 53.000278 E 47.888889
AqH43	Ульяновская область, Радищевский район, с. Новая Лава	N 53.000278 E 47.888889
AqH59	Ульяновская область, Радищевский район, с. Ореховка	N 52.948056 E 48.223056
AqH60	Ульяновская область, Старомайнский район, с. Красная Река	N 54.599722 E 49.127778

Секвенирование фрагментов контрольного региона мтДНК ( $n = 15$ ) проводили на секвенаторе ABI 3500 (Applied Biosystems) с использованием набора реактивов BigDye® Terminator v 3.1 Cycle Sequencing Kits при первоначальной подготовке проб в амплификаторе SimpliAmp™ Thermal Cycler. Нуклеотидные последовательности были прочитаны и отредактированы



с помощью программы BioEdit 7.1.3.0 [18, 19]. Выравнивание нуклеотидных последовательностей осуществляли по алгоритму ClustalW в программе Mega X с обязательной доводкой вручную [20].

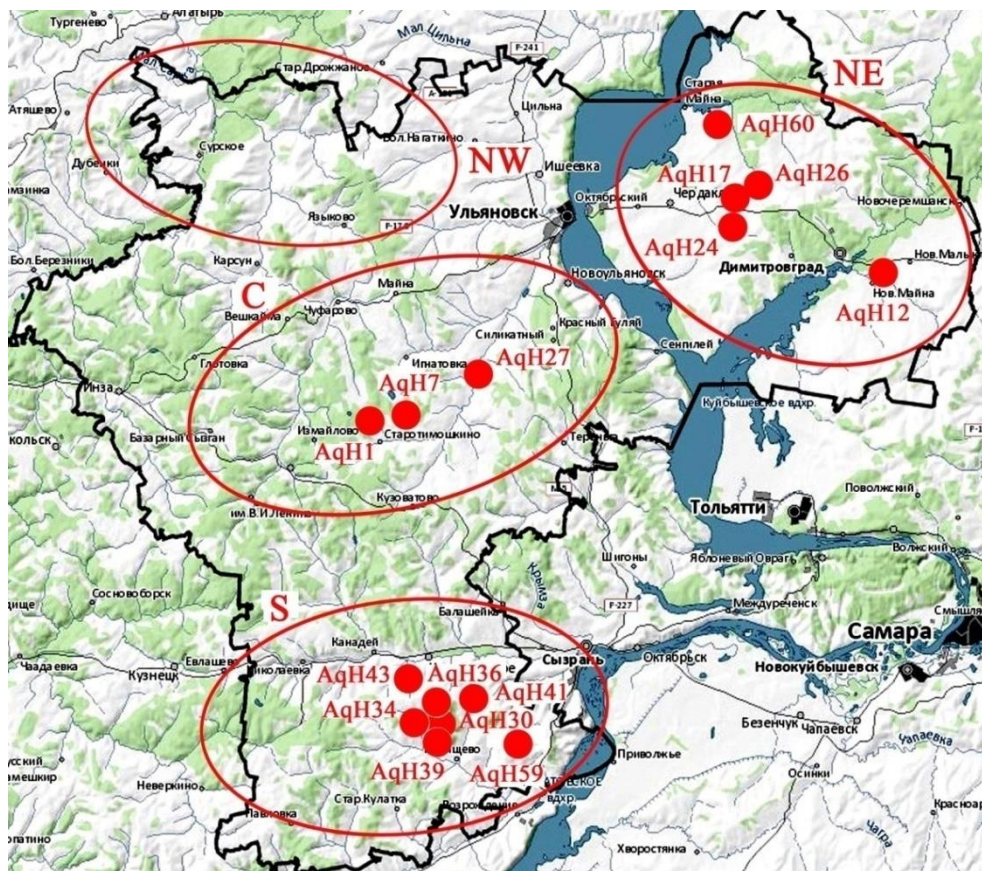


Рис. 1. Места сбора перьев орлов-могильников (*Aquila heliaca* Sav.) в Ульяновской области. Гнездовые группы: NW – северо-запад, NE – северо-восток, С – центр, S – юг Ульяновской области

Гаплотипическое и нуклеотидное разнообразие изучали с помощью программы DnaSP 5.10.01 [21]. Для реконструкции филогенетических отношений использовали методы максимального правдоподобия (ML) в программе MEGA X [22]. Статистическая достоверность порядка ветвления оценивалась с помощью бутстрэп-анализа 1000 альтернативных деревьев (процент бутстрэпа, %). Модель, наилучшим образом описывающая эволюционные изменения исследуемых последовательностей, была определена в программах MEGA X на основе байесовского информационного критерия (BIC). Медианная сеть (Median Joining) митохондриальных гаплотипов была построена в программе PopART [23] с использованием алгоритма TCS [24].

Полученные нуклеотидные последовательности выявленных гаплотипов мтДНК по нуклеотидным последовательностям гена *cyt b* орла-могильника были депонированы в GenBank NCBI под номерами OL421575–OL421587 (табл. 2).

Таблица 2  
Выявленные в Ульяновской области гаплотипы (митотипы, 977 пн) мтДНК (суг b) орлов-могильников

Гаплотип	Нуклеотидные замены и номера их позиций в последовательности																			Образцы ДНК (Ульяновская область)	Номера депонированных последовательностей (GenBank NCBИ)
	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	7	8	8	8	8	8	9	9		
Нар 1	G	C	A	C	C	A	A	A	A	G	C	G	T	T	A	T					
Нар 2	.	.	.	.	.	G	.	.	.	.	.	A	.	C	.	.					
Нар 3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	A	.	.	C	.					
Нар 4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	A	.	.	.	.					
Нар 5	.	G	G	T	G	C	.	.	G	A	.	.	.	.	.	.					
Нар 6	.	.	.	.	.	G	.	C	C	.	A	.	.	.	.	.					
Нар 7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	A	C	.	A	.	.	.					
Нар 8	.	.	.	.	.	G	.	.	.	A	.	.	.	.	.	.					
Нар 9	.	G	.	.	.	G	.	.	.	A	.	.	.	.	.	.					
Нар 10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	A	.	.	.	.	A	.					
Нар 11	A	.	.	.	.	.	.	.	.	A	.	.	.	.	.	.					

**Примечание.** \*Гаплотипы, впервые обнаруженные в Поволжье (Ульяновская область). Во второй колонке указаны характерные нуклеотидные замены и номер их позиций в последовательности.

Для статистической обработки результатов для всех тестов был установлен уровень значимости  $p \leq 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

Исследования фрагментов мтДНК (977 пн) орлов-могильников поволжской популяции ( $n = 15$ ) и уже известных последовательностей *cyt b* ( $n = 5$ , NCBI) позволили выявить 11 гаплотипов и уточнить гаплотипическое и нуклеотидное разнообразие *A. heliaca* в Поволжье по данному молекулярно-генетическому маркеру (DnaSP 5.10.01) (табл. 2). При этом в ходе генетического анализа было установлено, что депонированная последовательность KU646835, ошибочно признанная как фрагмент гена *cyt b* *A. heliaca* [14], принадлежит беркату (*A. chrysaetos*). Последовательности Z73465 [8] и EU345506 [11] соответствуют гаплотипу Нар 1, AJ604488 [12] – Нар 2, а AY987285 [13] – Нар 4.

Число сегрегирующих сайтов составило 17, число мутаций – 17. Число сайтов с однократными заменами – 16 (поз. 9, 52, 421, 422, 430, 463, 488, 503, 555, 798, 858, 859, 892, 905 пн), число информационных сайтов – 1 (поз. 478 пн). Было выделено 11 гаплотипов (h), гаплотипическое разнообразие (Hd) составило 1,00, нуклеотидное разнообразие (Pi) – 0,20321, среднее число нуклеотидных различий (k) – 3,455 (табл. 2). При этом выявлена низкая дисперсия разнообразия гаплотипов (0,0015; Fu's Fs statistic = -8,955, Strobeck's S statistic – 1,00), а вероятность того, что число гаплотипов равно только одиннадцати, составляет ноль процентов. Тест на нейтральность происходящих микроэволюционных событий указывает на достоверный избыток одиночных гаплотипов и прохождение популяций через «бутылочное горлышко» с последующим подъемом численности (Tajima's D = 1,813,  $p < 0,05$ ; Fu and Li's D = -2,306,  $p < 0,02$  и Fu and Li's F = -2,469,  $p < 0,05$ ). Вероятность существования такой демографической ситуации в поволжской популяции орла-могильника подтверждают данные по многолетней динамике численности и числа гнездовых пар могильников, указывающие на быстрое увеличение в последние десятилетия числа гнездящихся пар *A. heliaca* в Ульяновской области [6, 7, 25].

В выделенных географических гнездовых группах орлов-могильников (рис. 1) присутствуют как широко распространенные, так и специфические гаплотипы. Для всех гнездовых групп орлов характерно преобладание гаплотипа Нар 4. В северо-восточной гнездовой группе ( $n = 5$ ) его доля составляет 40 %, в центральной ( $n = 3$ ) – 33 %, в южной ( $n = 7$ ) – 57 %. Для северо-восточной группы специфическими гаплотипами оказались Нар 3, Нар 6 и Нар 7; для центральной – Нар 5 и Нар 8; а для южной – Нар 9, Нар 10 и Нар 11. Выявленное долевое преобладание в географически обособленных гнездовых группах орлов-могильников четырех гаплотипов мтДНК объясняет большие нуклеотидные различия при сравнении северо-восточной группы с центральной ( $k = 4,667$ ,  $\pi = 0,275$ ) и менее выраженные различия при ее сравнении с южной ( $k = 2,000$ ,  $\pi = 0,118$ ) и при парном сравнении центральной и южной групп ( $k = 2,000$ ,  $\pi = 0,118$ ).

Для изучения полиморфизма митохондриальной ДНК орла-могильника был проведен ML-анализ последовательностей фрагментов гена *cyt b* мтДНК

(977 пн), представляющих гаплотипы орла-могильника ( $n = 15$ ). В качестве внешней группы была использована последовательность гена *cyt b* беркута [14]. Наиболее подходящей для описания филогенетических отношений между гаплотипами при построении дендрограммы оказалась Hasegawa – Kishino – Yano модель (HKY) –  $\ln L = -1745,26$ ,  $BIC = 3852,19$ ;  $AICc = 3564,68$ . Для описания уровня эволюционной дифференциации и разнообразия гаплотипов была использована Tamura – Nei модель (TN93).

На дендрограмме, иллюстрирующей филогенетические отношения гаплотипов гена *cyt b* мтДНК орла-могильника, выявляются две слабо выраженные гаплогруппы (рис. 2).

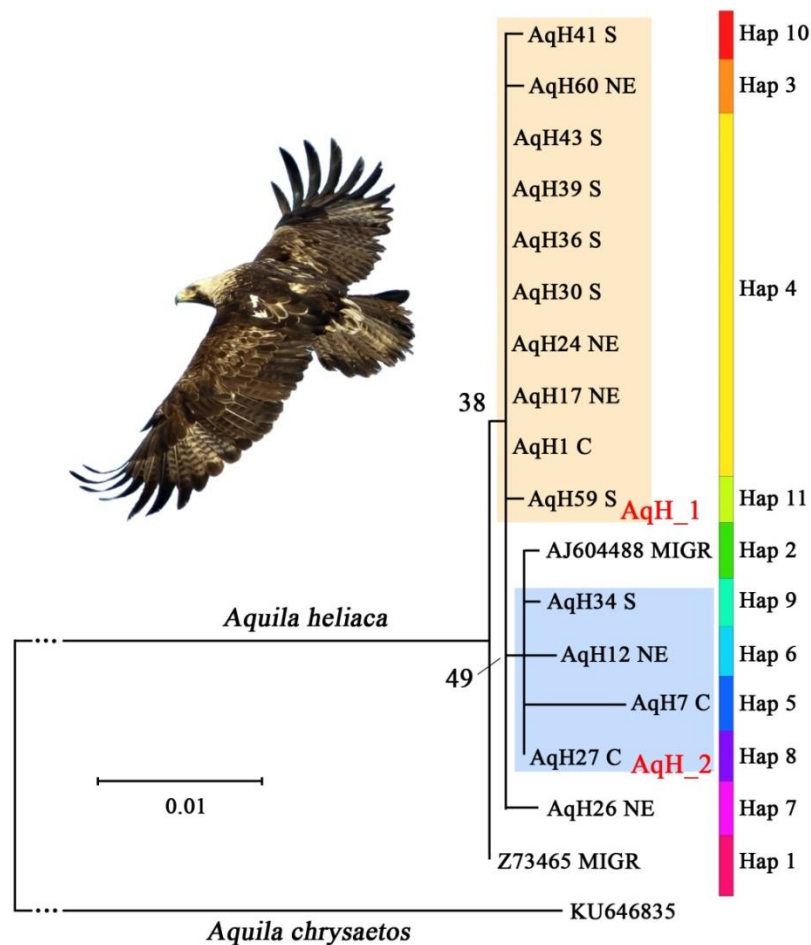


Рис. 2. Дендрограмма филогенетических взаимоотношений гаплотипов орлов-могильников *Aquila heliaca* на основе анализа последовательностей гена *cyt b* мтДНК (977 пн) методом максимального правдоподобия (ML) (Hasegawa-Kishino-Yano models). Внешняя группа – беркут (*A. chrysaetos*). Цифры в узлах указывают на уровень бутстреп-поддержки (1000 бутстреп-реplik), справа выделены цветом и указаны выделенные гаплотипы. Сокращения мест локализации проб: MIGR – пролет, NE – северо-восток, С – центр, S – юг Ульяновской области. Гаплогруппы – AqH\_1 и AqH\_2 (фото орла-могильника на рис. 2 © М. Корепов)

В первую гаплогруппу (AqH\_1) вошли 9 последовательностей аналитической выборки (60 %) четырех выявленных гаплотипов – Нар 3, Нар 4, Нар 10, Нар 11. Во вторую гаплогруппу (AqH\_2) объединены только четыре последовательности четырех специфических гаплотипов – Нар 5, Нар 6, Нар 8, Нар 9.

При рассмотрении гаплотипического состава выделенных в филогенетическом анализе гаплогрупп орла-могильника заметна определенная закономерность. Первую гаплогруппу (AqH\_1) формируют гаплотипы мтДНК, характеризующиеся (относительно Нар 1) одной или двумя нуклеотидными заменами. Вторая гаплогруппа (AqH\_2), напротив, состоит из гаплотипов, имеющих от 2 до 8 нуклеотидных замен. При этом последовательности фрагмента гена *cyt b* мт ДНК, вошедшие во вторую гаплогруппу, очевидно, сближает общая замена G–A в 478 позиции (табл. 2).

Наибольший уровень средней эволюционной дивергенции (р-дистанция) по парам последовательностей был обнаружен в гаплогруппе орла-могильника AqH\_2 –  $0,464 \pm 0,153$  %. Для гаплогрупп AqH\_1 этот показатель оказался значительно ниже –  $0,062 \pm 0,036$  %. Оценка средней эволюционной дистанции между гаплогруппами *A. heliaca* показала, что она, ожидаемо, усредняется: AqH\_1/AqH\_2 –  $0,365 \pm 0,130$  %. Результаты анализа среднего эволюционного разнообразия ( $\pi$ ) выделенных гаплогрупп свидетельствуют о низком уровне их дифференциации. Были получены только показатели для всей выборки и при сравнении секвенсов внутри групп –  $0,0022 \pm 0,0007$  и  $0,0026 \pm 0,0008$  соответственно. Показатели разнообразия при межгрупповом сравнении и значение коэффициента эволюционной дифференциации гаплотипов орла-могильника не имеют статистического смысла, что также указывает на низкую дифференциацию географически обособленных гнездовых групп.

Для уточнения кластеризации анализируемых гаплотипов орлов-могильников, полученных в ходе филогенетического анализа, и выяснения микроэволюционных событий между ними была построена медианная сеть гаплотипов *cyt b* мтДНК, выявленных в поволжской популяции, и маркерных гаплотипов, не обнаруженных в ней (рис. 3). Сеть построена на основании 17 сегрегирующих и 1 информативного сайтов. Нуклеотидное разнообразие ( $\pi$ ) вошедших в сеть последовательностей составило 0,1367, коэффициент дифференциации ( $F_{ST}$ ) – 0,0758 ( $p < 0,189$ ), а тест Таджимы выявил генетическую структуру изучаемых гаплогрупп орлов-могильников, свидетельствующую о широком представительстве редких гаплотипов и прохождении поволжской популяции через состояние «бутылочного горлышка» с последующим подъемом численности –  $T's D = -2,098$ , при  $p = 0,012$ . В целом она подтверждает данные, полученные выше при анализе последовательностей фрагментов гена *cyt b* мтДНК в программе MEGA.

Результаты медианного теста указывают на существование двух генетически близких (1 нуклеотидная замена) гаплогрупп последовательностей фрагмента гена *cyt b* мтДНК, соответствующих группам с меньшей (G1) и большей (G2) изменчивостью гаплотипов. В гаплогруппу G1 объединяются гаплотипы с небольшим количеством замен (0–3) относительно Нар 1, а ее состав соответствует составу филогенетической группы AqH\_1 с добавлением Нар 1 и Нар 7. В гаплогруппу G2 вошли гаплотипы с большим числом замен (3–8), которые в филогенетическом анализе сформировали группу AqH\_2, с добавлением Нар 2.

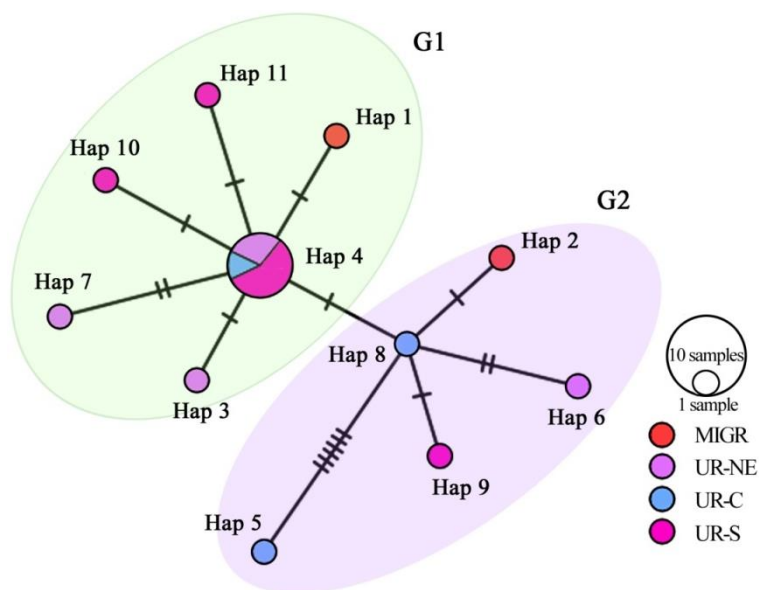


Рис. 3. Медианная сеть гаплотипов, построенная на основе последовательностей фрагмента *cyt b* мтДНК (977 пн) орлов-могильников *Aquila heliaca* ( $n = 17$ ). Поперечные штрихи на ветвях показывают количество мутационных событий. Цвета обозначают образцы гаплотипов с различной географической принадлежностью: MIGR – гаплотипы, не выявленные в Поволжье (NCBI GeneBank), NE – северо-восток Ульяновской области, С – центр Ульяновской области, S – юг Ульяновской области. Размер круга пропорционален числу особей, а доли пропорциональны частотам гаплотипов. Цветными эллипсами обозначены гаплогруппы (G1 и G2)

Полученные в ходе нашего исследования данные по скрытому, в некотором смысле, полиморфизму митохондриального гена *cyt b* географически изолированных гнездовых групп орла-могильника на территории Ульяновской области позволили сформулировать некоторые выводы о гаплотипическом разнообразии и специфичности поволжской популяции *A. heliaca*. Максимальное число специфических гаплотипов отмечается в северо-восточной и южной гнездовых группах поволжской популяции, приуроченных к наиболее фрагментированным лесостепным и степным участкам Ульяновской области (Hap 3, Hap 6, Hap 7 – 60 % и Hap 9, Hap 10, Hap 11 – 43 % соответственно). На участках локализации таких гнездовых групп биотопические условия потенциально подходят для географического закрепления некоторых генетических линий. При этом самым распространенным в поволжской популяции гаплотипом является Hap 4, который формирует основу как гаплогруппы AqH\_1 (= G1), так и каждой из выделенных географических гнездовых групп (NE – 40 %, С – 33 %, S – 57 %). В то же время таких выраженных различий в доле гаплотипической структуре гнездовых групп оказалось недостаточным для обнаружения статистически достоверно значимой генетической дифференциации ульяновской субпопуляции поволжской популяции орла-могильника. Таким образом, по полученным данным изменчивости фрагмента гена *cyt b* уровень полиморфизма орла-могильника является низким, а популяция, регистрируемая на территории Ульяновской области, является достаточно однородной.



## Список литературы

1. Красная книга Пензенской области : в 2 т. 2-е изд. Пенза ; Воронеж : Воронежская областная тип. – Изд-во им. Е. А. Болховитинова, 2019. Т. 2. Животные. 264 с.
2. Красная книга Республики Мордовия : в 2 т. Саранск : Мордовское книжное изд-во, 2005. Т. 2. Животные. 336 с.
3. Красная книга Чувашской Республики. Т. 1. Ч. 2. Животные. Чебоксары : ИПК Чувашия, 2011. 372 с.
4. Красная книга Российской Федерации (животные). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
5. Белик В. П., Галушин В. М. Популяционная структура ареала орла-могильника в Северной Евразии // Королевский орел: Распространение, состояние популяций и перспективы охраны орла-могильника (*Aquila heliaca*) в России : сб. науч. тр. М. : Союз охраны птиц России, 1999. С. 129–139.
6. Корепов М. В. Распространение и численность могильника (*Aquila heliaca*, *Falconiformes*, *Accipitridae*) в центральной части Приволжской возвышенности // Зоологический журнал. 2012. Т. 91, № 2. С. 190–201.
7. Корепов М. В., Бородин О. В. Солнечный орел (*Aquila heliaca*) – природный символ Ульяновской области. Ульяновск : Поволжье, 2013. 213 с.
8. Seibold I., Helbig A. J., Meyburg B.-U. [et al.]. Genetic Differentiation and Molecular Phylogeny of European Aquila Eagles according to Cytochrome b Nucleotide Sequences // Eagle Studies. World Working Group on Birds of Prey (WWGBP). Berlin, London & Paris / eds.: B.-U. Meyburg, R. D. Chancellor. 1996. P. 1–15.
9. Корепов М. В., Стрюков С. А., Корепова Д. А. [и др.]. Генетическая дифференциация и полиморфизм поволжской популяции орла-могильника (*Aquila heliaca*, *Falconiformes*, *Accipitridae*) по данным анализа митохондриальной ДНК // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2017. № 3. С. 3–15. doi:10.21685/2307-9150-2017-3-1
10. Симаков М. Д., Корепов М. В., Стрюков С. А. [и др.]. Новые данные к полиморфизму поволжской популяции орла-могильника (*Aquila heliaca*, *Falconiformes*, *Accipitridae*) по результатам анализа митохондриальной и микросателлитной ДНК // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2021. Vol. 6 (3). doi:10.21685/2500-0578-2021-3-2
11. Wink M., Elsayed A.-A., Gonzalez J., Olsen J. Phylogenetic relationships in the Bonelli's eagle (*Hieraetus fasciatus*) species complex based on nucleotide sequences of mitochondrial and nuclear marker genes. Heidelberg, Baden-Wuerttemberg, Germany, 2016.
12. Helbig A. J., Kocum A., Seibold I., Braun M. J. A multi-gene phylogeny of aquiline eagles (Aves: Accipitriformes) reveals extensive paraphyly at the genus level // Mol. Phylogenet. Evol. 2005. Vol. 35 (1). P. 147–164.
13. Lerner H. R., Mindell D. P. Phylogeny of eagles, Old World vultures, and other Accipitridae based on nuclear and mitochondrial DNA // Mol. Phylogenet. Evol. 2005. Vol. 37 (2). P. 327–346.
14. Zhou L., Dong Y. Complete mitochondrial genome of *Aquila heliaca*. Hefei, Anhui, China, 2017.
15. Vili N., Nemesházi E., Kovács S. [et al.]. Factors affecting DNA quality in feathers used for non-invasive sampling // Journal of Ornithology. 2013. Vol. 154. P. 587–595.
16. Arrigi F. E., Bergendahl G., Mandel M. Isolation and characterization of DNA from fixed cells and tissues // Exp. Cell. Res. 1968. № 50. P. 47–53.
17. Sambrook J., Fritsch E. F., Maniatis T. Molecular cloning: a laboratory manual. New York : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. URL: www.cshlpress.com
18. Hall T. A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // Nucleic Acids Symposium Series. 1999. Vol. 41. P. 95–98.

19. BioEdit 7.2. URL: <https://bioedit.software.informer.com>
20. Multiple Sequence Alignment. URL: <http://www.ebi.ac.uk/clustalw>
21. Librado P., Rozas J. DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data // *Bioinformatics*. 2009. Vol. 25. P. 1451, 1452.
22. Kumar S., Stecher G., Li M. [et al.]. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms // *Molecular Biology and Evolution*. 2018. Vol. 35. P. 1547–1549.
23. Leigh J. W., Bryant D., Nakagawa S. POPART: full feature software for haplotype network construction // *Methods in Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 6 (9). P. 1110–1116. doi:10.1111/2041-210x.12410
24. Clement M., Posada D., Crandall K. A. TCS: a computer program to estimate gene genealogies // *Molecular Ecology*. 2000. Vol. 9 (10). P. 1657–1659. doi:10.1046/j.1365-294x.2000.01020.x
25. Бородин О. В., Смирнова С. Л., Свиридова Т. В. [и др.]. Современное состояние орла-могильника в Ульяновской области // *Королевский орел: Распространение, состояние популяций и перспективы охраны орла-могильника (Aquila heliaca) в России* : сб. науч. тр. М. : Союз охраны птиц России, 1999. С. 68–73.

### References

1. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti: v 2 t. = The Red Book of Penza region: in 2 volumes*. 2nd ed. Penza; Voronezh: Voronezhskaya oblastnaya tip. – Izd-vo im. E.A. Bolkhovitinova, 2019;2:264. (In Russ.)
2. *Krasnaya kniga Respubliki Mordoviya: v 2 t. = The Red Book of the Republic of Mordovia: in 2 volumes*. Saransk: Mordovskoe knizhnoe izd-vo, 2005;2:336. (In Russ.)
3. *Krasnaya kniga Chuvashskoy Respubliki. T. 1. Ch. 2. Zhivotnye = The Red Book of the Chuvash Republic. Volume 1. Part 2. Animals*. Cheboksary: IPK Chuvashiya, 2011:372. (In Russ.)
4. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (zhivotnye) = The Red Book of the Russian Federation (animals)*. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:855. (In Russ.)
5. Belik V.P., Galushin V.M. Population structure of the range of the Imperial Eagle in Northern Eurasia. *Korolevskiy orel: Rasprostraneniye, sostoyaniye populyatsiy i perspektivy okhrany orla-mogil'nika (Aquila heliaca) v Rossii: sb. nauch. tr. = Royal Eagle: Distribution, population status and prospects for the conservation of the Eastern Imperial Eagle (Aquila heliaca) in Russia: collected papers*. Moscow: Soyuz okhrany ptits Rossii, 1999:129–139. (In Russ.)
6. Korepov M.V. Distribution and abundance of the Eastern imperial eagle (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) in the central part of the Volga Upland. *Zoologicheskiy zhurnal = Zoological journal*. 2012;91(2):190–201. (In Russ.)
7. Korepov M.V., Borodin O.V. *Solnechnyy orel (Aquila heliaca) – prirodnyy simvol Ul'yanovskoy oblasti = The solar eagle (Aquila heliaca) is a natural symbol of the Ulyanovsk region*. Ul'yanovsk: Povolzh'e, 2013:213. (In Russ.)
8. Seibold I., Helbig A.J., Meyburg B.-U. [et al.]. Genetic Differentiation and Molecular Phylogeny of European *Aquila* Eagles according to Cytochrome b Nucleotide Sequences. *Eagle Studies. World Working Group on Birds of Prey (WWGBP). Berlin, London & Paris*. 1996:1–15.
9. Korepov M.V., Stryukov S.A., Korepova D.A. [et al.]. Genetic differentiation and polymorphism of the Volga region population of the imperial eagle (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) according to mitochondrial DNA analysis. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2017;(3):3–15. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2017-3-1



10. Simakov M.D., Korepov M.V., Stryukov S.A. [et al.]. New data on the polymorphism of the Volga region population of the imperial eagle (*Aquila heliaca*, Falconiformes, Accipitridae) based on the results of the analysis of mitochondrial and microsatellite DNA. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021;6(3). (In Russ.). doi:10.21685/2500-0578-2021-3-2
11. Wink M., Elsayed A.-A., Gonzalez J., Olsen J. *Phylogenetic relationships in the Bonelli's eagle (Hieraaetus fasciatus) species complex based on nucleotide sequences of mitochondrial and nuclear marker genes*. Heidelberg, Baden-Wuerttemberg, Germany, 2016.
12. Helbig A.J., Kocum A., Seibold I., Braun M.J. A multi-gene phylogeny of aquiline eagles (Aves: Accipitriformes) reveals extensive paraphyly at the genus level. *Mol. Phylogenet. Evol.* 2005;35(1):147–164.
13. Lerner H.R., Mindell D.P. Phylogeny of eagles, Old World vultures, and other Accipitridae based on nuclear and mitochondrial DNA. *Mol. Phylogenet. Evol.* 2005;37(2):327–346.
14. Zhou L., Dong Y. *Complete mitochondrial genome of Aquila heliaca*. Hefei, Anhui, China, 2017.
15. Vili N., Nemesházi E., Kovács S. [et al.]. Factors affecting DNA quality in feathers used for non-invasive sampling. *Journal of Ornithology*. 2013;154:587–595.
16. Arrigi F.E., Bergendahl G., Mandel M. Isolation and characterization of DNA from fixed cells and tissues. *Exp. Cell. Res.* 1968;(50):47–53.
17. Sambrook J., Fritsch E.F., Maniatis T. *Molecular cloning: a laboratory manual*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. Available at: www.cshlpress.com
18. Hall T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*. 1999;41:95–98.
19. *BioEdit 7.2*. Available at: <https://bioedit.software.informer.com>
20. *Multiple Sequence Alignment*. Available at: <http://www.ebi.ac.uk/clustalw>
21. Librado P., Rozas J. DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*. 2009;25:1451,1452.
22. Kumar S., Stecher G., Li M. [et al.]. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*. 2018;35:1547–1549.
23. Leigh J.W., Bryant D., Nakagawa S. POPART: full feature software for haplotype network construction. *Methods in Ecology and Evolution*. 2015;6(9):1110–1116. doi:10.1111/2041-210x.12410
24. Clement M., Posada D., Crandall K.A. TCS: a computer program to estimate gene genealogies. *Molecular Ecology*. 2000;9(10):1657–1659. doi:10.1046/j.1365-294x.2000.01020.x
25. Borodin O.V., Smirnova S.L., Sviridova T.V. [et al.]. The current state of the imperial eagle in the Ulyanovsk region. *Korolevskiy orel: Rasprostranenie, sostoyanie populyatsiy i perspektivy okhrany orla-mogil'nika (Aquila heliaca) v Rossii: sb. nauch. tr. = Royal Eagle: Distribution, population status and prospects for the conservation of the Imperial Eagle (Aquila heliaca) in Russia: collected papers*. Moscow: Soyuz okhrany ptits Rossii, 1999:68–73. (In Russ.)

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

##### **Максим Дмитриевич Симаков**

инженер-исследователь лаборатории  
молекулярной экологии и систематики  
животных, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

##### **Maxim D. Simakov**

Research engineer of the laboratory  
of molecular ecology and systematics  
of animals, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

E-mail: maksimakov@bk.ru

***Михаил Владимирович Корепов***

кандидат биологических наук, доцент  
кафедры биологии и химии, Ульяновский  
государственный педагогический  
университет имени И. Н. Ульянова  
(Россия, г. Ульяновск, площадь Ленина,  
4/5)

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  
(4/5 Lenina square, Ulyanovsk, Russia)

***Антон Алексеевич Кузьмин***

кандидат биологических наук, доцент  
кафедры биотехнологии и техносферной  
безопасности, Пензенский  
государственный технологический  
университет (Россия, г. Пенза,  
проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1 А/11)

E-mail: kuzmin-puh@yandex.ru

***Anton A. Kuzmin***

Candidate of biological sciences, associate  
professor of the sub-department  
of biotechnology and technosphere security,  
Penza State Technological University  
(1A/11 Baidukova lane / Gagarina street,  
Penza, Russia)

***Сергей Витальевич Титов***

доктор биологических наук, профессор,  
декан факультета физико-математических  
и естественных наук, Пензенский  
государственный университет (Россия,  
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: svtitov@yandex.ru

***Sergey V. Titov***

Doctor of biological sciences, professor,  
dean of the faculty of physics, mathematics  
and natural sciences, 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 05.10.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 19.11.2021**

**Принята к публикации / Accepted 02.12.2021**

**Современное состояние поселений степного сурка  
(*Marmota bobak* Müll.) в условиях разнотравно-типчаково-  
ковыльной степи Пестравского района Самарской области**

А. А. Дудников<sup>1</sup>, А. С. Курочкин<sup>2</sup>, М. Е. Фокина<sup>3</sup>, И. В. Шаронова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
<sup>2,3,4</sup>Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, Самара, Россия

<sup>1</sup>dudnikov1511@yandex.ru, <sup>2</sup>nitidula@mail.ru, <sup>3</sup>mariyafok@mail.ru,  
<sup>4</sup>sima50@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Степной сурок (*Marmota bobak* Müll.) является видом-эдикатором естественных степных сообществ. Роющая деятельность байбака приводит к обогащению, перемешиванию, увлажнению и аэрации слоев почв и созданию благоприятных условий для других обитателей степи, как беспозвоночных, так и позвоночных. Кроме того, данный вид, будучи растительноядным, является объектом охоты для таких хищников, как лисица обыкновенная, корсак и дневные хищные птицы. Несмотря на то, что юг Самарской области находится в зоне настоящих степей, участков с хорошо сохранившейся степной растительностью, которые исторически являются местообитаниями сурка-байбака, крайне мало. В ходе исследования было проведено изучение локальной флоры разнотравно-типчаково-ковыльной степи Пестравского района Самарской области и мониторинг поселений степного сурка на этих территориях. *Материалы и методы.* В июне 2018 и 2019 гг. были проведены исследования на территории Пестравского района Самарской области с целью выявления ненарушенных степных участков с имеющимися на них поселениями степного сурка. В полевых условиях проводилось выявление полного флористического состава территории. Учет и фиксацию нор в двух выявленных поселениях сурка проводили с применением картирования, фото- и навигационной техники в ходе маршрутных учетов. *Результаты.* Исследованные участки разнотравно-типчаково-ковыльной степи на территории Пестравского района Самарской области населены сурком-байбаком. Основу растительного покрова формируют злаки *Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca* и *Agropyron cristatum*, спорадически встречаются *Koeleria cristata* и *Psathyrostachys juncea*. Разнотравье преимущественно степное, в котором доминирующее положение занимают *Artemisia austriaca*, *A. santonica* и *Galatella villosa*. Оба поселения степного сурка обладают положительным репродуктивным потенциалом, обеспеченностью ресурсами и подвержены минимальному антропогенному влиянию. Все семейные участки жилые, с многочисленными следами жизнедеятельности, свежими экскрементами и выраженными тропами между норами. Оценочная численность сурка в поселении 1 – 62, в поселении 2 – 31 особь. *Выводы.* Обследованная территория характеризуется высокой степенью сохранности степной растительности, что создает благоприятные условия для стабильного существования степного сурка. Потенциально на территории могут обитать до 49 семей на 1 км<sup>2</sup>, в ходе полевых исследований в поселениях было выявлено 16 и 18 семей на 1 км<sup>2</sup> соответственно. Потенциал данных поселений позволяет увеличить численность степного сурка, однако здесь естественные механизмы поддержания его численности заменены искусственными мероприятиями по ее регуляции со стороны егерей, в том числе и отстрелом естественных врагов сурка-байбака.

**Ключевые слова:** степной сурок, *Marmota bobak*, поселение, Сыртовое Заволжье, степь, степная растительность, флористический состав, Самарская область, Пестравский район

**Для цитирования:** Дудников А. А., Курочкин А. С., Фокина М. Е., Шаронова И. В. Современное состояние поселений степного сурка (*Marmota bobak* Müll.) в условиях разнотравно-типчаково-ковыльной степи Пестравского района Самарской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 107–118. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-10

## Modern state of the steppe marmot (*Marmota bobak* Müll.) colonies in the conditions of the forb-fescue-feather grass steppe in the south-west of Samara Region

A.A. Dudnikov<sup>1</sup>, A.S. Kurochkin<sup>2</sup>, M.E. Fokina<sup>3</sup>, I.V. Sharonova<sup>4</sup>

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

<sup>2,3,4</sup>Samara National Research University named after S.P. Korolev, Samara, Russia

<sup>1</sup>dudnikov1511@yandex.ru, <sup>2</sup>nitidula@mail.ru, <sup>3</sup>mariyafok@mail.ru,

<sup>4</sup>sima50@yandex.ru

**Abstract. Background.** The steppe marmot (*Marmota bobak* Müll.) is an important component of natural steppe communities. The steppe marmot (*Marmota bobak* Müll.) is an edifier species of natural steppe communities. The burrowing activity of steppe marmot leads to the enrichment, mixing, moistening and aeration of the soil layers, and the making of favorable conditions for other inhabitants of the steppe, both invertebrates and vertebrates. In addition, this species, being herbivorous, is an object of hunting for such predators as red fox, corsac and diurnal birds of prey. Despite the fact that the south of the Samara Region is located in the zone of typical steppes, there are very few areas with well-preserved steppe vegetation, which historically are the habitats of the steppe marmot. In this concern, the study of the flora of the forb-fescue-feather grass steppe of Pestravsky District of the Samara Region and monitoring of the steppe marmot colonies in these territories was carried out. **Materials and methods.** In June 2018 and 2019, research was conducted in the territory of the Pestravsky District of Samara Region in order to uncover undisturbed steppe sites with the existing colonies of the steppe marmot. The floristic composition of the territory was recorded. The census and location of burrows in the two recorded colonies of the steppe marmot were made using mapping, photo and navigational devices during survey routes. **Results.** The studied areas of the forb-fescue-feather grass steppe in Pestravsky District of Samara Region are inhabited by the steppe marmot. The basis of the plant cover is formed by the grasses *Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca* and *Agropyron cristatum*; *Koeleria cristata* and *Psathyrostachys juncea* are found sporadically. Steppe forbs are dominated by *Artemisia austriaca*, *A. santonica* and *Galatella villosa*. Both colonies of the steppe marmot have a positive reproductive potential, resource endowment and are subject to minimal anthropogenic impact. All family plots are residential, with numerous traces of life activity, fresh faeces and distinct paths between burrows. The estimated number of marmots in the colony 1 is 62, in the colony 2 – 31 individuals. **Conclusions.** The surveyed areas are characterized by a high degree of preservation of steppe vegetation providing favorable conditions for the stable existence of the steppe marmot. Potentially, up to 49 families per 1 km<sup>2</sup> can live in the territory; during field research in the colonies, 16 and 18 families per 1 km<sup>2</sup> were recorded, respectively. The potential of these colonies makes it possible to increase the number of the steppe marmot, but the natural mechanisms for maintaining its

number are replaced here by artificial measures for its regulation by the gamekeepers, including the shooting of natural enemies of the steppe marmot.

**Keywords:** steppe marmot, *Marmota bobak*, colony, Syrtovoe Zavolzhie, steppe, steppe vegetation, floristic composition, Samara Region, Pestravsky District

**For citation:** Dudnikov A.A., Kurochkin A.S., Fokina M.E., Sharonova I.V. Modern state of the steppe marmot (*Marmota bobak* Müll.) colonies in the conditions of the forb-fescue-feather grass steppe in the south-west of Samara Region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):107–118. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-10

### Введение

Потенциально сурки могут обитать в трех основных типах ландшафта: зональных степях (сухих, лугостепях, лесостепях), горных и высокогорных лугостепях (лугах, тундрах, пустынях) и в каменистых биотопах, расположенных в различных высотных поясах гор, избегая леса и кустарники [1–4]. Несмотря на то, что юг Самарской области находится в зоне типичных степей, участков с хорошо сохранившейся степной растительностью, которые исторически являются местообитаниями сурка-байбака, крайне мало. По данным Р. В. Наумова [5], на долю сухоходольных и остепненных участков приходится не более 16 % поселений степного сурка в Самарской области.

В июне 2018 и 2019 гг. были проведены исследования на территории Пестравского района Самарской области с целью выявления ненарушенных степных участков с имеющимися на них поселениями степного сурка, подлежащими мониторингу (рис. 1). В ходе работы было проведено изучение локальной флоры разнотравно-типчаково-ковыльной степи Пестравского района Самарской области и обследованы поселения степного сурка на этой территории.



Рис. 1. Поселения степного сурка в окрестностях с. Пестравка Пестравского района Самарской области (пунктирной обводкой показан примерно обследованный участок степи с описанием растительности, сплошной – поселения 1 и 2 степного сурка, дата съемки: 05.10.2017)

### Материалы и методы

При планировании полевых исследований использовался атлас Самарской области [6], а также компьютерное приложение Google Планета Земля Pro 7.3.3. Спутниковые карты получены с помощью этого же приложения, где в подписях к рисунку в скобках «дата съемки» означает дату получения снимка спутником. В полевых условиях проводилось выявление полного флористического состава обследованной территории. Номенклатура всех приведенных в работе названий растений дана в соответствии с онлайн-базой данных Species 2000 & ITIS Catalogue of Life [7].

Учет и фиксацию нор степного сурка проводили с применением картирования, фото- и навигационной техники в ходе маршрутных учетов. Регистрировали активность животных около нор. Численность байбака в поселениях подсчитывали с учетом показателя среднего количества зверьков, характерного для Самарской области и составляющего 3,9 особей на семью [5, 8].

### Результаты и обсуждение

Обследованные территории представляют собой хорошо сохранившиеся участки естественной степи с типичной растительностью сухого Сыртового Заволжья. По зональному распределению данная территория относится к зоне заволжско-казахстанских настоящих (типичных) и пустынных степей, подзоне разнотравно-типчаково-ковыльных степей. Особенностью растительного покрова является некоторая изреженность травостоя и преобладание неполных ассоциаций [9, 10].

Верхняя треть склонов и вершины увалов заняты разнотравно-типчаково-ковыльковой, сухой степью, характерной для южного Сыртового Заволжья. Травостой довольно разрежен, но богат по флористическому составу. Доминирующими злаками в составе растительного покрова являются *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr., *Festuca valesiaca* Gaud. и *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., спорадически встречаются *Koeleria cristata* (L.) Pers. и *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski. Вдоль дорог в большом количестве представлены *Eremopyrum triticeum* (Gaertn.) Nevski. и *Bromus arvensis* L. Разнотравье преимущественно степное, в котором доминирующее положение занимают *Artemisia austriaca* Jacq., *A. santonica* L. и *Galatella villosa* (L.) Rechb. fil (*Crinitaria villosa*). Местами присутствуют обширные участки, занятые *Festuca valesiaca* и *Galatella villosa*, а также сообществами из *Agropyron cristatum*, *Artemisia austriaca* и *Ferula caspica* Vieb. Кроме того, были отмечены значительные площади полынно-грудницево-типчаковой (*Festuca valesiaca* + *Galatella villosa* + *Artemisia santonica*) и грудницево-типчаково-полынной (*Artemisia santonica* + *Festuca valesiaca* + *Galatella villosa*) ассоциаций. Помимо значительного участия в растительном покрове представителей семейства Umbelliferae (Apiaceae) (*Trinia hispida* Hoffm., *Ferula caspica*, *Palimbica turgai-ca* Lipsky ex Woronow, *Pastinaca clausii* (Ledeb.) Calest. и *Elaeosticta lutea* (Hoffm.) Kljuikov, M. Pimen. et V. Tichom.), высока и доля бобовых, особенно видов рода *Astragalus* (*A. macropus* Bunge, *A. rupifragus* Pall., *A. testiculatus* Pall., *A. temirensis* M. Pop.). Также в значительной степени присутствуют эфемеры и эфемероиды, что характерно для южных степей, а именно: *Allium*

*delicatulum* Siev. ex Schult. et Schult. fil., *Tulipa gesneriana* L., *Ornithogalum fischerianum* Krasch., *Ceratocephala orthoceras* DC., *Androsace elongata* L., *A. maxima* L. Из других представителей степной флоры были отмечены *Allium flavescens* Bess., *Iris pumila* L., *Atraphaxis frutescens* (L.) C. Koch, *Eremogone koriniana* (Fisch. ex Fenzl) Ikonn., *Lepidium perfoliatum* L., *Limonium gmelinii* (Willd.) O. Kuntze, *Nonea pulla* L., *Onosma tinctorium* M. Bieb., *Phlomis herba-venti* subsp. *pungens* (Willd.) Maire ex DeFilipps, *Verbascum phoeniceum* L., *Veronica incana* L., *V. prostrata* L., *Plantago media* subsp. *stepposa* (Kuprian.) Soó, *Galium verum* subsp. *verum*, *Achillea millefolium* L., *Tanacetum achilleifolium* (Bieb.) Sch. Bip., *Pseudopodospermum strictum* (Hornem.) Zaika, Sukhor & N. Kilian, *Jurinea multiflora* (L.) B. Fedtsch., *Klasea cardunculus* (Pall.) Holub. Имеются единичные кусты *Spiraea crenata* L. Нижняя треть южных склонов, а также северные склоны покрыты более мезофитной лугово-степной растительностью, где из злаков, кроме *Stipa capillata* L., большую роль играют *Bromus inermis* Leyss. (местами занимает довольно значительные площади) и *Alopecurus arundinaceus* Poir. Дернина здесь более плотная, а травостой густой, представленный *Asparagus officinalis* L., *Thalictrum minus* L., *Fragaria viridis* (Duch.) Weston, *Sibbaldianthe bifurca* subsp. *bifurca*, *Filipendula vulgaris* Moench, *Falcaria vulgaris* Bernh., *Phlomoidea tuberosa* (L.) Moench, *Salvia nemorosa* subsp. *pseudosylvestris* (Stapf) Bornm., *Scabiosa ochroleuca* L., *Artemisia campestris* L., *Jacobaea erucifolia* subsp. *erucifolia*. По днищу балки и по руслам временных водотоков представлено луговое разнотравье, в составе которого были отмечены такие виды, как *Eryngium planum* L., *Phlomoidea tuberosa*, *Veronica spicata* L., *Pentanema britannicum* (L.) D. Gut. Larr., Santos-Vicente, Anderb., E. Rico & M.M. Mart. Ort., *Artemisia campestris* и др. Также по дну балок некоторые водотоки густо, или даже сплошь, покрыты разнотравно-лисохвостово-пырейным сообществом (*Elymus repens* + *Alopecurus arundinaceus* + Herba).

Выявленный флористический состав позволяет утверждать, что обследованный участок характеризуется хорошо сохранившейся степной растительностью, обеспечивающей благоприятные условия для обитания степного сурка.

В ходе исследований были выявлены два поселения сурка-байбака. Ранее на территории Пестравского района Самарской области исследования его поселений проводили Р. В. Наумов, А. А. Кузьмин, С. В. Титов [8]. Нами за основу был взят составленный ими кадастр точек. Согласно данным авторов, в 2013 г. на этой территории было одно поселение степного сурка, которое располагалось в двух километрах юго-восточнее относительно поселения 1, описанного нами. Такое смещение поселения, вероятно, связано с процессами расселения сурков на близлежащие территории.

Поселение 1.

28–30.06.2018 и 29.06.2019, Россия, Самарская область, Пестравский район, 6,26 км СЗ с. Пестравка, 52°25'28.3"N, 49°51'52.8"E (рис. 2).

Обследованная территория представлена участком достаточно обширной, вытянутой с юга на север пологосклонной разветвленной балки, которая ограничена с севера, запада и востока лесополосами, образованными *Ulmus* sp., а в ее южной части находится небольшой пруд, наполняемый за счет одного

из притоков р. Большой Иргиз. Днище балки и ее ответвлений выположены. С северо-востока на юго-запад проходит грунтовая дорога.



Рис. 2. Поселение 1 степного сурка в окрестностях с. Пестравка Пестравского района Самарской области (пунктирной обводкой показан примерно обследованный участок степи с описанием растительности, сплошной – поселение 1 степного сурка, дата съемки: 05.10.2017)

Поселение 1 расположено на степном участке, удаленном от асфальтированной автомобильной дороги 36К-445 на 1 км, а от населенного пункта – на 9 км. Его протяженность составляет 1,6 км, это поселение имеет диффузную структуру.

Согласно мнению ряда авторов [11, 12], поселения байбака имеют положительный репродуктивный потенциал при наличии не менее 8 семейных групп. В поселении 1 выявлено 16 семейных участков. Оценочная численность сурка в поселении 1 составляет 62 особи.

По состоянию семейных участков по шкале от 1 до 3 баллов [13], поселение 1 соответствует 3 баллам – семейные участки жилые, с многочисленными следами жизнедеятельности, свежими экскрементами, ярко выражены тропы между норами. В поселении было выявлено 3 пустующие норы с признаками антропогенного разрушения: раскопанные и забитые бетонными глыбами выходы. Норы, расположенные в непосредственной близости к проселочной дороге, – жилые.

Таким образом, поселение 1 обладает положительным репродуктивным потенциалом, обеспеченностью ресурсами и подвержено минимальному антропогенному влиянию. На данной территории нами не было обнаружено следов выпаса скота, в связи с этим высота травостоя достигает 30–40 см.

Поселение 2 (вдоль пруда).

28–30.06.2018 и 29.06.2019, Россия, Самарская область, Пестравский район, 9,16 км СВ с. Михайло-Овсянка, 52°26'01.7"N, 49°49'03.9"E (рис. 3).





Рис. 3. Поселение 2 степного сурка северо-восточнее с. Михайло-Овсянка Пестравского района Самарской области (пунктирной обводкой показан примерно обследованный участок степи с описанием растительности, сплошной – поселение 2 степного сурка, дата съемки: 05.10.2017)

Обследованный участок расположен на склоне оврага Любимый, дно которого занято прудом. Территория представлена несколькими меньшими склоновыми балками и межбалочными пространствами. По склону проходит грунтовая дорога. С трех сторон в непосредственной близости от этого участка находятся лесополосы, идущие вдоль пахотных земель.

Поселение 2 расположено в 5 км от поселения 1. Данное поселение ленточного типа, разделенное проселочной дорогой. Вероятно, является дочерним от поселения 1 в рамках одной популяции, так как находится на преодолимом для сурков расстоянии.

Протяженность поселения 2 составляет около 0,5 км. Семейных участков – 8. Оценочная численность этого поселения – 31 зверек. По состоянию семейных участков поселение 2 соответствует 3 баллам (по шкале от 1 до 3 баллов) [13]. Как и в поселении 1, все норы жилые, с многочисленными следами жизнедеятельности, свежими экскрементами, с хорошо выраженными тропами между норами, признаков антропогенного воздействия выявлено не было; зверьки подпускают человека на 30–40 м. На территории поселения выпас скота не зафиксирован. Как отмечает ряд авторов, отсутствие этого фактора сказывается отрицательно на состоянии популяции степного сурка, в частности уменьшая возможности обзора территории [12, 14]. Однако на этой территории находятся разрушенные остатки постройки, ее каменные обломки возвышаются над местностью и используются зверьками как наблюдательный пункт.

В обследованных поселениях степного сурка была произведена оценка емкости и качества среды обитания степных сурков по В. И. Машкину [2], данные по рассматриваемым нами поселениям представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Экологическая оценка емкости среды обитания степных сурков в поселениях 1 и 2 Пестравского района Самарской области

Условия обитания	Оценка качества среды, в баллах*	
	Поселение 1	Поселение 2
1. Корма	8	8
2. Обзорность	8	10
3. Гнездопригодность	8	8
4. Хищники (враги)	4	4
5. Деятельность человека	4	4
6. Эпизоотии	4	4
7. Всего, баллы	36	38
8. Плотность семей/км <sup>2</sup>	30–49	30–49

**Примечание.** \* 2 – очень плохо; 4 – плохо; 6 – посредственно; 8 – хорошо; 10 – отлично.

Оценка емкости и качества среды обитания поселений показывает, что условия можно охарактеризовать как «хорошие», с обеспеченностью потребностей вида до 75 % [2], потенциально на территории могут обитать до 49 семей на 1 км<sup>2</sup>. Однако в ходе полевых исследований было выявлено только 16 и 18 семей на 1 км<sup>2</sup>. Оба рассматриваемых участка в настоящее время находятся под контролем егерей, что позволяет защитить сурка-байбака от браконьерской охоты. Также следует отметить, что обследованная территория (оба участка) характеризуется высокой степенью сохранности степной растительности, что создает благоприятные условия для стабильного существования степного сурка. Ненарушенные степные участки обладают этими условиями, поскольку в составе разнотравно-типчачково-ковыльной степи представлено такое разнообразие растений, которое в значительной степени удовлетворяет потребностям сурка в питании на протяжении всего периода его активности с ранней весны до осени. Основу весенне-летнего рациона байбака обычно составляют луковичные, которые широко представлены на обследованных участках, а именно: *Allium delicatulum*, *A. flavescens*, *A. Lineare*, *Tulipa gesneriana*, *T. sylvestris* subsp. *australis*, *Ornithogalum fischerianum*. Также в ранневесенний период, скорее всего, в вегетирующем состоянии представляют хорошую кормовую базу для сурка многие злаки, особенно доминантные (*Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*), а из разнотравья – *Asparagus officinalis*, *Iris pumila*, *Androsace elongata*, *A. maxima*. Так как в основу рациона сурка обычно входят растения с сочной листовой пластинкой, то в летний период потенциальную кормовую базу могут составлять такие злаки, как *Bromus arvensis*, *B. inermis*, *Alopecurus arundinaceus*, а из разнотравья – *Thesium ebracteatum*, *Chorispora tenella*, *Thalictrum minus*, *Fragaria viridis*, *Sibbaldianthe bifurca* subsp. *bifurca*, *Filipendula vulgaris*, *Medicago falcata*, *Falcaria vulgaris*, *Limonium gmelinii*, *Galium verum* subsp. *verum*, *Galatella tatarica*, *Pseudopodospermum strictum*.

### Заключение

Результаты исследования поселений степного сурка в Пестравском районе Самарской области свидетельствуют, что их популяционный потенциал позволяет увеличивать численность особей. Однако естественные механизмы поддержания его численности на этой территории заменены искусственными мероприятиями по ее регуляции со стороны егерей, в том числе и отстрелом естественных врагов сурка-байбака – обыкновенной лисицы, корсака и дневных хищных птиц.

Несмотря на благополучное состояние популяции байбака на данной территории, в других районах Самарской области численность сурка неуклонно снижается в результате пожаров, чрезмерной рекреационной нагрузки и неконтролируемой охоты [15, 16]. Также, по данным Р. В. Наумова, почти половина поселений Самарской области не имеет положительного репродуктивного потенциала, имея в своем составе менее восьми семейных групп [5]. Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что такое состояние популяции степного сурка в Самарской области требует организации его охраны с соответствующим внесением в региональную Красную книгу с природоохранным статусом 4 (неопределенный по статусу, как вид, который не в полной мере соответствует критериям других категорий редкости, но нуждающийся в специальных мерах охраны). Кроме того, как первоначальную меру можно рекомендовать придание статуса особо охраняемых природных территорий (ООПТ) участкам степи с поселениями степного сурка в Самарской области.

### Список литературы

1. Бибииков Д. И. Сурки. М. : Агропромиздат, 1989. 255 с.
2. Колесников В. В. К вопросу о взаимосвязи байбака и скота // Сурки в антропогенных ландшафтах Евразии : тез. докл. IX Междунар. совещания по суркам стран СНГ (г. Кемерово, 31 августа – 3 сентября 2006 г.). Кемерово : Графика, 2006. С. 31, 32.
3. Колесников В. В., Брандлер О. В., Бадмаев Б. Б., Адъяа Я. Оценка современного состояния ресурсов сурков (*Marmota*, Sciuridae, Rodentia) в Монголии // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2010. Т. 115, вып. 5. С. 3–12.
4. Колесников В. В. Ресурсы и управление популяциями степного (*Marmota bobak*), серого (*M. baibacina*) и монгольского сурков (*M. sibirica*) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Киров : ВНИИОХЗ, 2011. 43 с.
5. Комонова А. А., Фокина М. Е. Анализ пространственного распределения поселения степного сурка (*Marmota bobak*) на территории памятника природы «Левашовская степь» (Самарская область, Шигонский район) // Проблемы антропогенной трансформации природной среды : материалы Междунар. конф. памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка (г. Пермь, 14–15 ноября 2019 г.) / под ред. С. А. Бузмакова. Пермь, 2019. С. 84–86.
6. Лавренко Е. М. Степи и сельскохозяйственные земли на месте степей // Растительный покров СССР: Пояснительный текст к «Геоботанической карте СССР» : в 2 т. / под ред. Е. М. Лавренко, В. Б. Сочавы. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1956. Т. 2. С. 595–730.
7. Лесостепь и степь Русской равнины / под ред. Г. Д. Рихтера, Ф. Н. Милькова. М. : Изд-во АН СССР, 1956. 296 с.
8. Машкин В. И. Европейский байбак: экология, сохранение и использование. Киров : ВНИИОХЗ, 1997. 160 с.

9. Машкин В. И. Емкость среды обитания сурков // Сурки Евразии: экология и практическое значение : материалы XI Междунар. совещания по суркам специалистов стран бывшего Советского Союза (пос. Родники, Раменский район, Московская область, Россия, 11–15 марта 2015 г.). М., 2015. С. 85–89.
10. Наумов Р. В. Современное состояние степного сурка (*Marmota bobak* Müll.) в Среднем Поволжье: метапопуляционная структура ареала, экологические, популяционные и генетические особенности поселений : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пенза : Изд-во ПГУ, 2019. 22 с.
11. Наумов Р. В., Кузьмин А. А., Титов С. В. Кадастр современных точек находок поселений степного сурка (*Marmota bobak* Müller, 1776) в Самарской области // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 1. С. 27–32.
12. Огнев С. И. Звери СССР и прилежащих стран (Звери Восточной Европы и Северной Азии). Грызуны (продолжение). М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1947. Т. V. 810 с.
13. Титов С. В., Кузьмин А. А., Наумов Р. В. [и др.]. Динамика ареалов и современное состояние поселений наземных белчихих в правобережных районах Поволжья. Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. 124 с.
14. Самарская область : атлас. Екатеринбург : Уралаэрогеодезия, 2009. 148 с.
15. Фокина М. Е., Дудников А. А. Предварительные данные о поселениях степного сурка (*Marmota bobak* Müller, 1776) в Шигонском районе Самарской области // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. 2017. Т. 22, вып. 5. С. 1007–1010. doi:10.20310/1810-0198-2017-22-5-1007-1010
16. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands / eds.: Y. Roskov, G. Ower, T. Orrell, D. Nicolson, N. Bailly, P. M. Kirk, T. Bourgoin, R. E. DeWalt, W. Decock, E. J. van Nieuwerkerken, L. Penev. 2020. URL: <https://www.catalogueoflife.org> (дата обращения: 15.03.2021).

#### References

1. Bibikov D.I. *Surki = Marmot*. Moscow: Agropromizdat, 1989:255. (In Russ.)
2. Kolesnikov V.V. On the question of the relationship between baibak and livestock. *Surki v antropogennykh landshaftakh Evrazii: tez. dokl. IX Mezhdunar. soveshchaniya po surkam stran SNG (g. Kemerovo, 31 avgusta – 3 sentyabrya 2006 g.) = Marmots in the anthropogenic landscapes of Eurasia: proceedings of the 9<sup>th</sup> International conferences on marmots of the CIS countries (Kemerovo, August 31 – September 3, 2006)*. Kemerovo: Grafika, 2006:31,32. (In Russ.)
3. Kolesnikov V.V., Brandler O.V., Badmaev B.B., Ad'yaa Ya. Assessment of the current state of marmot (*Marmota*, Sciuridae, Rodentia) resources in Mongolia. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskii = Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological department*. 2010;115(5):3–12. (In Russ.)
4. Kolesnikov V.V. Resources and population management of the steppe (*Marmota bobak*), gray (*M. baibacina*) and Mongolian (*M. sibirica*) marmots. PhD abstract. Kirov: VNIIOKhZ, 2011:43. (In Russ.)
5. Komonova A.A., Fokina M.E. Analysis of the spatial distribution of the steppe marmot (*Marmota bobak*) settlement on the territory of the natural monument “Levashovskaya steppe” (Samara region, Shingorsky district). *Problemy antropogennoy transformatsii prirodnoy sredy: materialy Mezhdunar. konf. pamyati N.F. Reymersa i F.R. Shtil'marka (g. Perm', 14–15 noyabrya 2019 g.) = Issues of anthropogenic transformation of the natural environment: proceedings of the International conference commemorating N.F. Reimers and F.R. Shtilmark (Perm, November 14–15, 2019)*. Perm, 2019:84–86. (In Russ.)
6. Lavrenko E.M. Steppes and agricultural lands in place of the steppes. *Rastitel'nyy pokrov SSSR: Poyasnitel'nyy tekst k «Geobotanicheskoy karte SSSR»: v 2 t. = Vegetation cover of the USSR: explanatory text to the “Geobotanical map of the USSR”: in 2 volumes*. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1956;2:595–730. (In Russ.)

7. Rikhter G.D., Mil'kova F.N. (eds.). *Lesostep' i step' Russkoy ravniny = Forest-steppe and steppe of the Russian Plain*. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1956:296. (In Russ.)
8. Mashkin V.I. *Evropeyskiy baybak: ekologiya, sokhranenie i ispol'zovanie = European boba: ecology, conservation and use*. Kirov: VNIIOKhZ, 1997:160. (In Russ.)
9. Mashkin V.I. Marmot habitat capacity. *Surki Evrazii: ekologiya i prakticheskoe znachenie: materialy XI Mezhdunar. soveshchaniya po surkam spetsialistov stran byvshogo Sovetskogo Soyuza (pos. Rodniki, Ramenskiy rayon, Moskovskaya oblast', Rossiya, 11–15 marta 2015 g.) = Marmots of Eurasia: ecology and practical significance: proceedings of the 11<sup>th</sup> International conference on marmots of USSR specialists (Rodniki, Ramensky district, Moscow region, Russia, March 11–15, 2015)*. Moscow, 2015:85–89. (In Russ.)
10. Naumov R.V. Current state of the steppe marmot (*Marmota bobak* Müll.) in the Middle Volga region: metapopulation structure of the range, ecological, population and genetic features of the settlements. PhD abstract. Penza: Izd-vo PGU, 2019:22. (In Russ.)
11. Naumov R.V., Kuz'min A.A., Titov S.V. Cadastre of modern sites of finds of settlements of the steppe marmot (*Marmota bobak* Müller, 1776) in Samara region. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = The 21<sup>st</sup> century: the results of the past and the problems of the present plus*. 2014;(1):27–32. (In Russ.)
12. Ognev S.I. *Zveri SSSR i prilozhashchikh stran (Zveri Vostochnoy Evropy i Severnoy Azii). Gryzuny (prodolzhenie) = Animals of the USSR and adjacent countries (Animals of Eastern Europe and North Asia). Rodents (continued)*. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1947;V:810. (In Russ.)
13. Titov S.V., Kuz'min A.A., Naumov R.V. [et al.]. *Dinamika arealov i sovremennoe sostoyanie poseleniy nazemnykh belich'ikh v pravoberezhnykh rayonakh Povolzh'ya = Range dynamics and the current state of terrestrial squirrel settlements in the right-bank regions of the Volga region*. Penza: Izd-vo PGU, 2015:124. (In Russ.)
14. *Samarskaya oblast': atlas = Samara region: atlas*. Ekaterinburg: Uralaerogeodeziya, 2009:148. (In Russ.)
15. Fokina M.E., Dudnikov A.A. Preliminary data on the settlements of the steppe marmot (*Marmota bobak* Müller, 1776) in Shingorsk district in Samara region. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Bulletin of Tambov University. Series: Natural and engineering sciences*. 2017;22(5):1007–1010. (In Russ.). doi:10.20310/1810-0198-2017-22-5-1007-1010
16. Roskov Y., Ower G., Orrell T., Nicolson D., Bailly N., Kirk P.M., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., van Nieukerken E.J., Penev L. (eds.). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands*. 2020. Available at: <https://www.catalogueoflife.org> (accessed 15.03.2021).

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

**Александр Александрович Дудников**  
аспирант, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

**Alexandr A. Dudnikov**  
Postgraduate student, Penza State  
University (40 Krasnaya Street, Penza,  
Russia)

E-mail: dudnikov1511@yandex.ru

**Андрей Сергеевич Курочкин**  
учебный мастер кафедры экологии,  
ботаники и охраны природы, Самарский  
национальный исследовательский  
университет имени академика  
С. П. Королёва (Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34)

**Andrei S. Kurochkin**  
Technical assistant of the sub-department  
of ecology, botany and nature security,  
Samara National Research University  
named after S.P. Korolev (34 Moskovskoye  
highway, Samara, Russia)

E-mail: nitidula@mail.ru

***Мария Евгеньевна Фокина***

кандидат биологических наук, доцент,  
доцент кафедры экологии, ботаники  
и охраны природы, Самарский  
национальный исследовательский  
университет имени академика  
С. П. Королёва (Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34)

E-mail: mariyafok@mail.ru

***Mariya E. Fokina***

Candidate of biological sciences, associate  
professor, associate professor  
of the sub-department of ecology, botany  
and nature security, Samara National  
Research University named after  
S.P. Korolev (34 Moskovskoye highway,  
Samara, Russia)

***Ирина Викторовна Шаронова***

кандидат биологических наук, учебный  
мастер кафедры экологии, ботаники  
и охраны природы, Самарский  
национальный исследовательский  
университет имени академика  
С. П. Королёва (Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34)

E-mail: sima50@yandex.ru

***Irina V. Sharonova***

Candidate of biological sciences, technical  
assistant of the sub-department of ecology,  
botany and nature security, Samara National  
Research University named after  
S.P. Korolev (34 Moskovskoye highway,  
Samara, Russia)

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

**Поступила в редакцию / Received 25.10.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 23.11.2021**

**Принята к публикации / Accepted 14.12.2021**

УДК 574.47

doi:10.21685/2307-9150-2021-4-11

## Оценка сукцессионного состояния лесов в ландшафтах вторичных моренных равнин

Н. А. Леонова

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

na\_leonova@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Ландшафты вторичных моренных равнин расположены к западу от долины р. Суры – низкое плато Приволжской возвышенности. Растительность этой территории претерпела существенную временную трансформацию. В настоящее время лесистость в ландшафтах вторичных моренных равнин составляет не более 13 %. *Материалы и методы.* Изучение лесной растительности осуществлялось при маршрутных и стационарных исследованиях. Полученные геоботанические описания послужили материалом для анализа биоразнообразия. Структурное разнообразие сообществ оценивалось по соотношению в составе растительного покрова эколого-ценотических групп (ЭЦГ) видов. Для оценки сукцессионного состояния использовались параметры: представленность потенциальной флоры; доля участия R-видов (эксплерентов) в древесном ярусе; степень доминирования; доля демографически полночленных популяций; доля неморальных. *Результаты и выводы.* Современный растительный покров ландшафтов вторичных моренных равнин представлен 4 формациями (сосновые, березовые, осиновые, черноольховые леса), 1 группой формаций (широколиственные леса), 10 группами ассоциаций и 35 ассоциациями. В составе флоры лесов выявлено 196 видов растений, принадлежащих к 141 роду и 59 семействам. Для фитоценозов характерны 43 высококонстантных вида, исключительно неморальной ЭЦГ. Все современные леса находятся на разных стадиях деградаций после рубок разной степени интенсивности, выпаса, пожаров, распашки. Демографически полночленные популяции характерны для небольшого числа теневыносливых видов деревьев и кустарников. В широколиственных лесах сохранилось 70–80 % от потенциально возможного числа древесных видов. Демографически полночленные популяции характерны для небольшого числа теневыносливых видов деревьев и кустарников. В синузии трав представленность потенциальной флоры составляет всего 22–35 %.

**Ключевые слова:** низкое плато Приволжской возвышенности, лесная растительность, сукцессионный статус, флористическое разнообразие, синузии

**Для цитирования:** Леонова Н. А. Оценка сукцессионного состояния лесов в ландшафтах вторичных моренных равнин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 4. С. 119–136. doi:10.21685/2307-9150-2021-4-11

## Successional state of forests in the secondary moraine plains' landscapes

N.A. Leonova

Penza State University, Penza, Russia

na\_leonova@mail.ru

**Abstract.** *Background.* Landscapes of secondary moraine plains are located to the west of the valley of the river. Sura is a low plateau of the Volga Upland. The vegetation of this

© Леонова Н. А., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

area has undergone significant temporal transformation. Currently, the forest cover in the landscapes of the secondary moraine plains is no more than 13 %. *Materials and methods.* The biodiversity analysis was based on geobotanical descriptions obtained as a result of route and stationary studies of forest vegetation. The structural diversity of communities was assessed by the ratio of ecological-coenotic groups (ECGs) of species in the vegetation cover. To assess the successional state, we used the following parameters: representativeness of potential flora, rate of participation of *R*-species (explants) in the tree layer, dominance degree, proportion of demographically full-member and immortal populations. *Results and conclusions.* The modern vegetation cover of landscapes of secondary moraine plains is represented by 4 formations (pine, birch, aspen, black alder forests), 1 group of formations (broad-leaved forests), 10 groups of associations and 35 associations. As part of the forest flora, 196 plant species belonging to 141 genera and 59 families were identified. Phytocenoses are characterized by 43 highly constant species of exclusively nemoral ECG. All modern forests are at different stages of demutation after logging of varying degrees of intensity, grazing, fires, and plowing. Demographically complete populations are typical for a small number of shade-tolerant species of trees and shrubs. In broad-leaved forests, 70–80 % of the potentially possible number of tree species has been preserved. Demographically complete populations are typical for a small number of shade-tolerant species of trees and shrubs. In the synusia of grasses, the representation of potential flora is only 22–35 %.

**Keywords:** low plateau of the Volga Upland, forest vegetation, succession status, floristic diversity, synusia

**For citation:** Leonova N.A. Successional state of forests in the secondary moraine plains' landscapes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;(4):119–136. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-4-11

## Введение

Ландшафты вторичных моренных равнин (ВМР) расположены к западу от долины р. Суры – низкое плато Приволжской возвышенности. Согласно ботанико-географическому районированию территория принадлежит Выше-Мокшанскому, Присурскому (Волжский бассейн) и Вороно-Хоперскому (Донской бассейн) районам [1].

Растительность этой территории претерпела существенную временную трансформацию: за последние 300 лет существенно сократились лесные территории за счет масштабной вырубки, распашки, активного выпаса скота. Лесистость в конце XIX в. составляла не более 20 %, преобладали лиственные леса, преимущественно с доминированием *Quercus robur*. Исследователями отмечается, что «редко удается видеть лесные участки, мало затронутые человеком, с более или менее хорошо сохранившимся типичным лесным покровом» [2, 3].

В настоящее время лесистость в ландшафтах вторичных моренных равнин составляет не более 13 %. При этом лесистость Вороно-Хоперского ботанико-географического района (Донской бассейн) не превышает 10 %.

## Материалы и методы

Изучение состава и структуры лесной растительности осуществляли при маршрутных и стационарных исследованиях на пробных площадях (ПП) размером 10 × 10 м (100 м<sup>2</sup>). Геоботанические описания проводили в рамках естественных контуров растительных сообществ с указанием в процентах



проективного покрытия растений. Для каждого древесного растения на ПП отмечали: возрастное состояние, происхождение (семенное или вегетативное), высоту, принадлежность к ярусу, жизненность (чаще всего по трехбалльной шкале [4]). Выделение возрастного (онтогенетического) состояния проводили в соответствии с классификацией онтогенетических состояний семенных растений [5–9]. Принято следующее деление на ярусы: ярус *A* – древесный ярус – генеративные и сенильные деревья высотой 15 и более метров, ярус *B* – ярус подростка – виргинильные деревья и виргинильные и генеративные особи кустарников, высотой более 1 м, ярус *C* – травяно-кустарничковый (травяной) ярус – имматурные особи деревьев, кустарников, кустарнички и травы, *D* – мохово-лишайниковый ярус. Латинские названия растений приведены по сводке С. К. Черепанова [10]. Полученные геоботанические описания послужили материалом для анализа биоразнообразия.

Классификацию растительности (типизация сообществ) проводили с эколого-ценотических позиций [11–13].

Оценка экологических режимов местообитаний сообществ проведена с использованием диапазонных экологических шкал Д. Н. Цыганова [14].

Структурное разнообразие сообществ оценивали по соотношению в составе растительного покрова эколого-ценотических групп (ЭЦГ) видов – видов экологически близких в своем генезисе, связанных с разными типами сообществ. Использовалась классификация ЭЦГ, предложенная О. В. Смирновой и Л. Б. Заугольной [15, 16] на основе экологических групп А. А. Ниченко [17] и с учетом исторических свит Г. М. Зозулина [18, 19]. Все виды сосудистых растений, отмеченные в геоботанических описаниях, были разделены на следующие 9 ЭЦГ: неморальная (Nm), бореальная (Br), нитрофильная (Nt), боровая (Pn), лугово-опушечная (Md), степная (St), олиготрофная (Olg), водно-болотная (Wt) и адвентивная (AdCult).

Для оценки сукцессионного состояния использовали параметры [11, 13, 15, 20, 21]: представленность потенциальной флоры – отношение числа видов реальной флоры к числу видов потенциальной флоры экотопа (в %); доля участия *R*-видов (эксплерентов) в древесном ярусе – отношение покрытия эксплерентных видов к суммарному покрытию всех видов древесного полога (%); степень доминирования – отношение покрытия наиболее обильного вида к суммарному покрытию видов, входящих в состав яруса (%); доля демографически полночленных популяций – процент видов с полночленными популяциями от общего числа видов синузии (показатель рассчитывался для синузий деревьев и кустарников); доля неморальных видов – отношение суммарного покрытия видов неморальной группы (с учетом обилия) к суммарному обилию видов травяного покрова (%).

### Результаты и обсуждение

Леса в ландшафтах вторичных моренных равнин представлены 4 формациями: сосновых, березовых, осиновых, черноольховых лесов, 1 группой формаций: широколиственных лесов и 10 группами ассоциаций (табл. 1).

В настоящее время сосновые леса не имеют широкого распространения в ландшафтах вторичных моренных равнин и занимают гораздо меньшую площадь по сравнению с лиственными лесами, на их долю приходится около

20 % лесопокрытой площади, из них до 70 % – культуры разного возраста, т.е. имеют искусственное происхождение. В древесном ярусе помимо *Pinus sylvestris* присутствует *Betula pendula*, значительно реже – *Fraxinus excelsior*. Часто формируется второй древесный ярус из *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, с участием *Quercus robur* и *Ulmus glabra*. Сосновые леса представлены 2 группами ассоциаций и 4 ассоциациями (табл. 1).

Таблица 1

Классификация лесной растительности ВМР  
с эколого-ценотических позиций

Группа ассоциаций	Ассоциации
<b>Формация сосновых лесов – <i>Pineta sylvestris</i> (P)</b>	
<b><i>Pineta nemoro-herbosa</i></b> (P-Nm)	<i>Pinetum caricosum pilosae</i> , <i>Pinetum stellariosum</i> , <i>Pinetum aegopodiosum</i> , <i>Pinetum mixto-herbosum</i>
<b><i>Pineta nemoro-prato-herbosa</i></b> (P-Nm_Md)	<i>Pinetum bromopsiosum inermis</i>
<b>Группа формаций широколиственных лесов – <i>Querceta</i> (Q)</b>	
<b><i>Querceta nemoro-herbosa</i></b> (Q-Nm)	<i>Quercetum coryloso-aegopodiosum</i> , <i>Quercetum aegopodiosum</i> , <i>Tilietum aegopodiosum</i> , <i>Quercetum coryloso-caricosum pilosae</i> , <i>Tilieto-Quercetum coryloso-caricosum pilosae</i> , <i>Quercetum caricosum pilosae</i> , <i>Querceto-Tilietum caricosum pilosae</i> , <i>Quercetum convallariosum</i> , <i>Quercetum caricosum michelii</i> , <i>Quercetum coryloso-stellariosum</i> , <i>Quercetum caricosum rhizinae</i> , <i>Querceto-Acereto-Tilietum mercurialiosum</i> , <i>Quercetum mixto-herbosum</i>
<b><i>Querceta nitrophilo-nemoro-herbosa</i></b> (Q-Nm_Nt)	<i>Quercetum herboso-aegopodiosum</i> , <i>Quercetum mixto-herbosum</i> , <i>Quercetum aegopodioso-urticosum</i> , <i>Quercetum urticosum</i> , <i>Quercetum rubosum caesius</i>
<b><i>Querceta nemoro-prato-steppe-herbosa</i></b> (Q-Nm_Md_St)	<i>Quercetum bromopsiosum ripariae</i> , <i>Quercetum bromopsiosum ripariae</i>
<b>Формация осинников – <i>Tremuleta</i> (Pp)</b>	
<b><i>Tremuleta nemoro-herbosa</i></b> (Pp-Nm)	<i>Tremuletum coryloso-aegopodiosum</i> , <i>Tremuletum caricosum pilosae</i> , <i>Tremuletum aegopodioso-caricosum</i> , <i>Tremuletum coryloso-stellariosum</i>
<b><i>Tremuleta nitrophilo-nemoro-herbosa</i></b> (Pp-Nt_Nm)	<i>Tremuletum urticosum-aegopodiosum</i> , <i>Tremuletum mixto-herbosum</i>
<b>Формация березняков – <i>Betuleta</i> (B)</b>	
<b><i>Betuleta nemoro-herbosa</i></b> (B-Nm)	<i>Betuletum caricosum pilosae</i> , <i>Betuletum aegopodiosum</i>
<b><i>Betuleta nitrophilo-nemoro-herbosa</i></b> (B-Nt_Br)	<i>Betuletum mixto-herbosum</i>
<b>Формация ольшаников (черноольшаников) – <i>Alneta glutinosa</i> (A)</b>	
<b><i>Alneta nitrophilo-herbosa</i></b> (A-Nt)	<i>Alnetum urticosum</i>

Современные широколиственные леса преобладают в ландшафтах вторичных моренных равнин и занимают по площади около 30 %. Лесные массивы с доминированием в древостое *Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata* встречаются во всех типах местности. Эти леса представлены 3 группами ассоциаций и 20 ассоциациями (см. табл. 1). Широколиственные леса и в прошлом столетии преобладали на этих территориях. Так, И. И. Спрыгин (1986) отмечает, что «преобладающей породой здесь обычно является дуб, реже осина или липа».

Мелколиственные леса – осинники и березняки (*Betula pendula*, *B. pubescens*) – в настоящее время не имеют широкого распространения в лесостепных ландшафтах вторичных моренных равнин. Осиновые леса занимают около 23 % от всей лесной территории и формируются, как правило, после вырубki широколиственных лесов, представлены 2 группами ассоциаций и 6 ассоциациями (см. табл. 1). Березняки встречаются по вырубкам, заброшенным залежам, сенокосам, гарям, представлены 2 группами ассоциаций и 3 ассоциациями (см. табл. 1).

Черноольшаники в ландшафтах ВМР встречаются редко по поймам рек в пределах пойменных и надпойменно-террасовых ландшафтов долинных комплексов и представлены небольшим числом описаний. Представлены 1 группой ассоциаций и 1 ассоциацией (см. табл. 1).

В составе флоры лесов выявлено 196 видов растений, принадлежащих 141 роду и 59 семействам. На долю двудольных цветковых растений приходится абсолютное большинство видов (табл. 2).

Таблица 2

Таксономическая структура лесов  
ландшафтов вторичных моренных равнин

Признаки	Формации				
	А	В	Р	Рр	Q
Общее число видов	11	89	80	85	159
Общее число родов	11	77	69	73	115
Общее число семейств	9	45	37	44	48
Доля мхов, %	0	4,5	2,5	0	0
Доля сосудистых споровых, %	0	7,9	1,3	2,4	3,8
Доля голосеменных, %	0	0	1,3	0	0
Доля цветковых, %	100	87,6	95,0	97,7	96,2
Доля однодольных среди цветковых, %	9,1	24,4	23,7	20,5	21,6
Доля двудольных среди цветковых, %	90,9	75,6	76,3	79,5	78,4

**Примечание.** Формации: А – черноольховые леса, В – березовые леса, Р – сосновые леса, Рр – осиновые леса, Q – широколиственные леса.

Максимальное число видов во всех формациях отмечено в группе ассоциаций с доминированием видов неморальной ЭЦГ, при этом в широколиственных лесах неморальных видовое богатство превышает общее число видов во всех других группах ассоциаций в два и более раз (табл. 3).

Таблица 3

## Число видов растений в ландшафтах вторичных моренных равнин

Формация	Группа ассоциаций	Средняя видовая насыщенность	Число видов				
			общее	деревьев	кустарников	трав	мхов и лишайников
P	P-Nm	11,1	76	12	10	52	2
	P-Nm_Md	8,5	17	4	2	11	–
Q	Nm	12,9	136	13	9	114	–
	Nt_Nm	11,8	60	12	10	38	–
	Nm_Md_St	26,6	67	8	3	56	–
Pp	Pp-Nm	11,8	74	12	8	54	–
	Pp-Nt_Nm	10,8	53	12	8	33	–
B	B-Nm	14,0	66	10	7	49	–
	B-Nt_Br	17,4	32	6	2	20	4
A	A-Nt	9,3	11	2	1	8	–

**Примечание.** Обозначения формаций и групп ассоциаций то же, что и в табл. 1.

Видовое богатство древесной и кустарниковой синузий сообществ с высоким участием видов неморальной группы (Nm, Nt\_Nm) независимо от формации имеет сходные высокие значения. Минимальные показатели характерны для нитрофильных ольшаников. Максимальное видовое богатство трав отмечается в неморальных широколиственных лесах.

Средняя видовая насыщенность в отмеченных сообществах изменяется от 8,5 до 26,6 видов на 100 м<sup>2</sup>. Наиболее низкое значение общей видовой насыщенности характерно для неморально-луговых сосняков, что очевидно объясняется сильной антропогенной трансформацией растительности этой группы ассоциаций и потерей видовой разнообразия.

Для большинства групп ассоциаций характерна слабо различающаяся величина видовой насыщенности (10,8–14,0). Самые высокие показатели отмечены в неморально-лугово-степных дубравах – 26,6 видов на 100 м<sup>2</sup>, за счет внедрения большого числа лугово-степных видов.

Анализ флористического сходства формаций показал низкий уровень сходства лесной растительности (табл. 4). Наибольшее сходство характерно для сосняков и осинников, широколиственных лесов с сосняками и осинниками, березняков и осинников, что объясняется преобладанием в их составе неморальных видов и сходными высококонстантными видами (табл. 5).

Для фитоценозов характерны 43 высококонстантных вида, исключительно неморальной ЭЦГ (табл. 5). Наиболее часто в сообществах встречается *Lathyrus vernus*, *Acer platanoides*, реже – *Aegopodium podagraria*, *Carex pilosa*, *Convallaria majalis* и *Corylus avellana*.

Различия в составе сообществ выражаются также в количественных отношениях между разными эколого-ценотическими группами видов (рис. 1). Достаточно четко прослеживается доминирование видов неморальной ЭЦГ практически во всех группах ассоциаций, высоко участие видов луговой и бореальной ЭЦГ.

Таблица 4

Флористическое сходство формаций  
в ландшафтах вторичных моренных равнин (коэффициент Жаккара)

Формации	B	P	Pp	Q
A	0,075	0,058	0,091	0,069
B		0,397	0,475	0,370
P			0,500	0,414
Pp				0,435

**Примечание.** Обозначение формаций то же, что и в табл. 1.

Таким образом, наиболее гетерогенными оказываются неморальные широколиственные леса.

Экологический анализ геоботанических описаний показал, что наиболее четкая корреляция разных групп ассоциаций наблюдается с факторами влажности, обобщенного солевого режима и кислотности почвы (рис. 2).

Сообщества с высоким участием лугово-степных видов занимают наиболее сухие и богатые по трофности, близкие к нейтральным местообитания. Леса с доминированием видов нитрофильной и бореальной ЭЦГ предпочитают наиболее увлажненные, но более бедные по обобщенному солевному режиму и богатству азотом местообитания с «кислыми» почвами. Сообщества с высоким участием видов нитрофильной ЭЦГ занимают хорошо увлажненные и богатые азотом местообитания со слабокислыми почвами.

Экологическое пространство групп ассоциаций с преобладанием видов неморальной ЭЦГ имеют сходные балловые показатели и взаимно пересекаются по большинству факторов среды, при этом по фактору обобщенного солевого режима наблюдается их достаточно четкое разделение – постепенное уменьшение трофности почвы в ряду Q-Nm – Pp-Nm – B-Nm – P-Nm.

Сосновые леса являются наиболее светлыми сообществами, наиболее затененными – неморальные широколиственные леса.

Анализ состава и структуры лесов, исследование истории хозяйственного использования территории ландшафтов вторичных моренных равнин, а также оценка сукцессионного состояния лесного покрова этих территорий показали (табл. 6, рис. 3), что все современные леса находятся на разных стадиях демутиаций после рубок разной степени интенсивности, выпаса, пожаров, распашки.

Наибольшая сохранность флористического разнообразия деревьев отмечена для широколиственных лесов (рис. 3). Для всех типов лесов характерны низкие балловые значения онтогенетической полночленности деревьев первого яруса. Максимальная доля R-видов в древостое отмечена для сосняков, осинников и неморальных березняков. В синузии кустарников наибольшая сохранность флористического разнообразия отмечается в сообществах с преобладанием видов нитрофильной и неморальной ЭЦГ (неморальных и нитрофильно-неморальных широколиственных лесах и осинниках). Самая высокая онтогенетическая полночленность – в сообществах с высоким участием неморальных видов (неморальных сосняках, неморальных широколиственных лесах, неморальных осинниках). В синузии трав отмечается невысокая сохранность флористического разнообразия во всех типах леса, при этом во всех сообществах, кроме нитрофильно-бореальных березняков и нитрофильных черноольшаников, очень высоко участие видов неморальной ЭЦГ.

Таблица 5

## Высококонтантные виды групп ассоциаций (IV–V классы константности)

Формация	P		Q			Pp			B		A
	Nm	Nm_Md	Nm	Nt_Nm	Nm_Md_St	Nm	Nt_Nm	Nm	Nt_Br	Nt	
Группа ассоциаций	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1											
<i>Lathyrus vernus</i>	IV		IV		IV	IV		IV			
<i>Acer platanoides</i>	IV		V			IV		V			
<i>Aegopodium podagraria</i>			IV			IV	V	V			
<i>Carex pilosa</i>			IV			V		V			
<i>Convallaria majalis</i>			IV	V			IV				
<i>Corylus avellana</i>			IV			V		IV			
<i>Quercus robur</i>			V	V	V						
<i>Acer tataricum</i>				IV	IV						
<i>Alnus glutinosa</i>									V	V	
<i>Cerasus fruticosa</i>		V			IV						
<i>Euonymus verrucosa</i>	IV		IV								
<i>Lysimachia vulgaris</i>									V	V	
<i>Padus avium</i>				V						V	
<i>Pinus sylvestris</i>	V	V									
<i>Populus tremula</i>						V	V				
<i>Tilia cordata</i>			IV					IV		V	
<i>Urtica dioica</i>				V							
<i>Agrimonia eupatoria</i>					IV						
<i>Betula pendula</i>								V			
<i>Bromopsis inermis</i>		V									
<i>Bromopsis riparia</i>					V						

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Calamagrostis epigeios</i>					IV					
<i>Clinopodium vulgare</i>					IV					
<i>Dactylis glomerata</i>					IV					
<i>Dryopteris cristata</i>									V	
<i>Fragaria vesca</i>					V					
<i>Frangula alnus</i>									V	
<i>Filipendula ulmaria</i>										V
<i>Galium verum</i>					IV					
<i>Glechoma hederacea</i>										V
<i>Humulus lupulus</i>										IV
<i>Pimpinella saxifraga</i>					V					
<i>Poa angustifolia</i>					IV					
<i>Polygonatum multiflorum</i>							IV			
<i>Pulmonaria obscura</i>						IV				
<i>Pyrethrum corymbosum</i>					V					
<i>Scirpus sylvaticus</i>										V
<i>Scrophularia nodosa</i>					IV					
<i>Stachys officinalis</i>					V					
<i>Stellaria holostea</i>			IV							
<i>Ulmus glabra</i>				V						
<i>Vaccinium myrtillus</i>									IV	
<i>Veronica chamaedrys</i>					V					

**Примечания.** Жирным шрифтом и цветом выделены виды, имеющие наибольшую встречаемость в лесах в ландшафтах вторичных моренных равнин. Обозначение формаций и групп ассоциаций то же, что и в табл. 1.

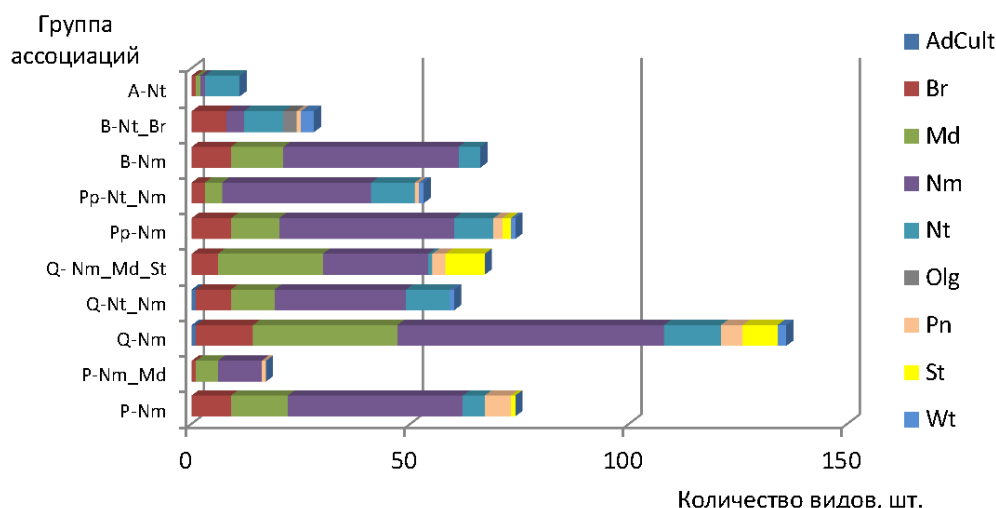


Рис. 1. Доля разных эколого-ценотических групп видов во флоре групп ассоциаций в ландшафтах вторичных моренных равнин

**Примечание.** Обозначение групп ассоциаций то же, что и в табл. 1.

Широколиственные леса с доминированием в древостое *Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata* преобладают в ландшафтах вторичных моренных равнин, занимают по площади около 30 % и представляют собой трансформированные длительной хозяйственной деятельностью «осколки» полидоминантных широколиственных лесов. Оценка степени сохранности флоры показала, что в нитрофильно-неморальных широколиственных лесах сохранилось 80 % от потенциально возможного числа древесных видов, в неморальных – около 70 %, а в неморально-лугово-степных – всего 15 %.

На долю R-видов (эксплерентов) приходится 25–38 %. Сходные тенденции наблюдаются и в кустарниковой синузии. Демографически полночленные популяции характерны для небольшого числа теневыносливых видов деревьев и кустарников (*Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Euonymus verrucosa*, *Corylus avellana*). Столь резкие различия в сохранности древесной флоры объясняются длительным в прошлом и наблюдающимся в настоящее время хозяйственным воздействием: выпасом, выборочными рубками.

В синузии трав представленность потенциальной флоры составляет всего 22–35 %, что объясняется неблагоприятной световой обстановкой под пологом деревьев и кустарников, отсутствием гэп-мозаики. В травяном покрове господствуют виды неморальной ЭЦГ – на их долю приходится от трети до половины от общего числа видов, по типам стратегии.

Сосновые леса представлены в основном культурами разного класса возраста. Демографически полночленные популяции деревьев и кустарников в них либо отсутствуют, либо их доля не высока. В древесном ярусе доминирует *Pinus sylvestris* (R-вид). Для синузии кустарников неморальных сосняков демографически полночленные популяции характерны только для теневыносливых видов (*Euonymus verrucosa*, *Corylus avellana*). В травяном ярусе высоко участие неморальных видов – около 60 %, при этом степень флористического богатства не высокая, а в наиболее трансформированных лугово-неморальных сосняках она имеет одно из наиболее низких значений среди всех типов леса в ландшафтах вторичных моренных равнин.



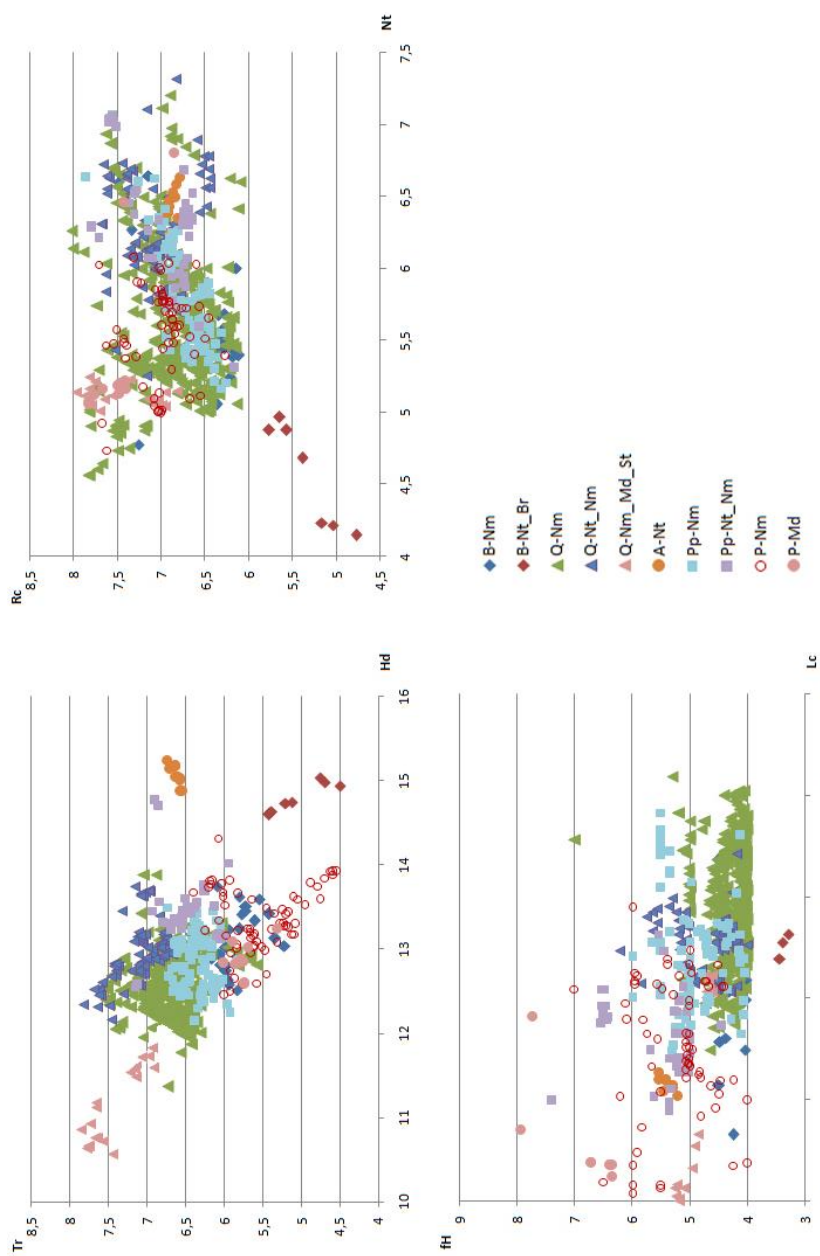


Рис. 2. Экологическое пространство групп ассоциаций по основным факторам среды. Факторы среды: Nd – увлажнение, Rc – кислотность, Tr – обобщенный солевой режим (трофность), Nt – богатство азотом, fN – переменность увлажнения почв и Lc – освещенность.

**Примечание.** Обозначение групп ассоциаций то же, что и в табл. 1.

Таблица 6

## Оценка признаков сукцессионного состояния лесов в ландшафтах вгоричных моренных равнин

Формация	P		Q			Pp		B		A
	Nim	Nm_Md	Nm	Nt_Nim	Nm_Md_St	Nm	Nt_Nim	Nim	Nt_Br	Nt
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Синузия деревьев</i>										
Доля демографически полночленных популяций, %	28,6	0	37,5	16	10	55,6	0	37,5	0	0
Доля R-видов в древесном ярусе, %	80	90	32	37,5	25	90	86	82,6	42,8	0
Степень флористического богатства, %	36,8	10,5	67	80	15	57,9	63,2	52,6	31,6	10,5
Число видов во всех описаниях	7	4	8	12	2	11	12	10	6	2
Степень доминирования в древесном ярусе, %	80	90	62,9	70	80	71,4	89,7	82,6	45,5	55,5
Среднее (максимальное) число видов в ярусе A на 100 м <sup>2</sup>	2 (5)	1,5 (2)	2,2 (5)	2,1 (3)	1,4 (2)	2,1 (3)	2,5 (5)	2,3 (5)	2,6 (3)	2
<i>Синузия кустарников</i>										
Степень флористического богатства, %	32,7	13	41	67	1	60	53,3	46,7	13,3	6,7
Число видов во всех описаниях	10	2	6	10	1	9	8	7	2	1
Доля демографически полночленных популяций, %	33,3	0	67	20	0	60	0	28,6	50	0
Среднее (максимальное) число видов на 100 м <sup>2</sup>	1,2 (3)	1,1 (2)	2,4 (6)	1,7 (5)	1,2 (3)	1,4 (4)	0,3 (3)	1,0 (2)	1,3 (2)	0,5 (1)
Степень доминирования в синузии кустарников, %	25	80	70	28,9	60	65,4	0,1 (3)	77,8	45,2	2,8

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Синузия трав</i>										
Степень флористического богатства, %	32,7	6,9	21,9	23,9	34,6	33,9	20,8	30,8	12,6	5
Доля неморальных видов, %	57,7	63,6	43,4	50	32,7	55,6	66,7	61,2	10	12,5
Число видов во всех описаниях	52	11	113	38	55	54	33	49	20	8
Среднее (максимальное) число видов на 100 м <sup>2</sup>	2,8 (8)	2,6 (6)	9,7(22)	5,6(12)	21,1	6,1 (13)	5,3 (11)	8,9 (23)	11,0(14)	6,1 (7)
Степень доминирования в синузиде трав, %	57,5	58,8	32,6	45,2	67	68	58,4	81,2	36,7	76,1

**Примечание.** Обозначения формаций и групп ассоциаций то же, что и в табл. 1.

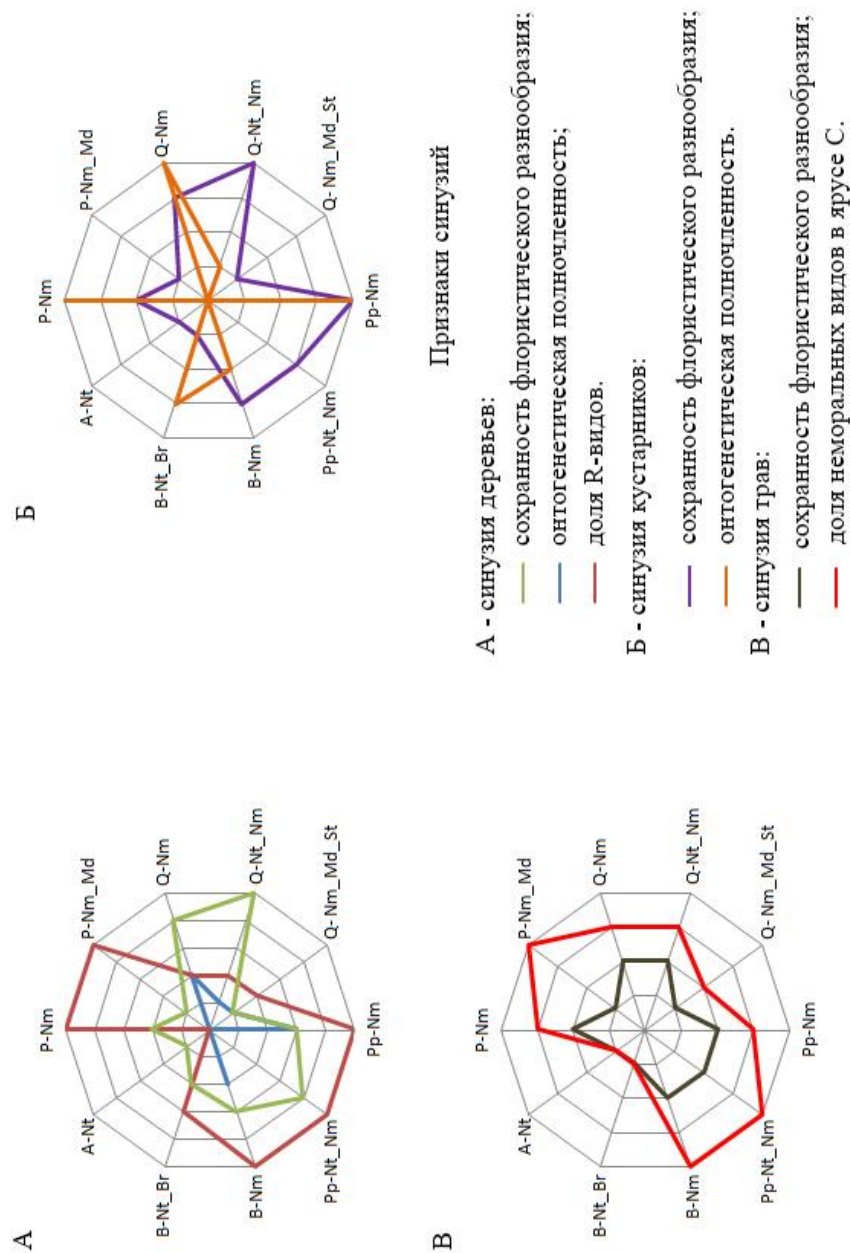


Рис. 3. Полиграммы оценок сукцессионного состояния групп ассоциаций формаций лесов по диагностическим признакам разных синузий.

**Примечание.** Обозначение групп ассоциаций то же, что и в табл. 1.

Мелколиственные леса (березняки, осинники) отличает высокое участие неморальных видов и среди древесных форм, и среди трав. Абсолютное господство в древесном ярусе принадлежит эксплерентным (*R*-видам) видам (*Betula pendula*, *B. pubescens*, *Populus tremula*), при этом их доля в древостое варьирует от 43 до 90 %. По степени флористического богатства всех синузий они близки к неморальным широколиственным лесам. Очевидно, что своим происхождением березняки и осинники связаны с неморальными широколиственными лесами, на месте которых после многократных рубок и выпаса, вызвавших угнетение порослевого возобновления, они и возникли.

Для черноольховых лесов характерны минимальные балловые оценки сукцессионного состояния во всех синузиях.

### Заключение

Леса в ландшафтах вторичных моренных равнин представлены 4 формациями: сосновых, березовых, осиновых, черноольховых лесов, 1 группой формаций: широколиственных лесов, 10 группами ассоциаций и 35 ассоциациями.

Широколиственные леса с доминированием в древостое *Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata* преобладают в ландшафтах вторичных моренных равнин, занимают по площади около 30 % и представляют собой трансформированные длительной хозяйственной деятельностью «осколки» полидоминантных широколиственных лесов.

В составе флоры лесов выявлено 196 видов растений, принадлежащих к 141 роду и 59 семействам. На долю двудольных цветковых растений приходится абсолютное большинство видов.

Для фитоценозов характерны 43 высококонстантных вида, исключительно неморальной ЭЦГ (табл. 5). Наиболее часто в сообществах встречается *Lathyrus vernus*, *Acer platanoides*, реже *Aegopodium podagraria*, *Carex pilosa*, *Convallaria majalis* и *Corylus avellana*.

В травяном покрове лесов доминируют виды неморальной ЭЦГ практически во всех группах ассоциаций, высоко участие видов луговой и бореальной ЭЦГ.

Экологический анализ геоботанических описаний показал, что наиболее четкая корреляция разных групп ассоциаций наблюдается с факторами влажности, обобщенного солевого режима и кислотности почвы.

Все современные леса находятся на разных стадиях демутаций после рубок разной степени интенсивности, выпаса, пожаров, распашки.

Оценка степени сохранности флоры показала, что в нитрофильно-неморальных широколиственных лесах сохранилось 80 % от потенциально возможного числа древесных видов, в неморальных – около 70 %. На долю *R*-видов (эксплерентов) приходится 25–38 %. Демографически полночленные популяции характерны для небольшого числа теневыносливых видов деревьев и кустарников (*Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Euonymus verrucosa*, *Corylus avellana*). В синузии трав представленность потенциальной флоры составляет всего 22–35 %, что объясняется неблагоприятной световой обстановкой под пологом деревьев и кустарников, отсутствием гэп-мозаики. В травяном покрове господствуют виды неморальной ЭЦГ – на их долю приходится от трети до половины от общего числа видов, по типам стратегии.

### Список литературы

1. Васюков В. М., Саксонов С. В. Конспект флоры Пензенской области. Т. IV. Сер.: Флора Волжского бассейна / науч. ред. проф. С. В. Саксонов. Тольятти : Анна, 2020. С. 7.
2. Космовский К. А. Ботанико-географический очерк западной части Пензенской губернии // Материалы к познанию фауны и флоры Российской империи. М., 1890. Вып. 1. С. 1–92.
3. Спрыгин И. И. Научное наследство. Материалы к познанию растительности Среднего Поволжья. М. : Наука, 1986. Т. 11. 515 с.
4. Воронцова Л. И., Гатцук Л. Е., Чистякова А. А. Выделение трех уровней жизненного состояния в онтогенезе особей и применение этого метода для характеристики ценопопуляции // Подходы к изучению ценопопуляций и консорциев. М. : МГПИ, 1987. С. 7–24.
5. Работнов Т. А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники. М. ; Л. : АН СССР, 1950. Вып. 1. С. 465–483.
6. Уранов А. А. Онтогенез и возрастной состав популяций // Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений. М., 1967. С. 3–8.
7. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. 1975. № 2. С. 7–34.
8. Ценопопуляции растений: основные понятия и структура. М. : Наука, 1976. 216 с.
9. Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Комаров А. С. [и др.]. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М. : Наука, 1988. 184 с.
10. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
11. Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия / под ред. О. В. Смирновой, Е. С. Шапошникова. СПб. : РБО, 1999. 549 с.
12. Ханина Л. Г., Смирнов В. Э., Бобровский М. В. Новый метод анализа лесной растительности с использованием многомерной статистики (на примере заповедника «Калужские засеки») // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2002. Т. 107, № 1. С. 40–48.
13. Смирнова О. В., Бобровский М. В., Ханина Л. Г., Смирнов В. Э. Сукцессионный статус старовозрастных темнохвойных лесов Европейской России // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126, № 1. С. 27–49.
14. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М. : Наука, 1983. 196 с.
15. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках европейской России / под ред. Л. Б. Заугольновой. М. : Научный мир, 2000. 196 с.
16. Смирнова О. В., Ханина Л. Г., Смирнов В. Э. Эколого-ценотические группы в растительном покрове лесного пояса Восточной Европы // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М. : Наука, 2004. Кн. 1. С. 165–175.
17. Ниценко А. А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Ботанический журнал. 1969. Т. 54. 221 с.
18. Зозулин Г. М. Взаимоотношения лесной и травянистой растительности в Центрально-Черноземном государственном заповеднике // Труды Центрально-Черноземного государственного заповедника. 1955. Вып. 3. С. 102–234.
19. Зозулин Г. М. Исторические свиты растительности европейской части СССР // Ботанический журнал. 1973. Т. 58, № 8. С. 1081–1092.
20. Смирнова О. В. Методологические подходы и методы оценки климаксового и сукцессионного состояния лесных экосистем (на примере Восточноевропейских лесов) // Лесоведение. 2004. № 3. С. 15–27.

21. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / отв. ред. Л. Б. Заугольнова, Т. Ю. Браславская. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 383 с.

### References

1. Vasyukov V.M., Saksonov S.V. *Konspekt flory Penzenskoy oblasti. T. IV. Ser.: Flora Volzhskogo basseyna = Synopsis of the flora of Penza region. Volume 4. Series: Flora of the Volga basin.* Tolyatti: Anna, 2020:7. (In Russ.)
2. Kosmovskiy K.A. Botanical and geographical outline of the western part of the Penza province. *Materialy k poznaniyu fauny i flory Rossiyskoy imperii = Materials for the knowledge of the fauna and flora of the Russian Empire.* Moscow, 1890;1:1–92. (In Russ.)
3. Sprygin I.I. *Nauchnoe nasledstvo. Materialy k poznaniyu rastitel'nosti Srednego Povolzh'ya = Scientific legacy. Materials for the knowledge of vegetation of the Middle Volga region.* Moscow: Nauka, 1986;11:515. (In Russ.)
4. Vorontsova L.I., Gattsuk L.E., Chistyakova A.A. Identification of three levels of the vital state in the ontogeny of individuals and the application of this method to characterize the cenopopulation. *Podkhody k izucheniyu tsenopulyatsiy i konsortsiy = Approaches to the study of coenopopulation and consortia.* Moscow: MGPI, 1987:7–24. (In Russ.)
5. Rabotnov T.A. Issues of studying the composition of populations for the purposes of phytocenology. *Problemy botaniki = Botany issues.* Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1950;1:465–483. (In Russ.)
6. Uranov A.A. Ontogeny and age composition of populations. *Ontogenez i vozrastnoy sostav populyatsiy tsvetkovykh rasteniy = Ontogeny and age composition of flowering plant populations.* Moscow, 1967:3–8. (In Russ.)
7. Uranov A.A. Age spectrum of phytocenopopulation as a function of time and energy wave processes. *Biologicheskie nauki = Biological sciences.* 1975;(2):7–34. (In Russ.)
8. *Tsenopulyatsii rasteniy: osnovnye ponyatiya i struktura = Plant cenopopulations: basic concepts and structure.* Moscow: Nauka, 1976:216. (In Russ.)
9. Zaugol'nova L.B., Zhukova L.A., Komarov A.S. [et al.]. *Tsenopulyatsii rasteniy (ocherki populyatsionnoy biologii) = Cenopopulations of Plants (Essays in Population Biology).* Moscow: Nauka, 1988:184. (In Russ.)
10. Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) = Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR).* Saint Petersburg: Mir i sem'ya, 1995:992. (In Russ.)
11. Smirnova O.V., Shaposhnikov E.S. (eds.). *Suktsessionnye protsessy v zapovednikakh Rossii i problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya = Succession processes in Russian nature reserves and problems of biological diversity conservation.* Saint Petersburg: RBO, 1999:549. (In Russ.)
12. Khanina L.G., Smirnov V.E., Bobrovskiy M.V. A New Method for the Analysis of Forest Vegetation Using Multivariate Statistics (on the Example of the Reserve "Kaluzhskiy Zaseki"). *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy = Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Department of biology.* 2002;107(1):40–48. (In Russ.)
13. Smirnova O.V., Bobrovskiy M.V., Khanina L.G., Smirnov V.E. Succession status of old-growth dark coniferous forests in European Russia. *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in modern biology.* 2006;126(1):27–49. (In Russ.)
14. Tsyganov D.N. *Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoyno-shirokolistvennykh lesov = Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-deciduous forests.* Moscow: Nauka, 1983:196. (In Russ.)
15. Zaugol'nova L.B. (ed.). *Otsenka i sokhraneniye bioraznoobraziya lesnogo pokrova v zapovednikakh evropeyskoy Rossii = Assessment and conservation of biodiversity of*

- forest cover in the reserves of European Russia*. Moscow: Nauchnyy mir, 2000:196. (In Russ.)
16. Smirnova O.V., Khanina L.G., Smirnov V.E. Ecological and coenotic groups in the vegetation cover of the forest belt of Eastern Europe. *Vostochnoevropeyskie lesa: istoriya v golotsene i sovremennost' = Eastern European forests: history in the Holocene and present*. Moscow: Nauka, 2004;1:165–175. (In Russ.)
  17. Nitsenko A.A. On the study of the ecological structure of vegetation cover. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1969;54:221. (In Russ.)
  18. Zozulin G.M. Interrelations of forest and herbaceous vegetation in the Central Black Earth State Reserve. *Trudy Tsentral'no-Chernozemnogo gosudarstvennogo zapovednika = Proceedings of the Central Black Earth State Reserve*. 1955;3:102–234. (In Russ.)
  19. Zozulin G.M. Historical suites of vegetation of the European part of the USSR. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1973;58(8):1081–1092. (In Russ.)
  20. Smirnova O.V. Methodological approaches and methods for assessing the climax and successional state of forest ecosystems (on the example of Eastern European forests). *Lesovedenie = Silvics*. 2004;(3):15–27. (In Russ.)
  21. Zaugol'nova L.B., Braslavskaya T.Yu. (ed.). *Metodicheskie podkhody k ekologicheskoy otsenke lesnogo pokrova v bassejne maloy reki = Methodological approaches to the ecological assessment of forest cover in the small river basin*. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010:383. (In Russ.)

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

***Наталья Алексеевна Леонова***

кандидат биологических наук, доцент,  
доцент кафедры общей биологии  
и биохимии, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: na\_leonova@mail.ru

***Natal'ya A. Leonova***

Candidate of biological sciences, associate  
professor, associate professor of the  
sub-department of general biology and  
biochemistry, 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 20.10.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.11.2021**

**Принята к публикации / Accepted 05.12.2021**



## **Вниманию авторов!**

Редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» приглашает специалистов опубликовать на его страницах оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты в области биологии, а также обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows (тип файла – RTF, DOC).

Необходимо представить статью в электронном виде (VolgaVuz@mail.ru) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах. Оптимальный объем рукописи 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полуторный интервал. Статья **обязательно** должна содержать индекс УДК, ключевые слова и развернутую аннотацию объемом от 100 до 250 слов, имеющую четкую структуру **на русском** (Актуальность и цели. Материалы и методы. Результаты. Выводы) **и английском** (Background. Materials and methods. Results. Conclusions) **языках**.

**Обращаем внимание авторов** на то, что в соответствии с этическим кодексом журнала для обеспечения единообразия перевод фамилии, имени, отчества каждого автора на английский язык (в сведениях об авторах и списке литературы) осуществляется автоматически с использованием программы транслитерации в кодировке BGN (сайт translit.ru).

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями.

**Формулы** в тексте статьи **обязательно** должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Word Equation (версия 3.0) или MathType. Символы греческого и русского алфавитов должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

В списке литературы **нумерация источников** должна соответствовать **очередности ссылок** на них в тексте ([1], [2], ...). Номер источника указывается в квадратных скобках. **Требования к оформлению списка литературы** на русские и иностранные источники: **для книг** – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц; **для журнальных статей, сборников трудов** – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала или сборника, серия, год, том, номер, страницы; **для материалов конференций** – фамилия и инициалы автора, название статьи, название конференции, город, издательство, год, страницы.

К материалам статьи **должна** прилагаться следующая информация: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, место и юридический адрес работы (на русском и английском языках), e-mail, контактные телефоны (желательно сотовые).

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается. Рукопись, полученная редакцией, не возвращается. Редакция оставляет за собой право проводить редакторскую и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

**Статьи, оформленные без соблюдения приведенных выше требований, к рассмотрению не принимаются.**

### ***Уважаемые читатели!***

Для гарантированного и своевременного получения журнала **«Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки»** рекомендуем вам оформить подписку.

Журнал выходит 4 раза в год по тематике • биология.

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

Для оформления подписки через редакцию необходимо заполнить и отправить заявку в редакцию журнала: тел. +7 (8412) 64-32-89; E-mail: volgavuz@pnzgu.ru

Подписку можно оформить по объединенному каталогу «Пресса России», тематические разделы: «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов», «Природа. Мир животных и растений. Экология», «Химия. Нефтехимия. Нефтегазовая промышленность». Подписной индекс – 70238.

---

### **ЗАЯВКА**

Прошу оформить подписку на журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» на 20\_\_ г.

№ 1 – \_\_\_\_\_ шт., № 2 – \_\_\_\_\_ шт., № 3 – \_\_\_\_\_ шт., № 4 – \_\_\_\_\_ шт.

Наименование организации (полное) \_\_\_\_\_

ИНН \_\_\_\_\_ КПП \_\_\_\_\_

Почтовый индекс \_\_\_\_\_

Республика, край, область \_\_\_\_\_

Город (населенный пункт) \_\_\_\_\_

Улица \_\_\_\_\_ Дом \_\_\_\_\_

Корпус \_\_\_\_\_ Офис \_\_\_\_\_

ФИО ответственного \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Руководитель предприятия \_\_\_\_\_

(подпись)

(ФИО)

Дата «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.