

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 2 (30)

2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Гаврилова Н. А., Шурыгина М. С., Курдюков Е. Е., Водопьянова О. А., Кривов Д. В.* Новая методика количественного определения флавоноидов в цветках липы ..... 5
- Воскресенская О. Л., Половникова М. Г.* Содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений в условиях городской среды .... 14
- Фоминых М. М., Хомутов Т. О., Курдюков Е. Е.* Новая методика количественного определения пигментов в листьях стевии ..... 23
- Старикова Е. А., Воскресенская О. Л.* Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов у хвойных растений в условиях городской среды ..... 32

### ЗООЛОГИЯ

- Кидов А. А., Шиманская Е. А., Кидова Е. А., Трофимец А. В., Аскендеров А. Д.* Репродуктивный потенциал тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Amphibia, Caudata, Salamandridae) из дагестанской популяции в лабораторных условиях ..... 43
- Есаулов А. С., Мальшева Е. А., Бабешко К. В., Цыганов А. Н., Беякова О. И., Мазей Ю. А.* Пространственное распределение раковинных амёб отряда Arcellinida в западно-болотных в разных масштабах ..... 56

### ЭКОЛОГИЯ

- Андреева М. И., Иванов А. И., Смирнов Д. Г.* Накопление кадмия сосудистыми растениями в лесных экосистемах Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области ..... 71
- Панов А. Г.* Изменение трофической и экологической структур цилиофауны нижнего течения р. Лютоги в период появления в ней сненки тихоокеанских лососей ..... 90

<b>Асанов А. Ю.</b> Мониторинг продуктивности зообентоса на зарегулированном участке реки Суры в Пензенской области .....	100
<b>Кидов А. А., Хайрутдинов И. З., Иванов А. А., Кидова Е. А.</b> К изучению особенностей роста в онтогенезе и возрастной структуры популяции гирканской луговой ящерицы, <i>Darevskia praticola hyrcanica</i> (Reptilia, Lacertidae) в типовом локалитете (урочище Гадазыгахи, Тальшские горы) .....	111

UNIVERSITY PROCEEDINGS  
VOLGA REGION

NATURAL SCIENCES

№ 2 (30)

2020

CONTENTS

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Gavrilova N. A., Shurygina M. S., Kurdyukov E. E., Vodop'yanova O. A., Krivov D. V.* A new method of quantitative determination of flavonoids in Linden flowers ..... 5
- Voskresenskaya O. L., Polovnikova M. G.* Content of total phosphorus in vegetative organs of lawn plants in the conditions of the urban environment..... 14
- Fominykh M. M., Khomutov T. O., Kurdyukov E. E.* A new method of quantitative determination of pigments in stevia leaves..... 23
- Starikova E. A., Voskresenskaya O. L.* Seasonal dynamics of the content of photosynthetic pigments in coniferous plants under the conditions of the urban environment ..... 32

ZOOLOGY

- Kidov A. A., Shimanskaya E. A., Kidova E. A., Trofimets A. V., Askenderov A. D.* Reproductive potential of the Karelin's newt, *Triturus karelinii* (Amphibia, Caudata, Salamandridae) from Dagestan population in laboratory conditions..... 43
- Esaulov A. S., Malysheva E. A., Babeshko K. V., Tsyganov A. N., Belyakova O. I., Mazei Yu. A.* Spatial distribution of Arcellinida testate amoebae in aapa moor at different scales..... 56

ECOLOGY

- Andreeva M. I., Ivanov A. I., Smirnov D. G.* Cadmium accumulation by vascular plants in forest ecosystems of the Volga Upland in Penza region..... 71
- Panov A. G.* The change in the trophic and ecological structures of ciliofauna in the lower reach of the Lyutoga river during the appearance of the dead Pacific salmon in it..... 90

<i>Asanov A. Yu.</i> Monitoring zoobentos productivity at the regulated Sura river section in Penza region .....	100
<i>Kidov A. A., Khayrutdinov I. Z., Ivanov A. A., Kidova E. A.</i> To the study of the growth peculiarities in ontogenesis and age structure of the Hyrcanian meadow lizard, <i>Darevskia praticola hyrcanica</i> (Reptilia, Lacertidae) population in the type locality (Gadazyghahi Natural Boundaries, Talysh Mountains) .....	111

# ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

---

УДК 615.1: 615.322: 615.036

DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-1

Н. А. Гаврилова, М. С. Шурыгина,  
Е. Е. Курдюков, О. А. Водопьянова, Д. В. Кривов

## НОВАЯ МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В ЦВЕТКАХ ЛИПЫ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Цветки липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill, сем. Липовых – *Tiliaceae*) в виде различных лекарственных форм используются в качестве потогонного и отхаркивающего средства. Фармакологические свойства препаратов цветков липы в основном обусловлены эфирным маслом (фарнезол) и полисахаридами. Однако по литературным данным, в сырье липы присутствуют флавоноиды, которые представлены тилианином, кверцетином, гиперозидом, рутином. Важным фармакологическим свойством флавоноидов является повышение прочности стенок капилляров (Р-витаминная активность) за счет антиоксидантного действия, данное свойство важно при лечении сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с увеличением проницаемости кровеносных капилляров [1, 2]. Наиболее ярким представителем в данной группе веществ является рутин, относящийся к группе витамина Р. В этом отношении большой интерес представляют цветки липы, содержащие данные соединения. Проблемы химической стандартизации сырья данного растения решены не в полной мере, актуальным является разработка методов стандартизации по количественному содержанию суммы флавоноидов. На наш взгляд, несмотря на сложный химический состав цветков липы, представленный такими группами биологически активных соединений (БАС), как эфирное масло, полисахариды, флавоноиды, стандартизацию данного растения целесообразно проводить и по содержанию флавоноидов. Цель исследования – исследование по разработке методики количественного определения содержания флавоноидов в сырье липы.

*Материалы и методы.* В качестве объекта исследования использовали три образца высушенных цветков липы, собранных в условиях Пензенской, Самарской и Московской областей. Количественное определение флавоноидов проводили методом дифференциальной спектрофотометрии.

*Результаты.* Для количественного определения суммы флавоноидов в лекарственном растительном сырье в качестве экстрагента используются водно-спиртовые растворы различной концентрации. Обнаружено, что по сравнению с 70 % спиртовыми экстрактами интенсивность пиков в 40 и 95 % спиртовых экстрактах меньше. Следовательно, для экстракции флавоноидов из цветков

---

© Гаврилова Н. А., Шурыгина М. С., Курдюков Е. Е., Водопьянова О. А., Кривов Д. В., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

липы целесообразно использование этанола 70 %. Показано, что УФ-спектры экстрактов цветков липы имеют один четкий максимум поглощения при 279 нм вне зависимости от концентраций этанола-экстрагента. В результате количественного определения флавоноидов в цветках липы изучены УФ-спектры их комплексных соединений с хлоридом алюминия. Было установлено, что в присутствии хлорида алюминия максимум поглощения комплексного соединения флавоноидов липы находится в области  $408 \pm 2$  нм. В результате исследования было выявлено, что наилучшая концентрация спирта – 70 %, наилучшее соотношение сырья и экстрагента – 1:100, наилучшее время для экстракции – 60 мин.

**Выводы.** С использованием разработанной методики определения флавоноидов были проанализированы образцы липы, выращенной в различных регионах России. Было установлено, что содержание флавоноидов в цветках липы варьирует от 1,5–2,0 %.

**Ключевые слова:** *Tilia cordata* Mill, флавоноиды, спектрофотометрия, количественное определение.

N. A. Gavrilova, M. S. Shurygina,  
E. E. Kurdyukov, O. A. Vodop'yanova, D. V. Krivov

## A NEW METHOD OF QUANTITATIVE DETERMINATION OF FLAVONOIDS IN LINDEN FLOWERS

### Abstract.

**Background.** Linden flowers (*Tilia cordata* Mill) in the form of various medicinal forms is used as a diaphoretic and expectorant. The pharmacological properties of Linden flower preparations are mainly due to the essential oil (farnesol) and polysaccharides. However, according to literature data, the raw materials of Linden contain flavonoids, which are represented by tilianin, quercetin, hyperoside, and rutin. One of the most important properties of flavonoids is the ability to increase the strength of capillary walls (P-vitamin activity) due to the antioxidant effect, which is important in the treatment of chronic venous insufficiency, hypertension and other cardiovascular diseases associated with increased permeability of blood capillaries [1, 2]. The most striking representative in this group of substances is rutin, which belongs to the group of vitamin R. In this case, Linden flowers are of great interest. The problem of chemical standardization of raw materials of this plant is not fully solved, it is important to develop methods of standardization for the quantitative content of the amount of flavonoids. In our opinion, despite the complex chemical composition of Linden flowers, represented by such groups of biologically active compounds as essential oil, polysaccharides, flavonoids, it is advisable to standardize this plant according to the content of flavonoids. Objective – research on the development of a method for quantifying the content of flavonoids in Linden raw materials.

**Materials and methods.** The object of the study was used 3 samples of dried Linden flowers grown in the Penza, Samara and Moscow regions. Quantitative determination of flavonoids was performed by the method of differential spectrophotometry.

**Results.** In methods of quantitative determination of flavonoids of plant raw materials, water-alcohol solutions of different concentrations are used for extraction. It was found that in comparison with 70 % alcohol extracts, the intensity of peaks in 40 and 95 % alcohol extracts is less. Therefore, for the extraction of flavonoids from Linden flowers, it is advisable to use 70 % ethanol. It is shown that the UV spectra of Linden flower extracts have one clear maximum absorption at 279 nm, regardless

of the concentration of ethanol-extractant. In the development of quantitative determination of flavonoids in Linden flowers, UV spectra of their complex compounds with aluminum chloride were studied. It was found that in the presence of aluminum chloride, the maximum absorption of the complex compound of Linden flavonoids is in the region of  $408 \pm 2$  nm. As a result of the study, it was revealed that the best concentration of alcohol is 70 %, the best ratio of raw materials and extractant is 1:100, the best time for extraction is 60 minutes.

**Conclusions.** Samples of Linden grown in different regions of Russia were analyzed using the developed technique for determining flavonoids. It was found that the content of flavonoids in Linden flowers varies from 1,5–2,0 %.

**Keywords:** *Tilia cordata* Mill, flavonoids, spectrophotometry, quantitative determination.

### Введение

Липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill) – известное растение семейства *Tiliaceae*, имеющее многолетний опыт применения в медицине. Анализ научной литературы показал, что химический состав цветков липы достаточно разнообразный, содержатся эфирные масла, полисахариды, тритерпеновые сапонины, флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты и органические кислоты. Флавоноиды липы сердцевидной представлены тилианином, кверцетином, гиперозидом, рутином [1, 2]. Данный вид сырья оказывает антибактериальное, спазмолитическое, противовоспалительное и жаропонижающее действие. В частности, установлено, что противовоспалительная и спазмолитическая активность обусловлены преимущественно флавоноидами [2]. Следует учитывать, что цветки липы содержат значительные количества рутина и могут служить потенциальным сырьем для создания лекарственных средств источников флавоноидов.

### Материалы и методы

В качестве материала использовали высушенные измельченные цветки липы, собранные в Пензенской, Самарской и Московской областях, заготовленных в фазу цветения.

Извлечение флавоноидов из цветков липы проводили путем однократной экстракции раствором этанола различной концентрации при нагревании на кипящей водяной бане в течение 90 мин. Наличие флавоноидов подтверждали следующими реакциями: цианидиновая проба, с раствором аммиака, гидроксидом натрия, хлоридом железа (III), спиртовым раствором  $AlCl_3$  [2]. Для проведения качественных реакций извлечение готовили в соотношении «сырье : экстрагент» 1:10, для спектрофотометрического анализа – 1:100.

Содержание флавоноидов определяли методом дифференциальной спектрофотометрии. В результате взаимодействия с хлоридом алюминия происходит bathochromный сдвиг поглощения флавоноидов в видимую часть спектра, что позволяет исключить влияние сопутствующих окрашенных веществ. Спектры собственного поглощения флавоноидов цветков липы регистрировали в интервале длин волн 200–500 нм (спектрофотометр СФ-104). Использовали методику дифференциальной спектрофотометрии с хлоридом алюминия. Около 1,0 г (точная навеска) измельченного сырья (0,5 мм) помещали в колбу со шлифом вместимостью 250 мл, прибавляли 100 мл спирта различ-

ной концентрации (40, 70 и 95 %). Колбу с обратным холодильником нагревали на кипящей водяной бане при температуре 90 °С в течение 60 мин. Извлечение фильтровали через бумажный фильтр, отбрасывая первые 10 мл фильтрата (раствор А). 2 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, прибавляли 2 мл алюминия хлорида раствора 3 % в спирте 95 % и через 10 мин 2 капли разведенной кислоты уксусной. Объем раствора доводили спиртом этиловым 70 % до 25 мл и оставляли на 30 мин (раствор Б). В качестве раствора сравнения использовали раствор, приготовленный при тех же условиях, но без  $AlCl_3$ . Содержание суммы флавоноидов рассчитывали по удельному показателю поглощения рутина, за основу взята формула расчета флавоноидов в сырье гинкго двулопастного [3–8]. В данной формуле в результате разработки методики изменили количество экстрагента с 30 на 100 мл, количество раствора А с 1 на 2 мл.

Все измерения проведены в пятикратных аналитических повторностях, в таблицах приведены средние значения. Определялись основные статистические характеристики (Statistica 6.0, BIOSTAT): среднее, ошибка среднего. Достоверность различий рассчитана с помощью *T*-критерия Стьюдента. Критическая величина уровня значимости принята равной 0,05. Во всех данных, приведенных в статье, количественные показатели выражены в виде  $M \pm m$ .

### Результаты и обсуждение

В результате проведенного анализа выявлено, что спектры поглощения экстрактов цветков липы имеют один четкий максимум поглощения при 279 нм (рис. 1). Следует отметить, что при использовании различных концентраций этанола-экстрагента эти параметры спектра постоянны.

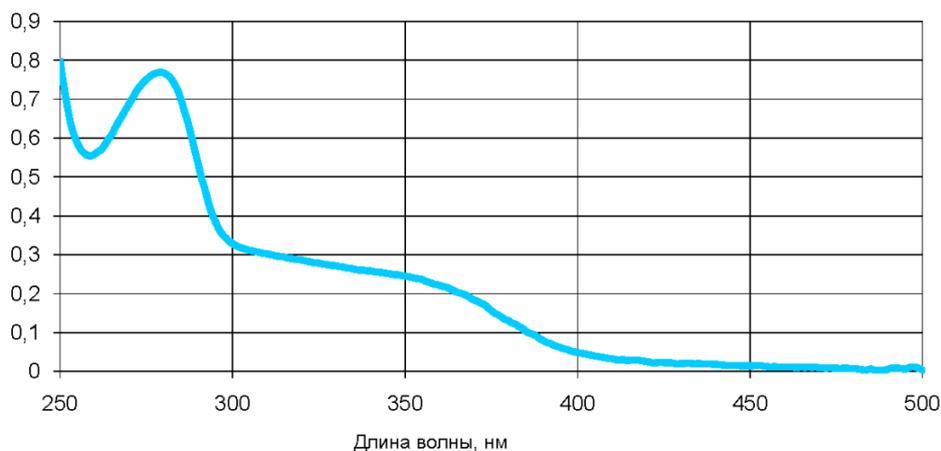


Рис. 1. УФ-спектр спиртового экстракта цветков липы (спирт 70 %)

Для определения оптимальных условий экстракции суммы флавоноидов исследовали влияние следующих факторов: концентрацию экстрагента, время экстракции и соотношение «сырье : экстрагент».

В результате исследования обнаружено, что, по сравнению с 70 % спиртовым экстрактом (содержание флавоноидов – 1,93 %), интенсивность пиков поглощения у 40 % (содержание флавоноидов – 1,45 %) и 95 % (содер-

жание флавоноидов – 1,81 %) спиртовых экстрактов меньше. Следовательно, для экстракции флавоноидов из цветков липы целесообразно использование 70 % этанола (рис. 2). Для подтверждения доброкачественности цветков липы, измеряя оптическую плотность раствора при длине волны 408 нм, оптическая плотность исследуемого образца не должна быть меньше 0,42.

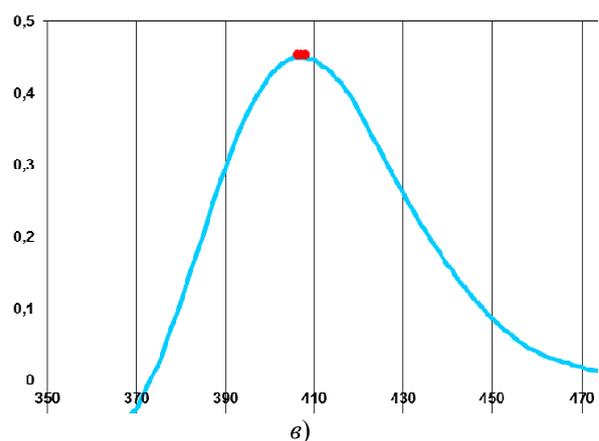
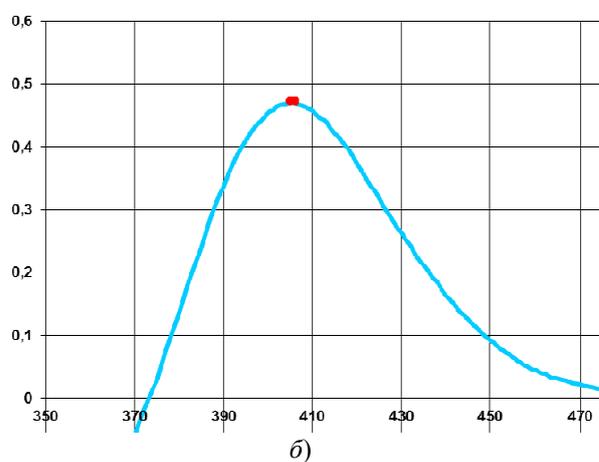
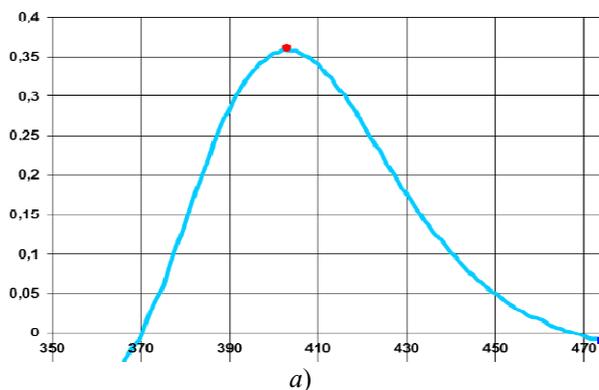


Рис. 2. УФ-спектр извлечений из сырья цветков липы (2:25) с добавлением  $AlCl_3$ ; концентрации этанола: а – 40 %; б – 70 %; в – 95 %

В процессе разработки методики количественного определения суммы флавоноидов определены оптимальные условия экстракции (исследование проводили в пяти повторностях): экстрагент – 70 % спирт; соотношение «сырье : экстрагент» – 1:100; время экстракции – 60 мин; степень измельченности сырья – 0,5 мм. При соблюдении данных параметров извлекается большее количество флавоноидов (табл. 1).

Таблица 1

Влияние различных факторов на полноту извлечения флавоноидов

Экстрагент	Соотношение «сырье : экстрагент»	Степень измельченности, мм	Время экстракции, мин	Содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин
Экстрагент				
Спирт 40 %	1:100	1	90	1,38 ± 0,15
Спирт 70 %		1	90	1,59 ± 0,08*
Спирт 95 %		1	90	1,50 ± 0,11*
Соотношение «сырье : экстрагент»				
Спирт 70 %	1:30	1	90	1,39 ± 0,12
	1:50	1	90	1,52 ± 0,10*
	1:100	1	90	1,59 ± 0,08*
	1:200	1	90	1,28 ± 0,15
Степень измельченности				
Спирт 70 %	1:100	0,2	90	1,61 ± 0,07*
		0,5	90	1,64 ± 0,05*
		1	90	1,56 ± 0,08*
		2	90	1,47 ± 0,14
Время экстрагирования				
Спирт 70 %	1:100	0,5	45	1,56 ± 0,10*
		0,5	60	1,68 ± 0,08*
		0,5	90	1,64 ± 0,09*
		0,5	120	1,61 ± 0,16

**Примечание.** \*Различия достоверны при  $p \leq 0,05$ .

С использованием разработанной методики проанализировали ряд образцов сырья липы и определили, что в цветках липы содержится относительно высокое количество флавоноидов от 1,53 до 1,93 % (табл. 2) для использования в медицине.

Результаты статистической обработки результатов свидетельствуют о том, что ошибка единичного определения не превышает значения 3,75 %. Для оценки доброкачественности сырья цветков липы по содержанию суммы флавоноидов их количество в пересчете на рутин не должно быть меньше 1,5 %.

Таблица 2

Содержание флавоноидов в различных образцах сырья липы, ( $M \pm m$ )

Регион произрастания	Содержание, %
1. Пензенская область	1,68 ± 0,09*
2. Московская область	1,53 ± 0,17
3. Самарская область	1,93 ± 0,07*

**Примечание.** \*Различия достоверны при  $p \leq 0,05$ .

### Заключение

1. Количественное определение суммы флавоноидов в пересчете на рутин в цветках липы возможно с использованием дифференциальной спектрофотометрии при аналитической длине волны 408 нм. При этом положение максимумов поглощения не меняется при концентрации спирта в качестве экстрагента в 40, 70 и 95 %.

2. Содержание флавоноидов незначительно варьирует в интервале 1,5–2,0 %. В образцах сырья цветков липы из Пензенской области содержание флавоноидов незначительно снижено по сравнению с сырьем цветков липы, заготовленного в Самарской области.

3. Полученные результаты позволяют рекомендовать цветки липы как источник флавоноидов наряду с другими уже используемыми лекарственными растениями.

### Библиографический список

1. Куркин, В. А. Фармакогнозия : учеб. для студентов фармацевтических вузов (факультетов) / В. А. Куркин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара : Офорт : СамГМУ Росздрава, 2007. – 1239 с.
2. Куркина, А. В. Флавоноиды фармакопейных растений : монография / А. В. Куркина. – Самара : Офорт : СамГМУ Минздравсоцразвития России, 2012. – 290 с.
3. Куркина, А. В. Актуальные вопросы химической стандартизации лекарственных растений, содержащих флавоноиды / А. В. Куркина // Фармация. – 2012. – Т. 60, № 7. – С. 44–48.
4. Бубенчиков, Р. А. Флавоноиды фиалки трехцветной / Р. А. Бубенчиков, И. Л. Дроздова // Фармацевтическая химия и фармакогнозия. – 2004. – № 2. – С. 11, 12.
5. Курдюков, Е. Е. К вопросу стандартизации по содержанию флавоноидов листьев стевии как нового вида лекарственного растительного сырья / Е. Е. Курдюков, А. В. Кузнецова, Е. Ф. Семенова, И. Я. Моисеева // Химия растительного сырья. – 2019. – № 1. – С. 217–224.
6. Куркин, В. А. Количественное определение суммы флавоноидов в побегах черники обыкновенной / В. А. Куркин, Т. К. Рязанова // Химико-фармацевтический журнал. – 2013. – Т. 47, № 4. – С. 34–37.
7. Иванов, В. В. Флавоноидный состав надземной части рейнотрии сахалинской (*Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai) / В. В. Иванов, М. И. Кодониди, О. Н. Денисенко // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции. – Пятигорск, 2011. – Вып. 66. – С. 102, 103.
8. Леонова, В. Н. Определение флавоноидов в листьях форзиции промежуточной (*Forsythia intermedia* Zabel.) / В. Н. Леонова, О. И. Попова, И. А. Савенко // Химия растительного сырья. – 2013. – № 1. – С. 175–178.

**References**

1. Kurkin V. A. *Farmakognosiya: ucheb. dlya studentov farmatsevticheskikh vuzov (fakul'tetov)* [Pharmacognosy: textbook for students of pharmaceutical universities (faculties)]. 2nd ed., rev. and suppl. Samara: Ofort: SamGMU Roszdrava, 2007, 1239 p. [In Russian]
2. Kurkina A. V. *Flavonoidy farmakopeynykh rasteniy: monografiya* [Pharmacopoeia plant flavonoids: monograph]. Samara: Ofort: SamGMU Minzdravsotsrazvitiya Rossii, 2012, 290 p. [In Russian]
3. Kurkina A. V. *Farmatsiya* [Pharmacy]. 2012, vol. 60, no. 7, pp. 44–48. [In Russian]
4. Bubenchikov R. A., Drozdova I. L. *Farmatsevticheskaya khimiya i farmakognosiya* [Pharmaceutical chemistry and pharmacognosy]. 2004, no. 2, pp. 11, 12. [In Russian]
5. Kurdyukov E. E., Kuznetsova A. V., Semenova E. F., Moiseeva I. Ya. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials]. 2019, no. 1, pp. 217–224. [In Russian]
6. Kurkin V. A., Ryazanova T. K. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* [Chemical and pharmaceutical journal]. 2013, vol. 47, no. 4, pp. 34–37. [In Russian]
7. Ivanov V. V., Kodonidi M. I., Denisenko O. N. *Razrabotka, issledovanie i marketing novoy farmatsevticheskoy produktsii* [Development, research and marketing of new pharmaceutical products]. Pyatigorsk, 2011, iss. 66, pp. 102, 103. [In Russian]
8. Leonova V. N., Popova O. I., Savenko I. A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials]. 2013, no. 1, pp. 175–178. [In Russian]

---

**Гаврилова Наталья Александровна**  
студентка, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: Natashagavril121314@icloud.com

**Шурыгина Мария Сергеевна**  
студентка, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: e.e.kurdyukov@mail.ru

**Курдюков Евгений Евгеньевич**  
кандидат фармацевтических наук,  
доцент, кафедра общей и клинической  
фармакологии, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: e.e.kurdyukov@mail.ru

**Водопьянова Ольга Александровна**  
кандидат медицинских наук, доцент,  
кафедра общей и клинической  
фармакологии, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: ol.vodopjanova@yandex.ru

**Gavrilova Natal'ya Aleksandrovna**  
Student, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Shurygina Mariya Sergeevna**  
Student, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Kurdyukov Evgeniy Evgen'evich**  
Candidate of pharmaceutical sciences,  
associate professor, sub-department  
of general and clinical pharmacology, Penza  
State University (40 Krasnaya street, Penza,  
Russia)

**Vodop'yanova Ol'ga Aleksandrovna**  
Candidate of medical sciences, associate  
professor, sub-department of general and  
clinical pharmacology, Penza State  
University (40 Krasnaya street, Penza,  
Russia)

**Кривов Дмитрий Валерьевич**

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

E-mail: Krivovdima98@mail.ru

**Krivov Dmitriy Valer'evich**

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

---

**Образец цитирования:**

Новая методика количественного определения флавоноидов в цветках  
липы / Н. А. Гаврилова, М. С. Шурыгина, Е. Е. Курдюков, О. А. Водопьянова,  
Д. В. Кривов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.  
Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 5–13. – DOI 10.21685/2307-9150-  
2020-2-1.

## СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО ФОСФОРА В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ ГАЗОННЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

### Аннотация.

**Актуальность и цели.** Изучение фосфорного обмена газонных растений, произрастающих в районах с различной степенью антропогенной нагрузки, позволяет вскрыть механизмы экологической устойчивости и возможности корректирования условий создания качественных дерновых покрытий в городах, а также выявить изменения основных физиолого-биохимических процессов в растениях на разных этапах онтогенеза.

**Материалы и методы.** Объектами изучения являлись газонные растения (*Dactylis glomerata* L. и *Poa pratensis* L.) трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g<sub>2</sub>) и субсенильные (ss). Исследования проводились на территории города Йошкар-Олы Республики Марий Эл. Для анализа были взяты пробы в условно чистой, среднезагрязненной и загрязненной зонах. Содержание общего фосфора определяли фотоколориметрическим методом по «синему» фосфорномолибденовому комплексу. Для характеристики процессов передвижения фосфора использовали коэффициент передвижения (Кп).

**Результаты.** В условиях городской среды в вегетативных органах газонных растений (ежа сборная, мятлик луговой) определяли содержание общего фосфора. По мере усиления загрязнения среды уменьшалось содержание общего фосфора в листьях и корнях газонных растений. В ходе онтогенеза от виргинильного состояния до генеративного этот показатель увеличивался с последующим падением в субсенильном состоянии во всех зонах исследования. При этом отчетливо проявлялся базипетальный характер распределения фосфора в вегетативных органах газонных растений. В целом более высокое содержание общего фосфора в вегетативных органах было характерно для особей *D. glomerata*, по сравнению с особями *P. pratensis*.

**Выводы.** Содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений зависит от видовых особенностей и биологического возраста газонных растений, а также от условий окружающей среды. С возрастом фосфор покидает стареющие клетки и его количество в старых тканях ниже, чем в молодых. Усиление негативного антропогенного влияния окружающей среды на газонные растения вызывает снижение содержания общего фосфора в их вегетативных органах.

**Ключевые слова:** ежа сборная, мятлик луговой, онтогенез, городская среда, загрязнение, содержание общего фосфора.

O. L. Voskresenskaya, M. G. Polovnikova

## CONTENT OF TOTAL PHOSPHORUS IN VEGETATIVE ORGANS OF LAWN PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE URBAN ENVIRONMENT

### Abstract.

**Background.** The study of phosphorus metabolism of lawn plants growing in areas with different degrees of anthropogenic load allows to identify changes in the basic physiological and biochemical processes in plants at different stages of ontogenesis, to reveal the mechanisms of environmental sustainability and the possibility of correcting the conditions for creating high-quality turf coatings in cities.

**Materials and methods.** The objects of study were lawn plants (*Dactylis glomerata* L. and *Poa pratensis* L.) of three age States: virginal (v), middle-aged generative (g<sub>2</sub>) and subsenile (ss). The research was carried out in the territory of the city of Yoshkar-Ola of the Mari El Republic. Samples were taken for analysis in conditionally clean, medium-polluted and polluted zones. The content of total phosphorus was determined by photocolorimetric method on the “blue” phosphor-molybdenum complex. To characterize the processes of phosphorus movement, the coefficient of motion (K<sub>p</sub>) was used. Data processing was carried out by statistical method.

**Results.** In the urban environment in the vegetative organs of lawn plants (*D. glomerata*, *P. pratensis*) determined the content of total phosphorus. As pollution increased, the total phosphorus content in the leaves and roots of lawn plants decreased. During ontogenesis from the virginal state to the generative state, this index increased followed by a fall in the subsenile state in all zones of the study. In this case, the basipetal distribution of phosphorus in the vegetative organs of lawn plants was clearly manifested. In general, a higher content of total phosphorus in the vegetative organs was characteristic of individuals of *D. glomerata* compared to individuals of *P. pratensis*.

**Conclusions.** The content of total phosphorus in the vegetative organs of lawn plants depends on the species and biological age of lawn plants, as well as environmental conditions. Phosphorus leaves aging cells with age and its concentration in old tissues is usually lower than in young ones. An increase in the negative anthropogenic environmental impact on lawn plants causes a decrease in the total phosphorus content in their vegetative organs.

**Keywords:** *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*, ontogenesis, urban environment, pollution, the content of total phosphorus.

### Введение

В процессе роста и развития растения оказываются под влиянием большого количества разнообразных, сложных экологических факторов, особенно в условиях урбанизированной среды. Адаптация растительных организмов к комплексу этих воздействий осуществляется в результате перестройки физиологических процессов, что приводит, в свою очередь, к изменению биохимического состава, в частности содержания фосфорных соединений, которые играют важную роль в клеточном метаболизме.

Пул фосфорных соединений у различных видов растений непостоянен и зависит от многих факторов: уровень различных фосфорсодержащих веществ меняется при недостатке воды, воздействии высоких и низких температур, засолении, инфекциях. Значительное влияние на обмен соединений

фосфора оказывает минеральное питание, особенно азотное и фосфорное. Установлено, что промышленные выбросы также вызывают нарушения в фосфорном обмене растений [1–4].

На протяжении многих лет при исследовании особенностей минерального питания растений изучение соединений фосфора в метаболизме является одним из ключевых моментов. Однако, несмотря на это, особенности фосфорного обмена у газонных растений в условиях городской среды изучены недостаточно.

Поэтому исследование адаптации растений к условиям урбанизированной среды является важной задачей экологии растений, позволяющей выявить изменения основных физиолого-биохимических процессов в растениях на разных этапах онтогенеза в изменяющейся среде и вскрыть механизмы экологической устойчивости и возможности корректирования условий создания качественных дерновых покрытий в городах.

### **Материалы и методы**

В ходе исследований физиолого-адаптационного процесса у растений в онтогенезе экологическая толерантность по отношению к экологическим и антропогенным факторам изучалась с использованием концепции дискретного описания онтогенеза [5].

Объектами изучения были газонные растения, представители семейства *Poaceae*: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) – рыхлодерновинное многолетнее травянистое растение, и мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – плотнодерновинно-длиннокорневищное многолетнее травянистое растение.

В онтогенезе этих растений выделяют четыре периода с десятью возрастными состояниями: латентный (семена), прегенеративный (проростки, ювенильные, имматурные, виргинильные растения), генеративный (молодые, средневозрастные, старые генеративные растения) и постгенеративный (субсенильные, сенильные растения). В работе мы использовали растения трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g<sub>2</sub>) и субсенильные (ss). Определение онтогенетических состояний проводили на основе признаков-маркеров онтогенетических состояний: форма и размер листовой пластинки, ветвление побеговой и корневой систем [5].

Исследования проводили на территории города Йошкар-Олы (Республика Марий Эл). Для анализа были взяты пробы в условно чистой (ООПТ «Сосновая роща»), среднезагрязненной (парк имени XXX-летия ВЛКСМ) и загрязненной (АО «Завод Искож») зонах. Выбор районов исследования основывался на данных химического анализа атмосферного воздуха и почвы, которые были проведены авторами на базе филиала Центра лабораторного анализа и технических измерений по Республике Марий Эл и на данных Государственного доклада о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл.

В каждом местообитании закладывалось десять площадок размером 1 × 1 м. На этих площадках отбиралось по 5–10 растений каждого онтогенетического состояния, которые в дальнейшем использовали в физиолого-биохимических исследованиях.

Перед озолением навеску растительного образца измельчали и взвешивали в тиглях на аналитических весах (навеска 0,2 г). Тигли помещали в му-

фельную печь при температуре 60–80 °С на 1–1,5 ч. Далее для полного озоления тигли выдерживали при температуре 400–450 °С в течение 4–5 ч. Полученную золу растворяли в 2 мл концентрированной соляной кислотой и данную вытяжку использовали для определения фосфора [6].

Содержание общего фосфора определяли фотоколориметрическим методом по «синему» фосфорномолибденовому комплексу. Оптическую плотность устанавливали при длине волны 670 нм. Содержание фосфора находили по калибровочной кривой (оценка по содержанию P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в мг на 1 л раствора). Содержание общего фосфора в растительном материале вычисляли в мг на г сухого вещества по соответствующей формуле [6].

Для характеристики процессов передвижения фосфора использовали коэффициент передвижения (Кп) [7], равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях:

$$K_{\text{п}} = \frac{K_{\text{листья}}}{K_{\text{корни}}},$$

где K<sub>листья</sub> – содержание элемента в листьях; K<sub>корни</sub> – содержание элемента в корнях.

В табл. 1 представлены средние арифметические из трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в 3-кратной повторности, и их стандартные отклонения. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTICA». Достоверность различий обсуждалась при 95 % уровне значимости ( $p < 0,05$ ).

### Результаты и обсуждение

Исследование листьев ежи сборной и мятлика лугового показало, что максимальные значения показателя содержания общего фосфора были характерны для растений, произрастающих в условно чистом местообитании (см. табл. 1). При этом достоверно значимых различий показателей содержания общего фосфора у растений в различных онтогенетических состояниях не было обнаружено ни в одном из исследованных районах города (30–34 мг/г).

По мере увеличения степени загрязненности среды в исследованных зонах города наблюдалось снижение показателей содержания общего фосфора у растений. Достоверные различия в содержании фосфора были обнаружены как между видами, так и между группами растений, находящихся в одном и том же онтогенетическом состоянии.

В ходе онтогенеза этот показатель у изученных видов газонных растений увеличивался от виргинильного состояния до генеративного с последующим падением в субсенильном состоянии как в парковой, так и в промышленной зонах. При этом пиковое значение было характерно для средневозрастных генеративных растений ежи сборной в среднезагрязненном районе (32,7 мг/г). Содержание фосфора в виргинильных особях *D. glomerata* было ниже на 23 %, а в субсенильных – на 11 % по сравнению с генеративными особями в данном районе ( $p < 0,05$ ).

Фосфор в листьях мятлика лугового в разных онтогенетических состояниях накапливался согласно той же схеме, что и у предыдущего вида, однако эти показатели были ниже в 1,3 раза ( $p < 0,05$ ).



Самые низкие значения данного параметра отмечены у особей *D. glomerata* и *P. pratensis* в промышленном районе (12,7–17,3 мг/г). При этом средневозрастные генеративные особи мятлика лугового имели максимальный показатель – 17,3 мг/г. Содержание общего фосфора в генеративных растениях ежи сборной было на 13 % меньше, по сравнению с предыдущим видом ( $p < 0,05$ ). Между субсенильными особями исследуемых видов не было выявлено статистических различий в содержании общего фосфора. При этом различия были установлены между другими онтогенетическими группами. Так, постгенеративные растения ежи сборной и мятлика лугового имели значения на 7 и 19 % ниже ( $p < 0,05$ ), чем средневозрастные генеративные, тогда как у прегенеративных растений эта разница составила 10 и 27 % соответственно ( $p < 0,05$ ).

При оценке содержания общего фосфора в корнях ежи сборной было установлено, что во всех районах исследования в генеративных растениях количество данного элемента было минимальным и варьировало от 3,6 до 4,8 мг/г. При этом показатели концентрации этого макроэлемента в подземных органах виргинильных и субсенильных особей в условно чистой и среднезагрязненной зонах не имели различий. Достоверные различия были выявлены для v- и ss-растений промышленного района (7,9–9,8 мг/г) ( $p < 0,05$ ).

Содержание фосфора в корнях мятлика лугового было довольно высоким в виргинильном и средневозрастном генеративном состояниях во всех изученных районах исследования, достигая 4,8–6,2 мг/г. В корнях субсенильных растений из различных мест произрастания количество фосфора было достоверно меньше, т.е. снижалось почти в 2 раза ( $p < 0,05$ ).

Прегенеративные и генеративные особи мятлика лугового характеризовались повышенным содержанием общего фосфора в корнях, по сравнению с растениями ежи сборной, произрастающих в условно чистом и парковой зонах, тогда как в загрязненном районе наблюдалась иная картина: высокие показатели имели виргинильные и субсенильные особи *D. glomerata*.

Содержание фосфора в корнях всех изученных видов было существенно ниже, чем в листьях (в 5–8 раз) ( $p < 0,05$ ).

Различная аккумуляция минеральных элементов в надземных и подземных органах растений может служить показателем их разной абсорбционной емкости. Для характеристики аккумуляционных способностей органов у исследуемых видов был рассчитан коэффициент передвижения фосфора (Кп) у растений из различных мест произрастания и проанализированы изменения этого показателя в процессе их развития. При этом особи ежи сборной и мятлика лугового в ходе онтогенеза во всех местообитаниях характеризовались способностью накапливать фосфор в надземной части растения (рис. 1), поскольку коэффициент передвижения был больше единицы.

В целом накопительная способность фосфора в надземной части растения у ежи сборной была выше, чем у мятлика лугового во всех онтогенетических состояниях как в условно чистом, так и среднезагрязненном районах, тогда как в загрязненном районе этот показатель был выше у мятлика лугового. При этом коэффициент передвижения фосфора по мере усиления антропогенной нагрузки существенно снижался у газонных растений (у ежи сборной в 2,7–4,4 раза, у мятлика лугового – 1,9–2,6 раза) ( $p < 0,05$ ).

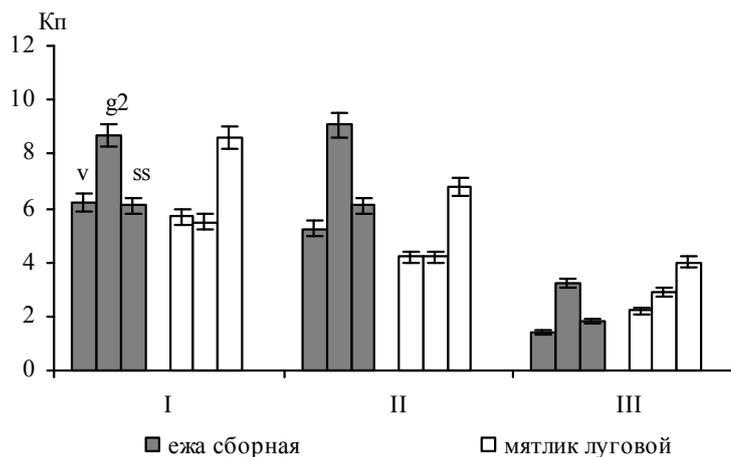


Рис. 1. Коэффициенты передвижения фосфора в газонных растениях. Онтогенетические состояния растений: v – виргинильное; g<sub>2</sub> – средневозрастное генеративное и ss – субсенильное. Районы исследования: I – условно чистый; II – среднезагрязненный; III – загрязненный

Изученные виды газонных растений отличались показателями коэффициента передвижения фосфора в различных возрастных состояниях. У *D. glomerata* максимальные значения коэффициента передвижения имели средневозрастные генеративные особи во всех исследованных районах, а у *P. pratensis* – субсенильные. Показатели данных онтогенетических состояний достоверно отличались от остальных ( $p < 0,05$ ). Если рассматривать аккумуляционную способность виргинильных и субсенильных особей ежи сборной по отношению к фосфору, то существенных различий в коэффициенте передвижения в изученных зонах города не было обнаружено. Значения этих параметров находились примерно на одном уровне и статистически не отличались друг от друга. Аналогичная ситуация наблюдалась и в отношении виргинильных и средневозрастных генеративных особей мятлика лугового в исследованных местообитаниях.

В ходе работы было показано, что характер распределения фосфора по органам и тканям изученных видов изменяется в течение онтогенеза и по мере усиления загрязнения среды. При этом отчетливо проявлялся базипетальный (содержание элемента уменьшалось от листьев к корням) характер распределения фосфора в вегетативных органах газонных растений прегенеративного, генеративного и постгенеративного периодов развития.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что содержание общего фосфора в листьях изученных видов газонных растений было максимальным у средневозрастных генеративных растений, при этом виргинильные и субсенильные особи по количеству фосфора отличались незначительно. Содержание фосфора в корнях исследуемых видов было достоверно ниже ( $p < 0,05$ ), чем в листьях, т.е. наблюдался базипетальный характер распределения фосфора в вегетативных органах исследуемых растений ( $Kп > 1$ ). При этом была установлена выраженная видовая специфичность, позволяю-

щая предположить, что в разных районах каждый вид газонных растений по особому реагирует на условия минерального питания.

Данные авторов, полученные в ходе исследования, подтверждают результаты других исследователей [2, 8, 9], где также показано, что пик накопления фосфора в листьях приходится на средневозрастное генеративное состояние. Обеспеченность фосфором ускоряет переход растений из виргинильного в генеративное состояние, поскольку повышенное количество фосфора необходимо при вступлении растения в фазу плодоношения (генеративное состояние). В этот период наблюдается максимальное накопление неорганического фосфора и фосфора органических соединений.

По мере ухудшения экологического состояния и повышения антропогенной нагрузки на среду наблюдалось снижение содержания общего фосфора в вегетативных органах газонных растений. Это может быть вызвано тем, что растения здесь находятся не только в условиях недостаточного минерального питания (в связи с бедностью урбанизированных почв), но и подвергаются систематическому негативному воздействию загрязнителей атмосферы и почвы в районе функционирования промышленных предприятий и интенсивного автотранспортного потока.

Таким образом, содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений зависит от видовых особенностей и изменяется в процессе онтогенеза, а также под действием антропогенных факторов среды.

#### Библиографический список

1. **Алимкулов, С. О.** Биологическая роль фосфора в жизни растений / С. О. Алимкулов, Д. К. Мурадова // Молодой ученый. – 2015. – № 10. – С. 44–47.
2. **Алябышева, Е. А.** Эколого-физиологические особенности популяций гигрофитов / Е. А. Алябышева, О. Л. Воскресенская // Экология и генетика популяций. – Йошкар-Ола : Периодика Марий Эл, 1998. – С. 173, 174.
3. Экология города Йошкар-Олы / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, Т. И. Копылова, Е. В. Сарбаева, А. Н. Баранова. – Йошкар-Ола, 2004. – 200 с.
4. **Чупахина, Г. Н.** Экологические аспекты накопления фосфорных соединений доминантами флоры дюн Куршской косы / Г. Н. Чупахина, Л. В. Малыгина // Вестник Балтийского федерального университета имени И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. – 2006. – № 7. – С. 73–81.
5. **Жукова, Л. А.** Популяционная жизнь луговых растений / Л. А. Жукова. – Йошкар-Ола : Ланар, 1995. – 224 с.
6. Большой практикум по биоэкологии : учеб. пособие / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола : Марийский государственный ун-т, 2006. – Ч. 1. – 107 с.
7. **Коваленский, А. Л.** Основные закономерности формирования химического состава растений / А. Л. Коваленский // Труды Бурятского института ЕН БФСО АН СССР. Сер.: Биохимия. – Улан-Удэ, 1969. – Вып. 2. – С. 6–28.
8. **Малыгина, Л. В.** Динамика общего фосфора в онтогенезе растений-доминантов флоры песчаной гряды Куршской косы / Л. В. Малыгина // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2004. – № 5. – С. 43–47.
9. **Су, Х. С.** Влияние недостатка фосфора на параметры фотосинтеза у растений риса / Х. С. Су, С. Я. Вэн, Я. Ян // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 6. – С. 833–840.

#### References

1. Alimkulov S. O., Muradova D. K. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2015, no. 10, pp. 44–47. [In Russian]

2. Alyabysheva E. A., Voskresenskaya O. L. *Ekologiya i genetika populyatsiy* [Ecology and genetics of populations]. Yoshkar-Ola: Periodika Mariy El, 1998, pp. 173, 174. [In Russian]
3. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Kopylova T. I., Sarbaeva E. V., Baranova A. N. *Ekologiya goroda Yoshkar-Oly* [Ecology of Yoshkar-Ola]. Yoshkar-Ola, 2004, 200 p. [In Russian]
4. Chupakhina G. N., Malykhina L. V. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta imeni I. Kanta. Ser.: Estestvennye i meditsinskie nauki* [Bulletin of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and medical sciences]. 2006, no. 7, pp. 73–81. [In Russian]
5. Zhukova L. A. *Populyatsionnaya zhizn' lugovykh rasteniy* [Population life of meadow plants]. Yoshkar-Ola: Lanar, 1995, 224 p. [In Russian]
6. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Polovnikova M. G. *Bol'shoy praktikum po bioekologii: ucheb. posobie* [Big practical work on bioecology: textbook]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy un-t, 2006, part 1, 107 p. [In Russian]
7. Kovalenskiy A. L. *Trudy Buryatskogo instituta EN BFSO AN SSSR. Ser.: Biokhimiya* [Proceedings of the Buryat Institute of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences of the USSR. Series: Biochemistry]. Ulan-Ude, 1969, iss. 2, pp. 6–28. [In Russian]
8. Malykhina L. V. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Kaliningrad State Technical University]. 2004, no. 5, pp. 43–47. [In Russian]
9. Su Kh. S., Ven S. Ya., Yan Ya. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. 2007, vol. 54, no. 6, pp. 833–840. [In Russian]

---

***Воскресенская Ольга Леонидовна***

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

E-mail: [voskres2006@rambler.ru](mailto:voskres2006@rambler.ru)

***Voskresenskaya Ol'ga Leonidovna***

Doctor of biological sciences, professor, head of the sub-department of ecology, Director of the Institute of Natural sciences and Pharmacy, Mari State University (1 Lenin square, Yoshkar-Ola, Russia)

***Половникова Марина Григорьевна***

кандидат биологических наук, доцент, кафедра анатомии и спортивной медицины, Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма (Россия, г. Краснодар, ул. имени Буденного, 161)

E-mail: [marinapmg@rambler.ru](mailto:marinapmg@rambler.ru)

***Polovnikova Marina Grigor'evna***

Candidate of biological sciences, associate professor, sub-department of anatomy and sports medicine, Kuban State University of Physical Culture, Sports and Tourism (161 Budennogo street, Krasnodar, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Воскресенская, О. Л. Содержание общего фосфора в вегетативных органах газонных растений в условиях городской среды / О. Л. Воскресенская, М. Г. Половникова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 14–22. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-2.

## НОВАЯ МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ СТЕВИИ

### Аннотация.

**Актуальность и цели.** Известно, что в листьях стевии *Stevia rebaudiana* (Bert.) содержится различный комплекс биологически активных соединений (флавоноиды, фенолпропаноиды, сапонины, органические кислоты). Ввиду того, что в настоящее время целесообразным является пероральный прием высушенного и измельченного в порошок лекарственного растительного сырья, представляет интерес изучение других биологически активных соединений (БАС), содержащихся в растении, в частности пигментов [1, 2]. Листья стевии содержат комплекс природных пигментов, основными из которых являются производные хлорофилла и каротиноиды, представленные  $\beta$ -каротином и хлорофиллом *a*. Одним из важнейших свойств хлорофилла является противовоспалительное, ранозаживляющее и антибактериальное действие, также он имеет антиоксидантный эффект [3–5]. Каротиноиды обладают широким набором фармакологических свойств, в том числе антиоксидантными, радиопротекторными и антиканцерогенными, которые в совокупности оказывают положительное влияние на иммунитет [5]. В этом отношении большой интерес представляют листья стевии, содержащие данные соединения. В научной литературе имеются противоречивые данные по химическому составу листьев стевии, не представлены также и нормативные документы. Результаты исследования могут быть использованы для разработки нормативной документации на лекарственное растительное сырье из листьев стевии. Цель исследования – разработка методик количественного определения содержания каротиноидов и хлорофилла в листьях стевии.

**Материалы и методы.** Объектом исследования послужили высушенные листья стевии, заготовленные в Краснодарском крае, Республике Крым, Пензенской и Тверской областях. Качественный анализ суммы каротиноидов и хлорофилла проводили методом тонкослойной хроматографии из ацетоновой фракции, в следующей системе растворителей петролейный эфир – ацетон (6:4). Для количественного определения каротиноидов и хлорофиллов в извлечениях из сырья стевии использовали спектрофотометрический метод. Количественное определение каротиноидов в сырье стевии проводили с использованием 95 % этилового спирта, гексана, ацетона, петролейного эфира и этилацетата. Определение хлорофилла в сырье стевии проводили с использованием 95 % этилового спирта, гексана и ацетона. Измерение оптической плотности проводили в максимумах поглощения каротиноидов (450 нм) и хлорофилла *a* (664 нм).

**Результаты.** Для исследования качественного содержания пигментов в сырье стевии использовали метод тонкослойной хроматографии, по результатам которой визуально определяются четыре пятна. Одно из них желтого цвета с фактором удерживания (*R<sub>f</sub>*) равным 0,93 относится к  $\beta$ -каротину, дру-

гое с  $R_f = 0,76$  –  $\alpha$ -криптоксантину и  $\beta$ -криптоксантину. Хлорофиллы  $a$  и  $b$  проявляются как пятна сине-зеленого и желто-зеленого цвета с  $R_f = 0,10$  и  $0,08$  соответственно.

**Выводы.** С использованием разработанной методики определения каротиноидов и хлорофилла проанализированы образцы стевии, выращенные в различных регионах России. Было установлено, что содержание каротиноидов в листьях стевии варьирует от 4,33 до 7,15 мг%, хлорофилла от 3,63 до 4,21 мг%.

**Ключевые слова:** *Stevia rebaudiana*,  $\beta$ -каротин, хлорофилл  $a$ , спектрофотометрия, тонкослойная хроматография.

*M. M. Fominykh, T. O. Khomutov, E. E. Kurdyukov*

## A NEW METHOD OF QUANTITATIVE DETERMINATION OF PIGMENTS IN STEVIA LEAVES

### **Abstract.**

**Background.** It is known that stevia leaves of *Stevia rebaudiana* (Bert.) contain a different complex of biologically active compounds (BAC) (flavonoids, phenylpropanoids, saponins, organic acids). In view of the fact that it is currently advisable to take orally dried and powdered medicinal plant raw materials, it is also interesting to study other BAC contained in the plant, in particular pigments [1, 2]. Stevia leaves contain a complex of natural pigments, the main of which are chlorophyll derivatives and carotenoids, represented by  $\beta$ -carotene and chlorophyll  $a$ . One of the most important properties of chlorophyll is anti-inflammatory, wound healing and antibacterial action, it also has an antioxidant effect [3–5]. Carotenoids also have a wide range of pharmacological properties, including antioxidant, radioprotective and anti-carcinogenic activity, which together have a positive effect on the immune system [5]. In this case, stevia leaves containing these compounds are of great interest. Stevia Rebo is a poorly studied plant. In the scientific literature, there are conflicting data on the chemical composition of leaf stevia, and regulatory documents are not provided. The results of the study can be used for the development and improvement of standards. Objective – development of methods for quantitative determination of  $\beta$ -carotene and chlorophyll  $a$  content in stevia leaves.

**Materials and methods.** The objects of the study were dried stevia leaves harvested in the Krasnodar territory, the Republic of Crimea, Penza and Tver regions). Qualitative analysis of the sum of carotenoids and chlorophyll was performed by thin-layer chromatography from the acetone fraction in the following solvent system: petroleum ether-acetone (6:4). For quantitative determination of carotenoids and chlorophylls in extracts from stevia raw materials, a spectrophotometric method was used. Quantitative determination of carotenoids in stevia raw materials was performed using 95 % ethyl alcohol, hexane, acetone, petroleum ether, and ethyl acetate. Determination of chlorophyll in stevia raw materials was performed using 95 % ethyl alcohol, hexane, and acetone. Optical density was measured at the maximum absorption of carotenoids (450 nm) and chlorophyll  $a$  (664 nm).

**Results.** The method of thin-layer chromatography was used to study the qualitative content of pigments in stevia raw materials. Visually, 4 spots are identified, one of which is yellow with  $R_f = 0,93$  refers to  $\beta$ -carotene,  $R_f = 0,76$   $\alpha$ -cryptoxanthin and  $\beta$ -cryptoxanthin. Chlorophylls  $a$  and  $b$  appear as blue-green and yellow-green spots with  $R_f = 0,10$  and  $0,08$  respectively.

**Conclusions.** Samples of stevia grown in different regions of Russia were analyzed using the developed method for determining carotenoids and chlorophyll.

It was found that the content of carotenoids in stevia leaves varies from 4,33 to 7,15 mg%, chlorophyll from 3,63 to 4,21 mg%

**Keywords:** *Stevia rebaudiana*,  $\beta$ -carotene, chlorophyll *a*, spectrophotometry, thin-layer chromatography.

### Введение

В соответствии со стратегией развития фармацевтической отрасли на период до 2020 г., одной из актуальных задач современной фармации является создание и внедрение отечественных лекарственных средств, а также поиск рациональных путей использования лекарственного растительного сырья (ЛРС) и фармацевтических субстанций на их основе в соответствии с принципами доказательной медицины [1, 2]. Фармацевтические субстанции благодаря наличию комплекса биологически активных соединений, взаимодействуя с организмом человека, проявляют минимум побочных эффектов. Одним из перспективных растительных источников получения фармацевтических субстанций являются листья стевии *Stevia rebaudiana*, обладающие широким спектром фармакологической активности, включая гипогликемический, противовоспалительный, адаптогенный, гепатопротекторный и антиоксидантный эффект [3, 4].

В листьях стевии содержится различный комплекс полифенольных соединений, за счет которого листья стевии проявляют перечисленные фармакологические эффекты [3, 4]. В связи с этим актуальным является исследование и липофильной фракции листьев стевии, а именно пигментов: каротиноидов и хлорофиллов. Хлорофилл проявляет противовоспалительное, ранозаживляющее и антибактериальное действие, а также является хорошим антиоксидантом, замедляющим процессы старения [5]. Каротиноиды также обладают широким спектром фармакологических свойств: антиоксидантные, радиопротекторные и антиканцерогенные, которые в совокупности оказывают положительное влияние на иммунитет [5].

### Материалы и методы

Объектом исследования послужили высушенные листья стевии, заготовленные в Краснодарском крае, Республике Крым, Пензенской и Тверской областях.

Качественный анализ суммы каротиноидов и хлорофилла в листьях стевии проводили методом тонкослойной хроматографии из ацетоновой фракции, в системе растворителей: петролейный эфир – ацетон (6:4), спирт метиловый – бензол – этилацетат (5:70:25).

Количественное определение суммы каротиноидов и хлорофилла определяли методом прямой спектрофотометрии. Около 5 г листьев стевии помещали в колбу вместимостью 100 мл и экстрагировали с 25 мл экстрагента при перемешивании 1,5 ч. Затем фильтровали через бумажный фильтр 2 мл извлечения в мерную колбу на 25 мл. Определяли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-104 при длине волны 450 и 664 нм [5].

Содержание суммы каротиноидов и хлорофилла в сырье стевии ( $X$ ) в пересчете на  $\beta$ -каротин и хлорофилл *a* (мг%) вычисляли по стандартной формуле [5].

Статистическую обработку результатов экспериментального исследования проводили с помощью пакета статистических программ: русифицированная версия программы Statistica 6.0, BIOSTAT. Все измерения проводили в пятикратной аналитической повторности. В таблицах приведены только средние значения. Определялись основные статистические характеристики: среднее, ошибка среднего. Достоверность различий рассчитана с помощью *t*-критерия Стьюдента. Критическая величина уровня значимости принята равной 0,05. Во всех данных, приведенных в статье, количественные показатели выражены в виде  $M \pm m$ .

### Результаты и обсуждение

На хроматографических пластинках были обнаружены зоны адсорбции от желтого до ярко-оранжевого цвета. Полученные значения фактора удерживания ( $R_f$ ) выявленных зон адсорбции сравнивали со значениями, описанными в литературе [5, 6]. В системе петролейный эфир – ацетон (6:4) были обнаружены четыре зоны: зона оранжевого цвета с  $R_f$  равной 0,92, которая соответствует  $\beta$ -каротину, зона желтого цвета с  $R_f$  – 0,74, соответствующая криптоксантину, а также две зоны адсорбции зеленого и желто-зеленого цвета с  $R_f$  – 0,10 и  $R_f$  – 0,23, соответствующие хлорофиллу *a* и хлорофиллу *b*. Наиболее яркими были зоны  $\beta$ -каротина и  $\beta$ -криптоксантина ( $\alpha$ -криптоксантина).

Количественное определение суммы каротиноидов в листьях стевии проводили методом прямой спектрофотометрии [7–9]. Анализ данных литературы показывает, что каротиноиды растворимы в спирте различных концентраций, ацетоне, гексане, хлороформе и других органических растворителях [1, 10].

Электронные спектры извлечения в диапазоне длин волн 400–500 нм имеют максимум оптической плотности ( $D$ ) при  $450 \pm 2$  нм. В гексане основные максимумы поглощения находятся при длинах волн  $426 \pm 2$  нм,  $450 \pm 2$  нм и  $478 \pm 2$  нм, характерные для  $\beta$ -каротина (рис. 1). После сравнения максимумов поглощения полученных спектров с литературными сведениями и положениями максимумов оптической плотности на спектре раствора стандартного образца (СО)  $\beta$ -каротина установлено, что гексановое извлечение преимущественно содержит  $\beta$ -каротин [5, 10–12].

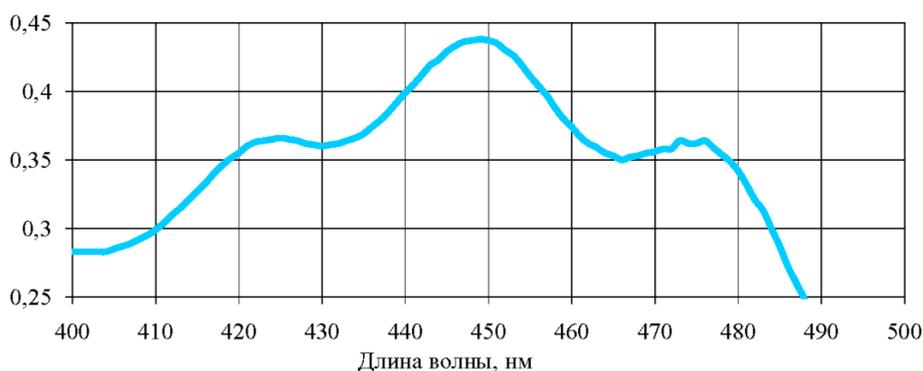


Рис. 1. УФ-спектр гексанового извлечения пигментов листьев стевии

В результате проведенного анализа установили, что лучшим экстрагентом для выделения каротиноидов из высушенных листьев стевии является гексан (табл. 1).

Таблица 1

Влияние экстрагента на выход каротиноидов в листьях стевии

Экстрагент	Содержание, мг%
1. Ацетон	2,96 ± 0,16
2. Гексан	4,56 ± 0,10*
3. Петролейный эфир	4,12 ± 0,08*
4. Этилацетат	3,87 ± 0,10*
5. Спирт 95 %	1,02 ± 0,17
6. Гексан : ацетон (1:2)	3,70 ± 0,09*

**Примечание.** \*Достоверные различия ( $p \leq 0,05$ ) содержания каротиноидов в гексане, петролейном эфире, этилацетате и гексан-ацетоновой смеси (1:2) относительно 95 % спирта и ацетона.

В результате проведенного исследования проанализировали ряд образцов сырья стевии из разных географических районов России и определили, что в листьях стевии содержание  $\beta$ -каротина варьируется от 4,33 до 7,15 мг% (табл. 2). Результаты статистической обработки результатов свидетельствуют о том, что ошибка единичного определения не превышает значения 1,56 %. Для оценки доброкачественности листьев стевии по содержанию каротиноидов в пересчете на  $\beta$ -каротин минимальное значение должно быть не менее 4 %.

Таблица 2

Результаты количественного определения каротиноидов в листьях стевии ( $M \pm m$ )

Источник происхождения сырья	Количество каротиноидов, в пересчете на $\beta$ -каротин, мг%
1. Россия, Краснодар	4,56 ± 0,14
2. Россия, Пенза	4,33 ± 0,15
3. Россия, Крым	7,15 ± 0,09*
4. Россия, Тверь	5,46 ± 0,08*

**Примечание.** \*Достоверные различия ( $p \leq 0,05$ ) содержания каротиноидов в гексане, петролейном эфире, этилацетате и гексан-ацетоновой смеси (1:2) относительно 95 % спирта и ацетона.

Количественное определение хлорофилла в листьях стевии проводили методом УФ-спектрофотометрии [5]. Важной особенностью спектра поглощения хлорофилла *a* служит наличие ярко выраженного максимума при 664 нм (рис. 2).

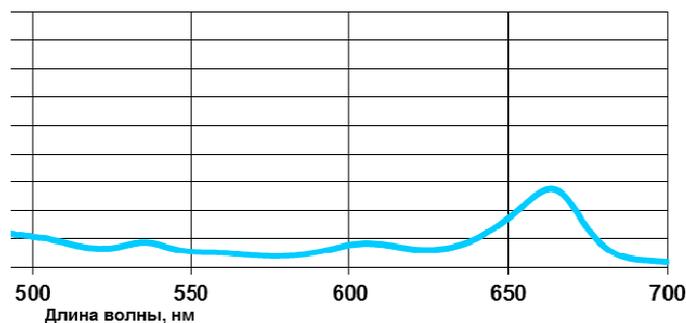


Рис. 2. Электронный спектр спиртового раствора извлечения из листьев стевии

В результате проведенного анализа установили, что лучшим экстрагентом для выделения хлорофилла из высушенных листьев стевии является 95 % спирт (табл. 3).

Таблица 3

Влияние экстрагента на выход хлорофилла в листьях стевии

Экстрагент	Содержание, мг%
1. Ацетон	2,68 ± 0,16
2. Гексан	3,76 ± 0,09*
5. Спирт 95 %	3,95 ± 0,09*
6. Гексан : ацетон (1:2)	3,70 ± 0,08*

**Примечание.** \*Различия достоверны при  $p \leq 0,05$ . Статистически значимыми результатами можно считать содержание хлорофилла в гексане, спирте 95 %, гексан : ацетон (1:2) относительно ацетона. В остальных пробах статистически значимой разницы не наблюдалось.

Содержание суммы форм хлорофилла в листьях стевии составило от 3,63 мг% (источник происхождения сырья – Краснодарский край) до 4,21 мг% (источник происхождения сырья – Республика Крым) в пересчете на хлорофилл *a* и высушенное сырье (табл. 4). Результаты статистической обработки результатов свидетельствуют о том, что ошибка единичного определения не превышает значения 1,98 %. Доброкачественность листьев стевии как фармацевтического сырья оценивается по содержанию в них хлорофилла. В пересчете на хлорофилл *a* этот показатель не должен иметь значения менее 3,5 %.

Таблица 4

Результаты УФ-спектрофотометрического определения хлорофилла в листьях стевии ( $M \pm m$ )

Источник происхождения сырья	Количество хлорофилла, в пересчете на хлорофилл <i>a</i> , мг%
1. Россия, Краснодар	3,95 ± 0,16
2. Россия, Пенза	3,63 ± 0,09
3. Россия, Крым	4,21 ± 0,09*
4. Россия, Тверь	4,06 ± 0,11*

**Примечание.** \*Достоверные различия ( $p \leq 0,05$ ) содержания каротиноидов в гексане, петролейном эфире, этилацетате и гексан-ацетоновой смеси (1:2) относительно 95 % спирта и ацетона.

### Заключение

1. УФ-спектры извлечения каротиноидов и хлорофилла из листьев стевии имеют максимумы длин волн поглощения  $450 \pm 2$  нм и  $664 \pm 2$  нм соответственно.

2. Содержание каротиноидов в сырье стевии варьирует от 4,33 мг% (Пензенская область) до 7,15 мг% (Республика Крым). Содержание хлорофилла варьирует от 3,63 мг% (Пензенская область) до 4,21 мг% (Республика Крым), что является приемлемым для использования этого лекарственного растительного сырья в медицине как источника каротиноидов и хлорофилла.

### Библиографический список

1. **Котельников, Г. П.** Доказательная медицина. Научно обоснованная медицинская практика : монография / Г. П. Котельников, А. С. Шпигель. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 242 с.
2. Новый терапевтический справочник / под ред. И. Н. Денисова, Н. А. Мухиной, А. Г. Чучалина. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2005. – 608 с. – (Клинические рекомендации).
3. **Семенова, Е. Ф.** Антимикробная активность извлечений из сырья стевии / Е. Ф. Семенова, Е. Е. Курдюков, А. И. Шпичка // Актуальные проблемы медицинской науки и образования (АПМНО–2017) : сб. ст. VI Междунар. науч. конф. (г. Пенза, 14–15 сентября 2017 г.) / редкол.: А. Н. Митрошин, С. М. Геращенко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. – С. 144–146.
4. **Курдюков, Е. Е.** Макро- и микроморфологические особенности листьев стевии Ребо *Stevia rebaudiana* Bertoni при интродукции в Среднем Поволжье / Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова // Научные ведомости. Сер.: Медицина. Фармация. – 2017. – № 26. – С. 137–145.
5. Методики идентификации различных пигментов и количественного спектрофотометрического определения суммарного содержания каротиноидов и белка в фитомассе *S. platensis* (Nords.) Geilt. / С. В. Первушкин, В. А. Куркин, А. В. Воронин, А. А. Сохина, И. Ф. Шаталаев // Растительные ресурсы. – 2002. – Т. 38, № 1. – С. 112–119.
6. **Арзамасцев, А. П.** Государственные стандартные образцы лекарственных веществ (проект общей фармакопейной статьи) / А. П. Арзамасцев, В. Л. Дорофеев, Н. П. Садчикова // Ведомости научного центра экспертизы и государственного контроля лекарственных средств Минздрава России. – 2000. – № 3. – С. 24–26.
7. **Гергель, А. В.** Спектрофотометрическое определение количественного содержания хлорофиллов и каротиноидов в некоторых растениях представителей рода *Moreseae* при использовании разных экстрагентов / А. В. Гергель // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции. – 2010. – Вып. 64. – С. 25–27.
8. **Ульяновский, Н. В.** Разработка экспрессных методов аналитической экстракции каротиноидов из растительного сырья / Н. В. Ульяновский, Д. С. Косяков, К. Г. Боголицын // Химия растительного сырья. – 2012. – № 4. – С. 147–152.
9. **Писарев, Д. И.** Разработка экспресс-метода определения каротиноидов в сырье растительного происхождения / Д. И. Писарев, О. О. Новиков, Т. А. Романова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Медицина. Фармация. – 2010. – № 22 (93). – С. 119–122.
10. **Печинский, С. В.** Структура и биологические функции каротиноидов / С. В. Печинский, А. Г. Курегян // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2013. – № 9. – С. 4–15.

11. **Karnjanawipagul, P.** Analysis of  $\beta$ -carotene in carrot by spectrophotometry / P. Karnjanawipagul, W. Nittayanuntawech, P. Rojsanga, L. Suntornsuk // Mahidol University Journal of pharmaceutical science. – 2010. – Vol. 37, № 1-2. – P. 8–16.
12. **Чечета, О. В.** Стабильность каротиноидов в растительных маслах при хранении / О. В. Чечета, Е. Ф. Сафонова, А. И. Сливкин // Фармация. – 2008. – № 2. – С. 12–14.

### **References**

1. Kotel'nikov G. P., Shpigel' A. S. *Dokazatel'naya meditsina. Nauchno obosnovannaya meditsinskaya praktika: monografiya* [Evidence-based medicine. Evidence-based medical practice: monograph]. 2nd ed., rev. and suppl. Moscow: GEOTAR-Media, 2012, 242 p. [In Russian]
2. *Novyyu terapevticheskiy spravochnik* [New therapeutic guide]. Eds. I. N. Denisov, N. A. Mukhina, A. G. Chuchalin. Moscow: GEOTAR-Media, 2005, 608 p. [In Russian]
3. Semenova E. F., Kurdyukov E. E., Shpichka A. I. *Aktual'nye problemy meditsinskoy nauki i obrazovaniya (APMNO–2017): sb. st. VI Mezhdunar. nauch. konf. (g. Penza, 14–15 sentyabrya 2017 g.)* [Actual problems of medical science and education (APMNO–2017: proceedings of the VI International scientific conference (Penza, September 14–15, 2017)]. Penza: Izd-vo PGU, 2017, pp. 144–146. [In Russian]
4. Kurdyukov E. E., Semenova E. F. *Nauchnye vedomosti. Ser.: Meditsina. Farmatsiya* [Scientific bulletin. Series: Medicine. Pharmacy]. 2017, no. 26, pp. 137–145. [In Russian]
5. Pervushkin S. V., Kurkin V. A., Voronin A. V., Sokhina A. A., Shatalaev I. F. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources]. 2002, vol. 38, no. 1, pp. 112–119. [In Russian]
6. Arzamastsev A. P., Dorofeev V. L., Sadchikova N. P. *Vedomosti nauchnogo tsentra ekspertizy i gosudarstvennogo kontrolya lekarstvennykh sredstv Minzdrava Rossii* [Bulletin of Scientific Center for Expertise and State Control of Medicines of the Ministry of Health of Russia]. 2000, no. 3, pp. 24–26. [In Russian]
7. Gergel' A. V. *Razrabotka, issledovanie i marketing novoy farmatsevticheskoy produktsii* [Development, research and marketing of new pharmaceutical products]. 2010, iss. 64, pp. 25–27. [In Russian]
8. Ul'yanovskiy N. V., Kosyakov D. S., Bogolitsyn K. G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials]. 2012, no. 4, pp. 147–152. [In Russian]
9. Pisarev D. I., Novikov O. O., Romanova T. A. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Meditsina. Farmatsiya* [Bulletin of Belgorod State University. Series: Medicine. Pharmacy]. 2010, no. 22 (93), pp. 119–122. [In Russian]
10. Pechinskiy S. V., Kuregyan A. G. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii* [Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry]. 2013, no. 9, pp. 4–15. [In Russian]
11. Karnjanawipagul P., Nittayanuntawech W., Rojsanga P., Suntornsuk L. *Mahidol University Journal of pharmaceutical science*. 2010, vol. 37, no. 1-2, pp. 8–16.
12. Checheta O. V., Safonova E. F., Slivkin A. I. *Farmatsiya* [Pharmacy]. 2008, no. 2, pp. 12–14. [In Russian]

---

**Фоминых Максим Михайлович**  
студент, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

**Fominykh Maksim Mikhailovich**  
Student, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

E-mail: gagarinka1122@gmail.com

**Хомутов Тимофей Олегович**

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

E-mail: Timofei\_homutov@mail.ru

**Khomutov Timofey Olegovich**

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

**Курдюков Евгений Евгеньевич**

кандидат фармацевтических наук, доцент, кафедра общей и клинической фармакологии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: e.e.kurdyukov@mail.ru

**Kurdyukov Evgeniy Evgen'evich**

Candidate of pharmaceutical sciences, associate professor, sub-department of general and clinical pharmacology, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Фоминых, М. М. Новая методика количественного определения пигментов в листьях стевии / М. М. Фоминых, Т. О. Хомутов, Е. Е. Курдюков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 23–31. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-3.

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

### Аннотация.

**Актуальность и цели.** В озеленении г. Йошкар-Олы основную долю составляют такие виды лиственных древесно-кустарниковых насаждений, как береза повислая, липа сердцелистная, сирень обыкновенная, клен американский, тополь пирамидальный и т.д. Хвойные растения используются в озеленении данного города не так часто, как лиственные виды. При этом большинство из них относятся к группе вечнозеленых растений и выполняют роль зеленых насаждений круглый год. В связи с высокой чувствительностью к газообразным загрязняющим веществам городов возникает проблема их использования в озеленении городов. Но такие виды интродуцированных хвойных растений, как ель колючая, туя западная, можжевельник казацкий, отличаются значительной устойчивостью к техногенному загрязнению.

**Материалы и методы.** Исследования проводились в течение 2018 г. в трех районах г. Йошкар-Олы с различной степенью антропогенной нагрузки (рекреационная, селитебная, промышленная). Объектами исследования являлись ель колючая, туя западная и можжевельник казацкий. Изучали содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) в хвое второго года жизни в сезонной динамике (май, июль, октябрь, декабрь).

**Результаты.** В ходе исследования выяснили, что по мере увеличения антропогенной нагрузки количественное содержание фотосинтетических пигментов уменьшалось в хвое интродуцированных видов растений. Хвоя ели колючей характеризовалась наибольшим содержанием исследуемых видов пигментов.

**Выводы.** Полученные данные расширяют представление о пигментном составе хвойных растений, произрастающих в условиях городской среды. Количественное содержание фотосинтезирующих пигментов зависит от видовых особенностей, сезона года, района произрастания.

**Ключевые слова:** хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, хвойные растения, хвоя, *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L., мониторинг окружающей среды.

Е. А. Старикова, О. Л. Воскресенская

## SEASONAL DYNAMICS OF THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN CONIFEROUS PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF THE URBAN ENVIRONMENT

### Abstract.

**Background.** The main share in the landscaping of the city of Yoshkar-Ola is made up of such deciduous woody and shrub plantings such as *Betula pendula*

---

© Старикова Е. А., Воскресенская О. Л., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

Roth., *Tilia cordata* Mill., *Syringa vulgaris* L., *Acer negundo* L., *Populus pyramidalis* Salisb., etc. Coniferous plants are not so usually used as often as deciduous plants in landscaping urban areas. However, most of them belong to the group of evergreens and play the role of green spaces all year round. In score of the high sensitivity to gaseous pollutants in cities, the problem arises using of it in urban landscaping. But such species of introduced conifers as *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L. are notable for their significant resistance to technogenic pollution.

*Materials and methods.* The studies were conducted during 2018 in three different zones of Yoshkar-Ola which differ with degrees of anthropogenic load (recreational, residential, industrial). The objects of the study were *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L. The content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b*, carotenoids) was studied in the needles of the second year of life in seasonal dynamics (May, July, October, December).

*Results.* The study found that with an increasing of anthropogenic load, the quantitative content of photosynthetic pigments decreased in the needles of introduced plant species. Needle *Picea pungens* Engelm. was characterized by the highest content of the studied types of pigments.

*Conclusions.* The obtained data expand the idea of the pigment composition of conifers growing in urban environment. The quantitative content of photosynthetic pigments depends on the species, season of the year and place where, it grows.

**Keywords:** chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, conifers, needles, *Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L., environmental monitoring.

## Введение

Хвоя и листья – основные и наиболее чувствительные ассимилирующие органы растений. Обладая большей ассимиляционной поверхностью и находясь в постоянном контакте с окружающей средой, они недостаточно надежно защищены от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Поэтому они чаще, чем другие органы растений, подвергаются различного рода повреждениям и преждевременно отмирают. Поэтому физиолого-биохимические свойства ассимилирующих органов могут служить для ранней диагностики состояния растений в целом [1–3].

В качестве одного из критериев функционального состояния древесных растений в условиях городской среды служит состояние чувствительного к внешним воздействиям фотосинтетического аппарата растительного организма – содержание пигментов. Пигментный состав растений – информативный и широко применяемый показатель, определяющий работу фотосинтетического аппарата растений. Загрязняющие вещества атмосферного воздуха могут снизить количество фотосинтезирующих пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) и изменить структуру мембран хлоропластов, что отрицательно влияет на фотосинтез [1, 4, 5].

Фотосинтетический аппарат хвойных растений большую часть года испытывает неблагоприятное воздействие низкой температуры, нередко в сочетании с высокой инсоляцией. Особое значение в его устойчивости придается фотосинтетическим пигментам [6].

Цель нашего исследования заключалась в выявлении изменения содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов)

в хвое интродуцированных видов хвойных растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы в сезонной динамике.

### **Материалы и методы исследования**

Исследования проведены на территории г. Йошкар-Олы в столице Республики Марий Эл. Объектами исследования служили хвойные виды растений, используемые в озеленении г. Йошкар-Олы – ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.) и можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.). Исследуемые виды произрастают в различных районах г. Йошкар-Олы: рекреационная – ЦПКиО имени XXX-летия ВЛКСМ, селитебная зона города – бульвар Чавайна, промышленная зона – улица Строителей.

Для изучения содержания фотосинтетических пигментов со средневозрастных генеративных растений собирали хвою второго года жизни весной (май), летом (июль), осенью (октябрь) и зимой (декабрь). Количество хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр ПЭ-5400 ВИ) в ацетоновой вытяжке при длинах волн: для хлорофиллов – 662 и 644 нм, для каротиноидов – 440,5 нм. Для расчета концентрации пигментов использовали формулы Хольма – Ветштейна для 100 % ацетона [7]. Полученные данные были обработаны статистически с помощью программы “STATISTICA 6.0”. В работе использовались следующие статистические характеристики: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, минимальные и максимальные значения в выборке, одно- и трехфакторный дисперсионный анализ.

### **Результаты и обсуждение**

Количественное содержание фотосинтетических пигментов в течение периода вегетации является динамичным показателем [8]. Абсолютное содержание пигментов и их соотношение у любого вида растения – величина непостоянная. Она может значительно варьировать в зависимости от экологических условий, интенсивности и качества света, структурных особенностей листовой пластинки, антропогенных и других факторов [9].

*Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в рекреационной зоне.* ЦПКиО имени XXX-летия ВЛКСМ представляет собой городской парк ландшафтного типа площадью 0,271 км<sup>2</sup>. Данный парк является местом пересечения двух природно-экологических планировочных осей и в то же время зеленым ядром исторического центра города Йошкар-Олы [10].

Наиболее высокое содержание хлорофилла *a* у ели колючей и туи западной было обнаружено в мае и июле (0,86 мг/г сырой массы) (рис. 1). В октябре в хвое ели колючей произошло его снижение на 12 %, а в декабре – на 34,5 % ( $p < 0,05$ ), по сравнению с весенне-летним периодом. У растений туи западной в осенне-зимний период содержание хлорофилла *a* снизилось на 18 %. Статистически значимых различий по изменению содержания хлорофилла *a* в хвое можжевельника казацкого, произрастающих в рекреационной зоне, в различные сезоны года не выявлено ( $p > 0,05$ ).

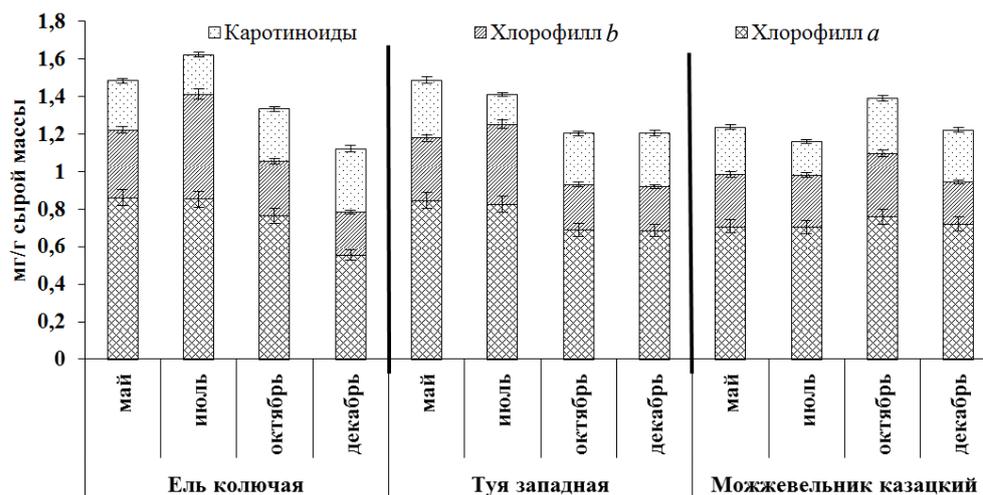


Рис. 1. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в рекреационной зоне г. Йошкар-Олы

В целом содержание хлорофилла *b* было значительно меньше, чем хлорофилла *a* в хвое исследуемых видов. Так, максимальное содержание этого пигмента (0,56 мг/г сырой массы) в хвое ели колючей наблюдалось в июле. Далее в осенне-зимний период произошло его снижение: в октябре в 1,9 раза ( $p < 0,05$ ), в декабре в 2,5 раза ( $p < 0,05$ ) (см. рис. 1). Наибольшее содержание данного хлорофилла в хвое туи западной приходилось также на июль (0,43 мг/г сырой массы). В осенне-зимний период, как и у ели колючей, его содержание снизилось: в октябре на 43,7 % ( $p < 0,05$ ), в декабре на 46,5 % ( $p < 0,05$ ), по сравнению с июлем. Содержание хлорофилла *b* в весенне-летний период в хвое особей можжевельника казацкого составило 0,28 мг/г сырой массы. В октябре произошло его увеличение на 20 %, в декабре снизилось в 1,5 раза, по сравнению с октябрём ( $p < 0,05$ ).

Обязательными компонентами пигментной системы растений являются каротиноиды. Они принимают участие в стабилизации мембран хлоропластов и белков антенных комплексов; поглощают и рассеивают энергию возбуждения, работая фотопротекторами фотосинтетического аппарата; являются потенциальными тушителями опасного триплетного хлорофилла и синглетного кислорода [11].

У растений ели колючей, произрастающих в рекреационной зоне, наименьшее содержание каротиноидов было в июле (0,21 мг/г сырой массы). Затем с июля по декабрь происходило постепенное его накопление с максимумом в декабре (0,34 мг/г сырой массы). В зимний период пигментный аппарат ели колючей характеризовался более высокими показателями содержания каротиноидов в 1,3 раза больше ( $p < 0,05$ ), чем в весенне-летний период.

При анализе содержания каротиноидов в хвое особей туи западной было обнаружено, что количество желтых пигментов сезонно изменялось. Наибольшей величиной данного параметра характеризовалась хвоя, собранная в мае (0,31 мг/г сырой массы). В июле содержание желтых пигментов снизилось в 1,9 раза ( $p < 0,05$ ). Содержание каротиноидов в осенне-зимнее время было на одном уровне (0,27–0,29 мг/г сырой массы).

Характер содержания каротиноидов в хвое особой можжевельника казацкого был следующим: в мае наблюдали пик содержания пигментов (0,38 мг/г сырой массы), в июле исследуемый показатель снизился на 42 % ( $p < 0,05$ ), в октябре увеличился на 24 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению с летними данными, а в декабре составил 0,27 мг/г сырой массы ( $p < 0,05$ ).

Результаты исследований авторов подтверждаются данными других исследователей. Так, в результате проведенных исследований М. С. Титовой [8] и Е. А. Тишкиной [12] по сезонной динамике фотосинтезирующей активности хвои хвойных растений в условиях естественных биотопов выяснили, что наибольшее накопление зеленых пигментов наблюдалось в летние месяцы, а затем в осенне-зимний период происходило постепенное снижение содержания хлорофиллов *a* и *b*, а содержание каротиноидов зимой, наоборот, увеличивалось.

*Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в селитебной зоне.* Бульвар Чавайна является главным линейным планировочным элементом зеленой системы города, соединяя правобережную и левобережную части г. Йошкар-Олы [10].

Согласно полученным данным, максимальное накопление хлорофилла *a* наблюдали в весенне-летний период (0,83 мг/г сырой массы) (рис. 2). В декабре содержание хлорофилла *a* уменьшилось в 1,6 раза ( $p < 0,05$ ), по сравнению с весенне-летними показателями. У туи западной наибольшее содержание хлорофилла *a* было обнаружено в мае и июле (0,81 мг/г сырой массы); в октябре содержание данного показателя снизилось на 20 % ( $p < 0,05$ ); в декабре – уменьшилось в 1,4 раза, по сравнению с июлем ( $p < 0,05$ ). У растений можжевельника казацкого по изученному параметру статистически значимых различий не обнаружено ( $p > 0,05$ ).

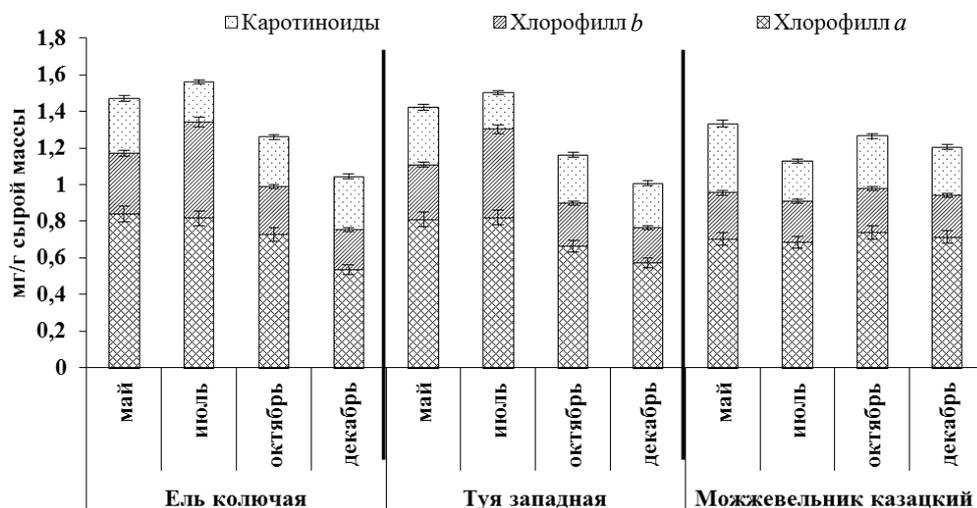


Рис. 2. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в селитебной зоне г. Йошкар-Олы

Как видно из рис. 2, у растений ели колючей, произрастающих в селитебной зоне, наибольшее содержание хлорофилла *b* отмечено в июле (0,53 мг/г сырой массы). В декабре произошло уменьшение количественного состава

данного пигмента в 2,4 раза, по сравнению с июлем ( $p < 0,05$ ). Максимальное содержание хлорофилла *b* у растений туи западной отмечалось в июле (0,48 мг/г сырой массы). В осенне-зимний период содержание изученного параметра снизилось: в октябре в 2,1 раза ( $p < 0,05$ ), в декабре в 2,5 раза ( $p < 0,05$ ). По содержанию хлорофилла *b* у растений можжевельника казацкого, произрастающих в селитебной зоне, в зависимости от месяца исследования статистически значимых отличий не выявлено ( $p > 0,05$ ).

Как было показано в исследованиях М. С. Титовой [8], с началом зимы, когда устанавливается отрицательный температурный режим, в хвое голо-семенных растений хлоропласты группируются у клеточных стенок, около ядра, и синтез пигментов при этом сводится к минимуму.

Содержание каротиноидов в хвое особей ели колючей, произрастающих в селитебной зоне, имело два пика – в мае и декабре (0,29 мг/г сырой массы). Летом наблюдали снижение данного пигмента в 1,4 раза ( $p < 0,05$ ). Максимум накопления каротиноидов в хвое туи западной также был в мае (0,31 мг/г сырой массы), в июле его содержание уменьшилось в 1,6 раза ( $p < 0,05$ ), а осенью, наоборот, увеличилось в 1,3 раза ( $p < 0,05$ ), зимой количество каротиноидов незначительно уменьшилось. Содержание каротиноидов в хвое особей можжевельника казацкого было следующим: в мае наблюдался пик накопления пигментов – 0,38 мг/г сырой массы; в июле показатель снизился на 42 % ( $p < 0,05$ ); в октябре увеличилось на 24 % ( $p < 0,05$ ), по сравнению с летними данными, а в декабре составило 0,27 мг/г сырой массы.

*Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в промышленной зоне.* Улица Строителей находится в южной части города, где расположены основные предприятия города (ОАО ОКТБ «Кристалл», ЗАО «СБК Хроматэк», ООО «Гардиан ДФЗ» и т.д.) и наблюдается высокий поток автотранспорта. Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Йошкар-Олы вносит автотранспорт. Наиболее распространенными загрязняющими веществами являются пыль (взвешенные вещества различной природы), диоксид серы, оксид азота, оксида углерода, углекислый газ [10].

У растений ели колючей, произрастающих в промышленной зоне, содержание хлорофилла *a* было наибольшим в мае (0,79 мг/г сырой массы), в летне-осенний период произошел спад на 24 % ( $p < 0,05$ ) (рис. 3). В декабре содержание данного пигмента уменьшилось в 1,5 раза, по сравнению ( $p < 0,05$ ), с весенне-летним периодом. Сходная динамика содержания хлорофилла *a* наблюдается у растений туи западной (рис. 3). У особей можжевельника казацкого по содержанию хлорофилла *a* в хвое статистически значимых различий не обнаружено ( $p > 0,05$ ).

У растений ели колючей снижение хлорофилла *b* наблюдалось от 0,19 до 0,35 мг/г сырой массы. Также максимальное содержание хлорофилла *b* наблюдалось в весенне-летний период, но у растений, произрастающих в промышленной зоне, произошло снижение уровня исследуемого хлорофилла в 1,6 раза ( $p < 0,05$ ), по сравнению со значениями в других зонах города. В хвое туи западной максимум содержания хлорофилла *b* наблюдалось в мае (0,31 мг/г сырой массы). Начиная с июля происходило уменьшение содержания этого пигмента и в декабре снизилось в 2,5 раза ( $p < 0,05$ ). Минимальное содержание хлорофилла *b* у можжевельника казацкого наблюдалось в июле

(0,19 мг/г сырой массы), в октябре произошло его увеличение в 1,5 раза ( $p < 0,05$ ), а в декабре опять снизилось до 0,21 мг/г сырой массы.

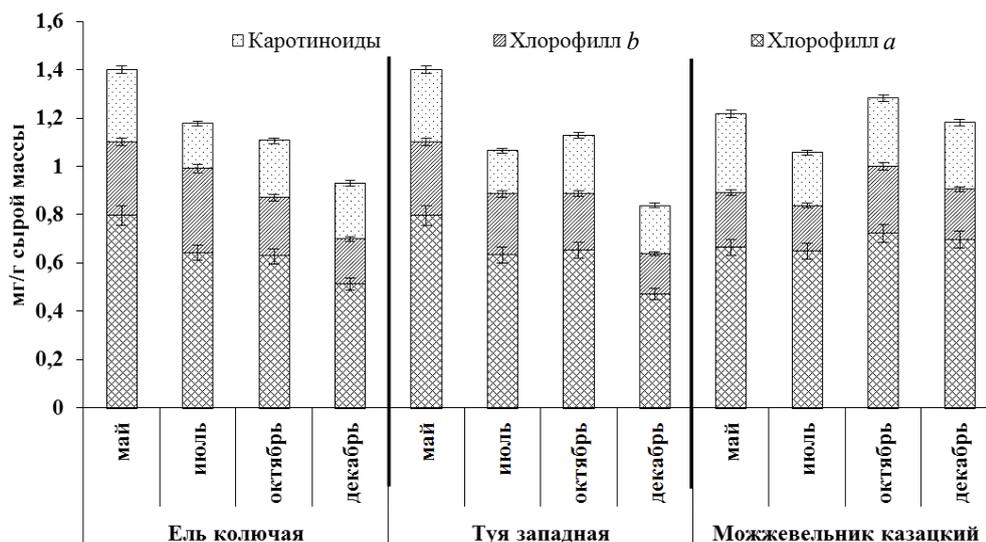


Рис. 3. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в промышленной зоне г. Йошкар-Олы

У особей ели колючей наибольшее содержание каротиноидов наблюдалось в мае, в июле их содержание снизилось в 1,6 раза ( $p < 0,05$ ). В осенне-зимний период содержание каротиноидов составило 0,23 мг/г сырой массы. В хвое растений туи западной максимум накопления приходился на май (0,8 мг/г сырой массы). Количество каротиноидов в летнее время снизилось в 1,7 раза ( $p < 0,05$ ). В осенне-зимний период их содержание увеличилось на 18 %, по сравнению с летними значениями. У растений можжевельника казацкого так же, как и у особей туи западной, наибольшее содержание каротиноидов было в мае (0,33 мг/г сырой массы), в июле снизилось в 1,5 раза, а в осенне-зимний период увеличилось в 1,3 раза.

Некоторые авторы отмечают [2, 13], что в условиях техногенного загрязнения происходит уменьшение содержания количества зеленых пигментов, причем максимально разрушается хлорофилл *a*, а в меньшем количестве – хлорофилл *b*. Так, например, исследования, проведенные Г. Н. Чупахиной и др. [14], показывают, что высокий уровень выбросов автотранспорта приводит к снижению процессов накопления фотосинтетических пигментов у ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.), липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), а также к ослаблению процессов накопления хлорофилла *b* в большей степени, чем хлорофилла *a*, увеличению соотношения *a/b* и снижению величины отношения суммы зеленых пигментов к сумме желтых.

Степень сформированности фотосинтетического аппарата проявляется в соотношении хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*), что связано с активностью хлорофилла *a*. Чем оно больше, тем интенсивнее фотосинтез. В норме этот показатель должен соответствовать 2,2–3,0 [8].

В хвое исследованных видов, произрастающих в рекреационной зоне, соотношение *a/b* изменялось следующим образом: у ели колючей – от 1,54

(июль) до 2,87 (декабрь); у туи западной – от 2,06 (июль) до 2,97 (декабрь), у можжевельника казацкого – от 2,66 (июль) до 3,27 (декабрь) (табл. 1).

Таблица 1

Сезонная динамика изменения соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в хвое вечнозеленых растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы

Район исследования	Месяц исследования	Исследуемые виды		
		Ель колючая	Туя западная	Можжевельник казацкий
Рекреационная зона	май	2,46 ± 0,101	2,69 ± 0,133	2,76 ± 0,149
	июль	1,54 ± 0,044	2,06 ± 0,125	2,66 ± 0,160
	октябрь	2,62 ± 0,049	2,88 ± 0,050	2,83 ± 0,209
	декабрь	2,87 ± 0,165	2,97 ± 0,049	3,27 ± 0,058
Селитебная зона	май	2,56 ± 0,059	2,75 ± 0,082	2,85 ± 0,120
	июль	1,56 ± 0,050	1,86 ± 0,157	3,28 ± 0,258
	октябрь	2,49 ± 0,253	2,89 ± 0,056	3,07 ± 0,059
	декабрь	2,83 ± 0,041	3,01 ± 0,091	3,17 ± 0,075
Промышленная зона	май	2,69 ± 0,111	2,87 ± 0,048	2,94 ± 0,059
	июль	1,91 ± 0,076	2,96 ± 0,259	3,41 ± 0,034
	октябрь	2,42 ± 0,205	2,92 ± 0,080	2,87 ± 0,164
	декабрь	2,79 ± 0,039	2,79 ± 0,127	3,34 ± 0,052

У растений ели колючей и туи западной, произрастающих в селитебной зоне, наблюдалась аналогичная тенденция, что и в рекреационной зоне. У особей можжевельника казацкого в этой зоне данный показатель менялся от 2,85 (май) до 3,28 (июль).

У растений ели колючей, произрастающих в промышленной зоне, соотношение хлорофиллов *a/b* менялось, как и у растений, произрастающих в рекреационной зоне. У растений туи западной в промышленной зоне статистически значимых различий по изменению отношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в различные сезоны года не выявлено ( $p > 0,05$ ). У особей можжевельника казацкого наибольшие значения данного соотношения были в июле и декабре (3,4), а наименьшие – в мае и октябре (2,9).

В целом динамика соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* у растений ели колючей и туи западной в различные сезоны года и в зависимости от районов исследования города имела сходную тенденцию (см. табл. 1), а у особей можжевельника казацкого исследуемый показатель был более стабильным.

### Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований выяснили, что содержание фотосинтетических пигментов в хвое изученных видов растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы, зависит от видовых особенностей, района исследования и сезона года.

По сумме содержания фотосинтетических пигментов хвойные виды, произрастающие в г. Йошкар-Оле, располагаются в следующем убывающем порядке: ель колючая → туя западная → можжевельник казацкий.

С увеличением антропогенной нагрузки в хвое изученных видов хвойных растений, произрастающих в промышленной зоне г. Йошкар-Олы, содержание суммы зеленых и желтых пигментов уменьшалось, по сравнению с рекреационной и селитебной зонами. Возможно, и микроклиматические условия оказывают влияние на содержание фотосинтетических пигментов.

#### Библиографический список

1. Николаевский, В. С. Биологические основы газоустойчивости растений / В. С. Николаевский. – Новосибирск : Наука, 1979. – 280 с.
2. Русак, С. Н. Фотосинтетические пигменты сосны сибирской (*Pinus sibirica* DuRoi) в биоиндикации условий окружающей среды / С. Н. Русак, И. И. Варлам, И. В. Кравченко, К. В. Казарцева // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 3. – С. 6–11.
3. Воскресенская, О. Л. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях : монография / О. Л. Воскресенская, Е. В. Сарбаева. – Йошкар-Ола : МарГУ, 2006. – 130 с.
4. Старикова, Е. А. Изменение пигментного комплекса ели колючей в условиях городской среды / Е. А. Старикова, О. Л. Воскресенская, Е. В. Сарбаева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10 (52), ч. 4. – С. 46–48.
5. Ecological and biological features of Colorado Spruce (*Picea pungens* Engelm.) in urban environment / I. L. Bukharina, K. E. Vedernikov, A. A. Kamasheva, A. S. Alekseenko, E. V. Pashkov // Advances in Environmental Biology. – 2014. – № 8 (13). – P. 367–371.
6. Головкин, Т. К. Сезонные изменения пигментного комплекса вечнозеленых растений бореальной зоны / Т. К. Головкин, О. В. Дымова, Я. Н. Яцко // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2011. – № 1-2. – С. 22–27.
7. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина, Л. М. Хандобина – Москва : Высш. шк., 1975. – 392 с.
8. Титова, М. С. Особенности фотосинтезирующей активности хвои интродуцированных видов *Picea* A. Dietr. в дендрарии горнотаежной станции / М. С. Титова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. – С. 128–132.
9. Воскресенская, О. Л. Влияние ультрафиолетовой радиации и параметров микроклимата на содержание пигментов в листьях березы повислой, произрастающей в условиях города / О. Л. Воскресенская, В. С. Воскресенский, Е. В. Сарбаева, О. А. Ягдарова // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. – 2014. – № 3. – С. 39–45.
10. Информационный отчет «Проведение мониторинга состояния атмосферного воздуха на территории городского округа “Город Йошкар-Ола” за 2018 год». – Йошкар-Ола, 2018. – 46 с.
11. Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата у зимне-вегетирующих хвойных растений в различные сезоны года / Т. Г. Маслова, Н. С. Мамушина, О. А. Шерстнева, Л. С. Буболо, Е. К. Зубкова // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 5. – С. 672–681.
12. Тишкина, Е. А. Изменчивость накопления пластидных пигментов в хвое можжевельника обыкновенного *Juniperus communis* L. / Е. А. Тишкина, Л. А. Семкина // Научные ведомости. Сер.: Естественные науки. – 2015. – № 21 (218), вып. 33. – С. 47–51.

13. Тужилкина, В. В. Влияние техногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат сосны / В. В. Тужилкина, Н. В. Ладанова, С. Н. Плюснина // Экология. – 1998. – № 2. – С. 89–93.
14. Чупахина, Г. Н. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта / Г. Н. Чупахина, П. В. Масленников, Л. Н. Скрыпник, М. И. Бессережнова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 2 (18). – С. 171–185.

### References

1. Nikolaevskiy V. S. *Biologicheskie osnovy gazoustoychivosti rasteniy* [Biological basis of plants' gas resistance]. Novosibirsk: Nauka, 1979, 280 p. [In Russian]
2. Rusak S. N., Varlam I. I., Kravchenko I. V., Kazartseva K. V. *Problemy regional'noy ekologii* [Issues of regional ecology]. 2018, no. 3, pp. 6–11. [In Russian]
3. Voskresenskaya O. L., Sarbaeva E. V. *Ekologo-fiziologicheskie adaptatsii tui zapadnoy (Thuja occidentalis L.) v gorodskikh usloviyakh: monografiya* [Ecological and physiological adaptations of thuja western (Thuja occidentalis L.) in urban conditions: monograph]. Yoshkar-Ola: MarGU, 2006, 130 p. [In Russian]
4. Starikova E. A., Voskresenskaya O. L., Sarbaeva E. V. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International scientific and research journal]. 2016, no. 10 (52), part 4, pp. 46–48. [In Russian]
5. Bukharina I. L., Vedernikov K. E., Kamasheva A. A., Alekseenko A. S., Pashkov E. V. *Advances in Environmental Biology*. 2014, no. 8 (13), pp. 367–371.
6. Golovko T. K., Dymova O. V., Yatsko Ya. N. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN* [Bulletin of Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]. 2011, no. 1-2, pp. 22–27. [In Russian]
7. Gavrilenko V. F., Ladygina M. E., Khandobina L. M. *Bol'shoy praktikum po fiziologii rasteniy. Fotosintez. Dykhanie* [Big practical work on plant physiology. Photosynthesis. Breath]. Moscow: Vyssh. shk., 1975, 392 p. [In Russian]
8. Titova M. S. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental researches]. 2013, no. 11, pp. 128–132. [In Russian]
9. Voskresenskaya O. L., Voskresenskiy V. S., Sarbaeva E. V., Yagdarova O. A. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o zemle* [Bulletin of Udmurt University. Biology. Earth Science]. 2014, no. 3, pp. 39–45. [In Russian]
10. *Informatsionnyy otchet «Provedenie monitoringa sostoyaniya atmosfernogo vozdukha na territorii gorodskogo okruga “Gorod Yoshkar-Ola” za 2018 god»* [Information report “Conducting monitoring of the state of atmospheric air in the territory of the urban district “Yoshkar-Ola City” for 2018”]. Yoshkar-Ola, 2018, 46 p. [In Russian]
11. Maslova T. G., Mamushina N. S., Sherstneva O. A., Bubolo L. S., Zubkova E. K. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. 2009, vol. 56, no. 5, pp. 672–681. [In Russian]
12. Tishkina E. A., Semkina L. A. *Nauchnye ведомости. Ser.: Estestvennye nauki* [Scientific bulletin. Series: Natural sciences]. 2015, no. 21 (218), iss. 33, pp. 47–51. [In Russian]
13. Tuzhilkina V. V., Ladanova N. V., Plyusnina S. N. *Ekologiya* [Ecology]. 1998, no. 2, pp. 89–93. [In Russian]
14. Chupakhina G. N., Maslennikov P. V., Skrypnik L. N., Besserezhnova M. I. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of Tomsk State University. Biology]. 2012, no. 2 (18), pp. 171–185. [In Russian]

**Старикова Екатерина Александровна**  
аспирант, Марийский государственный  
университет (Россия, г. Йошкар-Ола,  
площадь Ленина, 1)

**Starikova Ekaterina Aleksandrovna**  
Postgraduate student, Mari State University  
(1 Lenin square, Yoshkar-Ola, Russia)

E-mail: katya-starikova@mail.ru

***Воскресенская Ольга Леонидовна***

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

E-mail: [voskres2006@rambler.ru](mailto:voskres2006@rambler.ru)

***Voskresenskaya Ol'ga Leonidovna***

Doctor of biological sciences, professor,  
head of the sub-department of ecology,  
Director of the Institute of Natural Sciences  
and Pharmacy, Mari State University  
(1 Lenin square, Yoshkar-Ola, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Старикова, Е. А. Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов у хвойных растений в условиях городской среды / Е. А. Старикова, О. Л. Воскресенская // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 32–42. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-4.

УДК 591.16:597.8

DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-5

А. А. Кидов, Е. А. Шиманская,  
Е. А. Кидова, А. В. Трофимец, А. Д. Аскендеров

## РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТРИТОНА КАРЕЛИНА, *TRITURUS KARELINII* (AMPHIBIA, CAUDATA, SALAMANDRIDAE) ИЗ ДАГЕСТАНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Тритон Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) – сокращающийся в численности вид, занесенный в Красную книгу Российской Федерации. В Дагестане находится северо-восточная периферия ареала. В настоящее время разрабатываются методы размножения тритона Карелина дагестанской популяции в искусственных условиях. Цель работы – характеристика репродуктивного потенциала тритона Карелина дагестанской популяции, включая учет получаемых от каждой самки яиц, предличинок и личинок.

*Материалы и методы.* В 2017 г. в Табасаранском районе Дагестана были отловлены 10 пар тритонов Карелина, от которых в 2018 г. с помощью гормональной стимуляции было получено первое потомство. В 2019 г. инъекции гормонов не использовали, а потомство от тритонов получали естественным способом. Полученные яйца и предличинок выдерживали поодиночке в стеклянных емкостях со 100 мл воды. Личинки после начала экзогенного питания выращивали в контейнерах с 40 л воды при начальной плотности 1 особь на литр. Яйца после откладки, предличинок, личинок и метаморфов измеряли по стандартным методикам. Выявляли длительность инкубации и личиночной стадии, а также выживаемость.

*Результаты.* Из десяти пар тритонов к откладке яиц приступили девять. Первые яйца обнаруживали у разных самок в период с 28 февраля по 28 марта. Самки откладывали яйца в течение 14–108 сут от первого до последнего отмеченного случая икрометания. Плодовитость самок за весь сезон составляла 7–615 яиц. Последние случаи откладки яиц у разных самок отмечались с 11 мая по 16 июня. Длина отложенных яиц составила 3,6–6,1 мм, ширина – 2,0–5,1 мм. Из девяти размножавшихся самок только для семи было отмечено развитие эмбрионов. От откладки яиц до выхода предличинок проходило 7–17 сут, от выхода до начала экзогенного питания – 2–8 сут. Общая длительность эмбриогенеза составляла 11–23 сут. От каждой самки было получено от 1–97 предличинок и 1–93 питающихся личинок. Выход предличинок из яиц в разных кладках – 5,0–18,8 %. От выклева до начала экзогенного питания доживало 66,7–100,0 %. Общая длина (*TL*) предличинки при выходе из яйца рав-

---

© Кидов А. А., Шиманская Е. А., Кидова Е. А., Трофимец А. В., Аскендеров А. Д., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

нялась 7,4–13,0 мм, а личинки при начале внешнего питания – 7,6–15,7 мм. Длительность развития до метаморфоза от начала внешнего питания составила 98–175 сут, от выклева из яйца – 100–180 сут, от откладки яйца – 116–195 сут. Метаморфоз прошли 224 молодых тритона из потомства семи пар. Таким образом, выживаемость от всех отложенных семью самками яиц до метаморфоза составила 12,2 %, от вышедших из яиц предличинок – 79,7 %, от начала экзогенного питания – 85,2 %. Молодые тритоны после метаморфоза имели длину тела (*L*) 39,6–56,5 мм, длину хвоста – 21,1–33,4 мм, а массу – 0,46–1,29 г.

**Выводы.** Не все самки тритона Карелина в лабораторных условиях размножаются каждый год. У некоторых самок не развиваются яйца в кладках. В неволе происходит увеличение плодовитости самок и удлиняется репродуктивный сезон. Из-за высокой эмбриональной смертности от одной самки удалось получить только от 1 до 97 предличинок. С момента выхода из яйца до метаморфоза молодые тритоны имеют очень высокую выживаемость. Основной причиной смертности у личинок является каннибализм.

**Ключевые слова:** тритон Карелина, *Triturus karelinii*, лабораторное разведение, репродуктивная биология, выживаемость, Дагестан, зоокультура.

*A. A. Kidov, E. A. Shimanskaya,  
E. A. Kidova, A. V. Trofimets, A. D. Askenderov*

**REPRODUCTIVE POTENTIAL OF THE KARELIN'S NEWT,  
*TRITURUS KARELINII* (AMPHIBIA, CAUDATA,  
SALAMANDRIDAE) FROM DAGESTAN POPULATION  
IN LABORATORY CONDITIONS**

**Abstract.**

**Background.** The Karelin's newt, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) – a declining species listed in the Red Data Book of Russian Federation. The North-Eastern periphery of the area is located in Dagestan. Currently, methods are being developed for captive breeding of the Karelin's newt from the Dagestan population. The purpose of the work: to characterize the reproductive potential of the Karelin's newt from Dagestan population, including numbers of eggs, pre-larvae and larvae obtained from each female.

**Materials and methods.** In 2017, 10 pairs of the Karelin's newt were captured in the Tabasaran district of Dagestan, from which the first offspring were obtained in 2018 using hormonal stimulation. In 2019, hormone injections were not used, and offspring from newts were obtained with natural spawning. The resulting eggs and pre-larvae were kept separately in glass containers with 100 ml of water. Larvae after the start of exogenous feeding were grown in containers with 40 liters of water at an initial density of 1 individual per liter. Eggs after laying, pre-larvae, larvae and metamorphs were measured using standard methods. The duration of incubation and larval stage, as well as the survival rate were revealed.

**Results.** Out of ten pairs of newts, eggs were obtained from nine pairs. The first eggs were found in different females between February 28 and March 28. Females oviposited for 14–108 days. The fertility of females for the entire season was 7–615 eggs. The last cases of egg laying in different females were recorded from May 11 to June 16. The length of the eggs was 3,6–6,1 mm, and the width was 2,0–5,1 mm. From the nine breeding females, only in offspring of seven females developed embryos were observed. From egg laying to the exit of pre-larvae, 7–17 days passed, from the exit to the beginning of exogenous feeding – 2–8 days. The total

duration of embryogenesis was 11–23 days. From each female, 1–97 pre-larvae and 1–93 larvae were obtained. The percentage of exited pre-larvae from eggs in different offspring was 5,0–18,8 %. 66,7–100,0 % survived from hatching to the beginning of exogenous feeding. The total length (*TL*) of the pre-larvae at the exit from the egg was 7,4–13,0 mm, and the larvae at the beginning of exogenous feeding was 7,6–15,7 mm. The duration of development to metamorphosis from the beginning of exogenous feeding was 98–175 days, from hatching – 100–180 days, from egg laying – 116–195 days. 224 young newts from the offspring of seven pairs the metamorphosis were passed. The survival rate to metamorphosis in young newts from all eggs laid by seven females was 12,2 %, from exit of pre-larvae from eggs – 79,7 %, from the beginning of exogenous feeding – 85,2 %. Young newts after metamorphosis had a body length (*L*) of 39,6–56,5 mm, a tail length of 21,1–33,4 mm, and a mass of 0,46–1,29 g.

**Conclusions.** Not all female of the Karelin's newt reproduce in the laboratory every year. Eggs clutches of some females did not develop. In captivity there is an increase in female fertility and longevity of reproductive season. Due to the high embryonic mortality rate, only 1 to 97 pre-larvae were obtained from a single female. From the moment of exit the egg to metamorphosis, young newts have a very high survival rate. The main cause of death in larvae is cannibalism.

**Keywords:** the Karelin's newt, *Triturus karelinii*, captive breeding, reproductive biology, survival, Dagestan, zooculture.

### Введение

Зоокультура редких и исчезающих земноводных является важным направлением для их сохранения [1]. В искусственных условиях можно сформировать длительное время существующие размножающиеся группы особей, потомство которых будет использоваться для поддержания затухающих природных популяций или создания новых в пределах естественного ареала [2]. К настоящему времени известно немало положительных примеров создания лабораторных популяций видов амфибий, находящихся под угрозой исчезновения [3–5], а также удачных случаев реинтродукции [6–8]. В СССР наиболее интенсивно мероприятия по разработке методов зоокультуры редких и исчезающих земноводных осуществлялись в 1980–1990-е гг. [9]. В последующем более двух десятилетий работы по разведению амфибий с последующим выпуском проводили лишь в Московском зоопарке [10]. Последние годы в России вновь отмечается повышение интереса к программам по сохранению земноводных, включая их лабораторное разведение и выпуск в природу [8, 11].

Одним из наиболее перспективных объектов для организации работ по реинтродукции является тритон Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) – крымско-кавказский эндемик, сокращающийся в численности вследствие антропогенных и природно-климатических причин [12]. Вид включен в Красную книгу РФ [13], а также в Красные книги российских субъектов – Республики Крым [14], Краснодарского края [15], Адыгеи [16] и Дагестана [17]. На территории Республики Дагестан известно 11 точек находок *T. karelinii* в Буйнакском, Сергокалинском, Кайтагском, Табасаранском, Сулейман-Стальском и Курахском районах [18]. Также предполагается наличие этого вида в Магарамкентском, Дербентском и Каякентском районах [11]. Таким образом, ареал тритона Карелина в Дагестане ограничен историческими границами пояса широколиственных лесов предгорий и среднегорий на юге респуб-

лики. Согласно рекомендациям Красной книги Республики Дагестан [17], была разработана программа по восстановлению *T. karelinii* на юге Дагестана за счет выпуска рожденных в неволе животных [11]. Для реализации этой программы в окрестностях Ерси (Эрси) Табасаранского района отловлены 10 пар тритона Карелина, которые были перевезены в лабораторию, и от них с помощью гормональной стимуляции сурфагоном было получено первое потомство [19]. Несмотря на накопленный к настоящему времени опыт по зоокультуре и созданию новых популяций этого вида в других частях ареала (Черноморское побережье Кавказа и Талышские горы) [8, 15], в большинстве публикаций описывались лишь сроки икротетания, число яиц в кладках, а также размерные показатели молоди [20–22]. Очевидно, что для организации долговременной работы по восстановлению ареала и численности тритона Карелина за счет выпуска полученных в лабораторных условиях животных необходимо охарактеризовать также такой важный показатель, как выживаемость эмбрионов и личинок при естественном, не индуцированном инъекциями сурфагоном, размножении. Целью настоящей работы является характеристика репродуктивного потенциала тритона Карелина дагестанской популяции, включая учет получаемых от каждой самки яиц, предличинок и личинок.

### **Материалы и методы**

Исследования проводили в 2019 г. в лабораторном кабинете зоокультуры кафедры зоологии РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. Условия содержания взрослых животных не имели отличий от предыдущих [19–22]: тритоны круглогодично жили попарно в полипропиленовых контейнерах, наполненных 5 л воды. Контейнеры стояли на подоконниках при естественном освещении. Температуру в контейнерах регулировали открыванием окон. Животных через день кормили преимущественно размороженными личинками хирономид (мотыль). В период размножения тритонам предлагали также полученных от лабораторного размножения личинок жаб родов *Bufo* Garsault, 1764 и *Bufo* Rafinesque, 1815. Отложенные тритонами яйца из контейнеров изымали ежедневно.

В отличие от других работ, инкубацию яиц и выдерживание предличинок осуществляли индивидуально в стеклянных емкостях, наполненных 100 мл воды. После перехода личинок на экзогенное питание, сроки начала которого определяли ежедневным предложением в качестве корма выклюнувшимся предличинкам живых науплиусов артемии, *Artemia salina* (Linnaeus, 1758), их соединяли группами в полипропиленовые контейнеры, наполненные 40 л воды. Личинок выращивали при начальной плотности посадки 1 экз./л до метаморфоза. Кормление осуществляли вначале живой артемией, в дальнейшем, по мере роста личинок тритонов, вводя в рацион размороженный мотыль.

Яйца после откладки, предличинок, личинок и метаморфов измеряли по стандартным методикам [23] электронным штангенциркулем с погрешностью 0,1 мм. Массу взрослых животных и метаморфов определяли электронными весами с погрешностью 0,05 г. Для каждого отложенного яйца выявляли длительность инкубации, выживаемость и сроки начала питания вышедшей из него предличинки. С помощью пакета программ *Microsoft Excel* рас-

считывали среднее арифметическое и стандартное отклонение ( $M \pm SD$ ), а также размах признака (min–max).

### Результаты

Отобранные для дальнейшего размножения самки имели длину тела ( $L$ ) 53,2–78,7 мм (в среднем  $71,7 \pm 7,09$ ), хвоста ( $Lcd$ ) – 64,1–76,9 мм ( $71,6 \pm 3,97$ ), а массу – 9,34–17,33 г ( $14,7 \pm 2,32$ ). Подсаженные к ним самцы были длиной тела 52,8–68,5 мм ( $62,1 \pm 5,01$ ), хвоста – 47,1–71,9 мм ( $59,8 \pm 7,78$ ) и массой 7,32–13,89 г ( $11,6 \pm 1,85$ ). Таким образом, использованные в настоящей работе тритоны по длине тела были несколько мельче, чем собранные в Ерсии другими исследователями. По данным С. Н. Литвинчука и Л. Я. Боркина [24], этот показатель составлял 65,7–82,9 мм ( $73,4 \pm 4,00$ ) для самок и 61,9–72,8 мм ( $68,1 \pm 2,70$ ) – для самцов.

Из 10 пар тритонов к откладке яиц приступили 9 пар. Вероятно, отдельные самки в размножении принимают участие не каждый год, что отмечалось для этого вида ранее [19, 20]. Первые яйца обнаруживали у разных самок в период с 28 февраля по 28 марта (рис. 1). Самки откладывали яйца в течение 14–108 сут от первого до последнего отмеченного случая икрометания, в среднем  $65,5 \pm 32,07$ . При этом в репродуктивном периоде количество дней с обнаружением отложенных яиц у разных самок было 2–55 ( $23,2 \pm 21,68$ ). Плодовитость самок за весь сезон составляла 7–615 яиц ( $230,8 \pm 257,53$ ). Рассчитанная среднесуточная плодовитость у разных самок варьировала в пределах 0,3–6,4 яиц ( $2,8 \pm 2,44$ ) для всего периода размножения и 2,3–22,0 ( $8,9 \pm 6,18$ ) – только для дней с отмеченными случаями икрометания. Последние случаи откладки яиц у разных самок отмечались с 11 мая по 16 июня. Взаимосвязи размеров самки с плодовитостью и длительностью периода размножения не обнаружено.

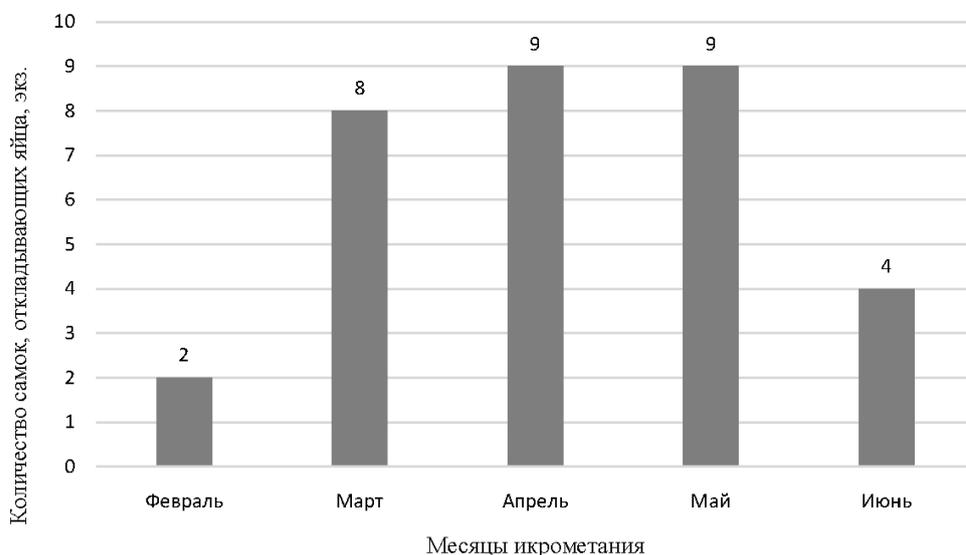


Рис. 1. Длительность репродуктивного сезона у тритона Карелина дагестанской популяции в лабораторных условиях

Напомним, что для *T. karelinii* дагестанской популяции потомство ранее получали лишь с использованием гормональной стимуляции сурфагоном [19]. Как показывают результаты настоящего исследования, длительность сезона икрометания у самок из дагестанской популяции при нересте без применения гормональной стимуляции [19] была меньше, чем при стимуляции сурфагоном (во втором случае: 81–133 сут в период с 19–29 января по 9 апреля – 1 июня, в среднем –  $100,5 \pm 12,9$  сут), однако плодовитость – выше (при гормональной стимуляции – 59–170 яиц, в среднем –  $77,2 \pm 17,8$ ).

В целом для вида в природе размножение отмечалось с марта по июль, в зависимости от высоты расположения нерестового водоема. В кладках тритонов в естественных местообитаниях от 150 до 190 яиц [24]. Таким образом, у самок *T. karelinii* из Дагестана в искусственных условиях, как при использовании сурфагона, так и без него, в большинстве случаев наблюдается пролонгация периода размножения и увеличение числа яиц в кладке. Исследование тритона Карелина тальшской популяции (Астаринский район Азербайджана) в зоокультуре показало, что продолжительность периода икрометания и плодовитость самок подвержены колебаниям по годам и обусловлены, прежде всего, температурными и кормовыми условиями каждого конкретного года [22]. Длительность репродуктивного сезона у *T. karelinii* из Тальша в лабораторных условиях составляла 38–165 сут (с 18 января по 4 июля), а плодовитость самок – 10–2362 яиц при среднесуточных значениях этого показателя 0,2–19,0 яиц [20]. Более высокая плодовитость самок тритона Карелина из Тальша в сравнении с животными из дагестанской популяции не может быть объяснена различиями в размерах, а отражает, вероятно, межпопуляционные различия по репродуктивным показателям. У изученных ранее размножающихся самок из Тальша длина тела (*L*) варьировала в пределах 35,8–75,1 мм (в среднем  $62,5 \pm 13,44$ ;  $n = 12$ ) [20].

Длина отложенных яиц ( $n = 163$ ) у самок из Дагестана составила 3,6–6,1 мм ( $4,7 \pm 0,40$ ), а ширина 2,0–5,1 мм ( $3,1 \pm 0,39$ ). В других работах [20, 21], проведенных в схожих условиях на тритонах Карелина из тальшской популяции, утверждалось, что длина яиц равнялась 3,8–5,8 мм ( $4,6 \pm 0,39$ ;  $n = 98$ ), а ширина – 2,4–3,3 мм ( $2,7 \pm 0,28$ ;  $n = 98$ ). Таким образом, вариабельность этих показателей у яиц тритонов из Дагестана была выше.

Из 9 откладывавших яйца самок только у 7 наблюдалось последующее развитие эмбрионов. От откладки яиц до выклева предличинок проходило 7–17 сут ( $13 \pm 1,91$ ), от вылупления до начала экзогенного питания – еще 2–8 сут ( $5 \pm 1,47$ ). Таким образом, общая длительность эмбриогенеза ( $n = 238$ ) варьировала в пределах 11–23 сут ( $18 \pm 2,20$ ). Для сравнения, у тритонов Карелина тальшской популяции длительность инкубации составляла 7–15 сут ( $11,3 \pm 1,48$ ;  $n = 148$ ), от вылупления до перехода на экзогенное питание – от 5 до 8 сут ( $6,9 \pm 1,02$ ;  $n = 99$ ), а общая протяженность эмбрионального развития от откладки яйца до начала внешнего питания – 14–22 сут ( $17,0 \pm 1,39$ ;  $n = 140$ ) [20].

От каждой самки из дагестанской популяции за весь период икрометания было получено от 1 до 97 ( $40,1 \pm 43,77$ ) предличинок (рис. 2). Таким образом, выход предличинок от числа отложенных яиц составил 5,0–18,8 % ( $12,7 \pm 4,60$ ). От каждой пары было получено 1–93 питающихся личинок ( $37,6 \pm 41,51$ ), т.е. от выклева до начала экзогенного питания доживало

66,7–100,0 % личинок ( $91,2 \pm 11,45$ ), а от числа отложенных яиц – 5,0–17,6 % ( $11,7 \pm 4,72$ ) (рис. 3). Обусловленная генетически эмбриональная смертность характерна для всех изученных представителей гребенчатых тритонов рода *Triturus Laurenti*, 1768 [23]. Так, у тритонов Карелина тальшской популяции в условиях лаборатории от каждой самки за весь репродуктивный период были получены от 14 до 345 предличинок ( $167,5 \pm 116,13$ ;  $n = 11$ ) или 10,3–41,2 % ( $33,3 \pm 8,60$ ) от отложенных яиц. Выживаемость предличинок от вылупления до начала экзогенного питания в разных потомствах составила 61,5–100,0 % ( $87,6 \pm 10,54$ ;  $n = 11$ ), а всего от каждой самки были получены от 14 до 328 питающихся личинок ( $149,5 \pm 107,05$ ;  $n = 11$ ) [20].

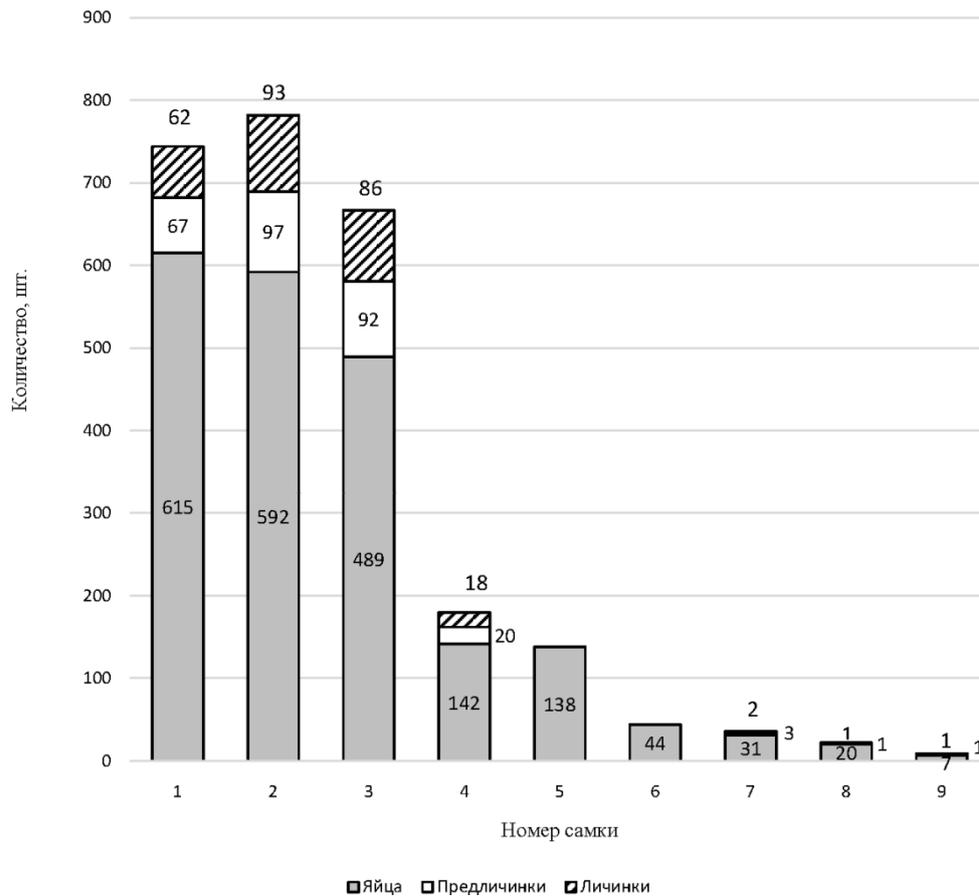


Рис. 2. Количество яиц, предличинок и личинок, полученных от разных самок тритона Карелина

У тритонов Карелина дагестанской популяции общая длина ( $TL$ ) предличинки при вылуплении ( $n = 281$ ) составляла 7,4–13,0 мм ( $11,1 \pm 0,85$ ), а личинки при начале внешнего питания ( $n = 263$ ) – 7,6–15,7 мм ( $13,5 \pm 0,98$ ). Для природных условий указывалось [24], что длина предличинки при выклеве составляет 9 мм. У тритонов тальшской популяции предличинки при выходе из яйца имели длину 9,0–11,3 мм ( $10,3 \pm 0,6$ ), а личинки при начале экзогенного питания – 11,6–12,9 мм ( $12,3 \pm 0,3$ ) [20]. Таким образом, для три-

тонов из Дагестана была свойственна очень высокая вариабельность по длине предличинок и личинок.

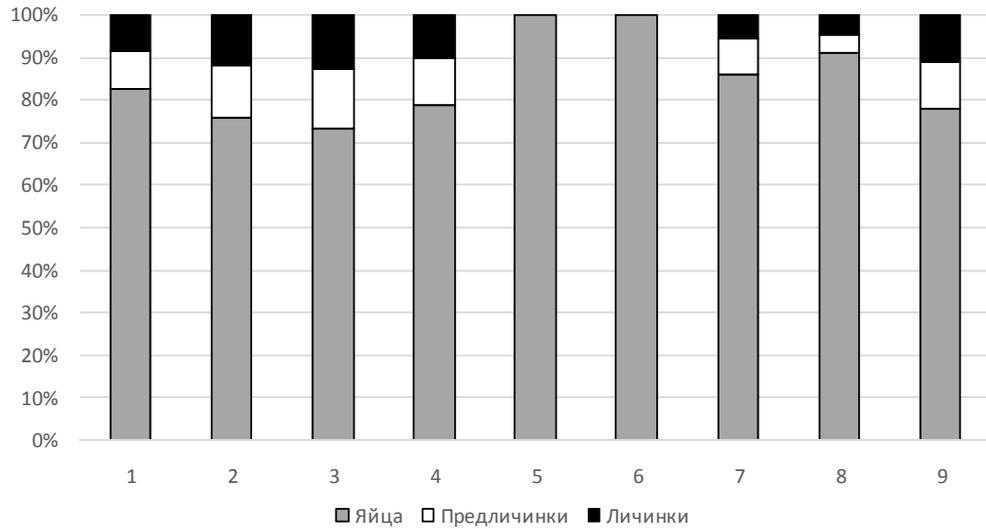


Рис. 3. Доля (%) полученных предличинок и личинок от числа отложенных яиц у разных самок

У тритонов из Дагестана длительность развития до метаморфоза от начала внешнего питания составила 98–175 сут, от выклева из яйца – 100–180 сут, от откладки яйца – 116–195 сут. Метаморфоз прошли 224 молодых тритона из потомства 7 пар. После выклева из яиц молодь тритона Карелина демонстрирует высокую выживаемость, а основным фактором, влияющим на показатель смертности личинок, является каннибализм [20]. Так, от 7 пар были получены 281 предличинка, из которых 263 экземпляра дожили до начала экзогенного питания, а 224 экземпляра – до метаморфоза. Таким образом, выживаемость от общего числа отложенных яиц (для 7 потомств, где было отмечено развитие эмбрионов) до метаморфоза составила 12,2 %, от вышедших из яйца предличинок – 79,7 %, от начала экзогенного питания – 85,2 %.

Молодые тритоны дагестанской популяции после метаморфоза ( $n = 124$ ) имели длину тела ( $L$ ) 39,6–56,5 мм ( $48,6 \pm 3,20$ ), длину хвоста ( $Lcd$ ) – 21,1–33,4 мм ( $27,7 \pm 2,39$ ), а массу – 0,46–1,29 г ( $0,9 \pm 0,13$ ). По сведениям С. Л. Кузьмина [24], сеголетки *T. karelinii* после метаморфоза имеют общую длину туловища с хвостом 50–70 мм. Тритоны талышской популяции в природе проходят метаморфоз при длине тела 22–32 мм и длине хвоста 16–26 мм [25]. В искусственных условиях молодые тритоны из Талыша имеют длину тела 45,5–69,0 мм и длину хвоста 41,9–68,5 мм, а их общая длина достигает 83,4–136,2 мм [20, 21]. Таким образом, в лаборатории молодые тритоны Карелина при выходе на сушу существенно крупнее конспецификов, появившихся в природе.

Учитывая полученные данные и результаты предшествующих публикаций [19–22], при планировании работ по разведению тритона Карелина следует учесть следующие особенности. Не все самки приступают к размножению ежегодно и до трети пар откладывают яйца, впоследствии не имею-

щих развития. Несмотря на увеличение плодовитости вследствие пролонгации репродуктивного сезона в искусственных условиях, от одной самки можно получить лишь от 1 до 97 предличинок, что обусловлено высокой эмбриональной смертностью. В то же время с момента выклева до метаморфоза молодь демонстрирует очень высокую выживаемость, которую, вероятно, можно еще увеличить путем регулярной сортировки личинок по размерам для уменьшения вероятности каннибализма. Выращенные в лаборатории метаморфы крупнее «природных», что, вероятно, обусловлено стабильными температурными и кормовыми условиями в неволе.

#### Библиографический список

1. **Ananjeva, N. B.** Strategies for conservation of endangered amphibian and reptile species / N. B. Ananjeva, N. L. Orlov, V. K. Uteshev, E. N. Gakhova // *Biology Bulletin*. – 2015. – Т. 42, № 5. – С. 432–439.
2. Comparison of the modern reproductive technologies for amphibians and reptiles / N. B. Ananjeva, V. K. Uteshev, N. L. Orlov, S. A. Ryabov, E. N. Gakhova, S. A. Kaugrova, L. I. Kramarova, N. V. Shishova, R. K. Browne // *Russian Journal of Herpetology*. – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 275–290.
3. **Гончаров, Б. Ф.** Разработка методов гормональной стимуляции процессов размножения у амфибий / Б. Ф. Гончаров, И. А. Сербинова, В. К. Утешев, О. И. Шубравый // *Проблемы доместикации амфибий* : сб. науч. тр. – Москва, 1989. – С. 197–201.
4. Создание поддерживаемой в искусственных условиях популяции малоазиатского тритона (*Triturus vittatus ophryticus*) / И. А. Сербинова, Б. С. Туниев, В. К. Утешев, О. И. Шубравый, Б. Ф. Гончаров // *Зоокультура амфибий* : сб. науч. тр. – Москва : ИЭМЭЖ, 1990. – С. 75–81.
5. **Shubray, O. I.** Über die Tätigkeit einer Arbeitsgruppe zur Vermehrung seltener, vom Aussterben bedrohter und problematischer Amphibienarten in Menschenhand (Vortragsmanuskript) / O. I. Shubray, V. K. Uteshev, I. A. Serbinova, V. F. Goncharov // *Amphibienforschung und Vivarium*. – 1991. – P. 20–21.
6. **Сербинова, И. А.** Содержание, разведение и реинтродукция малоазиатского тритона (*Triturus vittatus*) / И. А. Сербинова, Б. С. Туниев // I Всесоюзное совещание по проблемам зоокультуры : тез. докл. : в 3 ч. – Москва, 1986. – Ч. 2. – С. 147–150.
7. Содержание, разведение в неволе и создание новых природных популяций сирийской чесночницы (*Pelobates syriacus* Boettger) / И. А. Сербинова, О. И. Шубравый, В. К. Утешев, А. Л. Агасян, Б. Ф. Гончаров // *Зоокультура амфибий* : сб. науч. тр. – Москва, 1990. – С. 82–89.
8. **Кидов, А. А.** Первые результаты лабораторного размножения и реинтродукции тритона Карелина, *Triturus karelinii* Strauch, 1870 тальшской популяции / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, К. А. Африн // *Вестник Бурятского государственного университета*. – 2015. – № S4. – С. 81–89.
9. **Goncharov, V. F.** The USSR programme for breeding amphibians, including rare and endangered species / V. F. Goncharov, O. I. Shubray, I. A. Serbinova, V. K. Uteshev // *International Zoo Yearbook*. – 1989. – Vol. 28. – P. 10–21.
10. **Сербинова, И. А.** Реинтродукция как метод сохранения диких амфибий / И. А. Сербинова // *Научные исследования в зоологических парках*. – 2007. – Вып. 22. – С. 113–117.
11. Программа по реинтродукции тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) на юге Дагестана / Л. Ф. Мазанаева, А. А. Кидов, Г. С. Джамирзоев, А. Д. Аскендеров, Е. А. Немыко, Е. А. Шиманская // *Известия высших учебных заведений*.

- Поволжский регион. Естественные науки. – 2019. – № 1 (25). – С. 102–112. – DOI 10.21685/2307-9150-2019-1-11.
12. Амфибии и рептилии Южной Осетии / Б. С. Туниев, К. Ю. Лотиев, С. Б. Туниев, В. Н. Габаев, А. А. Кидов // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2017. – Т. 2, № 2. – С. 1–23. – DOI 10.24189/ncr.2017.002.
  13. **Туниев, Б. С.** Тритон Карелина – *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) / Б. С. Туниев // Красная книга Российской Федерации. – Москва : Астрель, 2001. – С. 312–314.
  14. **Кукушкин, О. В.** Тритон Карелина *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) / О. В. Кукушкин // Красная книга Республики Крым. Животные. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2015. – С. 286.
  15. **Туниев, Б. С.** Тритон Карелина *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) / Б. С. Туниев, С. В. Островских // Красная книга Краснодарского края. Животные. – Краснодар : Администрация Краснодарского края, 2017. – С. 478–479.
  16. **Туниев, Б. С.** Тритон Карелина – *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) / Б. С. Туниев, С. В. Островских // Красная книга Республики Адыгея: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животного и растительного мира : в 2 ч. Ч. 2: Животные. – Майкоп : Качество, 2012. – С. 228.
  17. **Мазанаева, Л. Ф.** Тритон Карелина – *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) / Л. Ф. Мазанаева, А. Д. Аскендеров // Красная книга Республики Дагестан. – Махачкала, 2009. – С. 373, 374.
  18. **Аскендеров, А. Д.** Земноводные Дагестана: распространение, экология, охрана : дис. ... канд. биол. наук / Аскендеров А. Д. – Махачкала, 2017. – 223 с.
  19. **Кидов, А. А.** Применение гормональной стимуляции для размножения тритона Карелина, *Triturus karelinii* в лабораторных условиях / А. А. Кидов, Е. А. Шиманская, А. Д. Аскендеров, Е. А. Немыко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2019. – № 4 (28). – С. 50–60. – DOI 10.21685/2307-9150-2019-4-5.
  20. **Кидов, А. А.** Некоторые аспекты размножения тритона Карелина, *Triturus karelinii* Strauch, 1870 тальшской популяции в лабораторных условиях / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, К. А. Африн // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3, Биология. – 2016. – № 3. – С. 54–57. – DOI 10.21638/11701/spbu03.2016.310.
  21. Репродуктивная характеристика самок тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) в лабораторных условиях / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, Е. А. Шиманская, Т. Н. Царькова, Е. А. Немыко // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2017. – № 3 (95). – С. 10–17.
  22. **Кидов, А. А.** Многолетняя динамика репродуктивных показателей самок тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) при лабораторном разведении / А. А. Кидов, Е. А. Немыко, Е. А. Шиманская // Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Биология и экология. – 2018. – № 4. – С. 38–49. – DOI 10.26456/vtbio26.
  23. **Литвинчук, С. Н.** Эволюция, систематика и распространение гребенчатых тритонов (*Triturus cristatus* complex) на территории России и сопредельных стран / С. Н. Литвинчук, Л. Я. Боркин. – Санкт-Петербург : Европейский дом, 2009. – 592 с.
  24. **Кузьмин, С. Л.** Земноводные бывшего СССР / С. Л. Кузьмин. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 370 с.
  25. **Кидов, А. А.** Постларвальный рост тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) (Amphibia, Caudata: Salamandridae) в горах Тальша / А. А. Кидов, К. А. Матушкина // Актуальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран : сб. науч. тр. – Владикавказ : Изд-во СОГУ им. К. Л. Хетагурова, 2012. – Вып. 8. – С. 46–50.

## References

1. Ananjeva N. B., Orlov N. L., Uteshev V. K., Gakhova E. N. *Biology Bulletin*. 2015, vol. 42, no. 5, pp. 432–439.
2. Ananjeva N. B., Uteshev V. K., Orlov N. L., Ryabov S. A., Gakhova E. N., Kaurova S. A., Kramarova L. I., Shishova N. V., Browne R. K. *Russian Journal of Herpetology*. 2017, vol. 24, no. 4, pp. 275–290. [In Russian]
3. Goncharov B. F., Serbinova I. A., Uteshev V. K., Shubravy O. I. *Problemy domestikatsii amfibiyy: sb. nauch. tr.* [Problems of domestication of amphibians: collected works]. Moscow, 1989, pp. 197–201. [In Russian]
4. Serbinova I. A., Tuniev B. S., Uteshev V. K., Shubravy O. I., Goncharov B. F. *Zookul'tura amfibiyy: sb. nauch. tr.* [Amphibian zoo culture: collected works]. Moscow: IEMEZh, 1990, pp. 75–81. [In Russian]
5. Shubravy O. I., Uteshev V. K., Serbinova I. A., Goncharov B. F. *Amphibienforschung und Vivarium* [Amphibian research and vivarium]. 1991, pp. 20–21.
6. Serbinova I. A., Tuniev B. S. *I Vsesoyuznoe soveshchanie po problemam zookul'tury: tez. dokl.: v 3 ch.* [The I All-Union Conference on Zooculture Problems: report theses: in 3 parts]. Moscow, 1986, part 2, pp. 147–150. [In Russian]
7. Serbinova I. A., Shubravy O. I., Uteshev V. K., Agasyan A. L., Goncharov B. F. *Zookul'tura amfibiyy: sb. nauch. tr.* [Amphibian zoo culture: collected works]. Moscow, 1990, pp. 82–89. [In Russian]
8. Kidov A. A., Matushkina K. A., Afrin K. A. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Buryat State University]. 2015, no. S4, pp. 81–89. [In Russian]
9. Goncharov B. F., Shubravy O. I., Serbinova I. A., Uteshev V. K. *International Zoo Yearbook*. 1989, vol. 28, pp. 10–21.
10. Serbinova I. A. *Nauchnye issledovaniya v zoologicheskikh parkakh* [Scientific research in zoological parks]. 2007, iss. 22, pp. 113–117. [In Russian]
11. Mazanaeva L. F., Kidov A. A., Dzhampirzoev G. S., Askenderov A. D., Nemyko E. A., Shimanskaya E. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2019, no. 1 (25), pp. 102–112. DOI 10.21685/2307-9150-2019-1-11. [In Russian]
12. Tuniev B. S., Lotiev K. Yu., Tuniev S. B., Gabaev V. N., Kidov A. A. *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka* [Nature Conservation Research. Nature reserve studies]. 2017, vol. 2, no. 2, pp. 1–23. DOI 10.24189/ncr.2017.002. [In Russian]
13. Tuniev B. S. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii* [The Red Book of the Russian Federation]. Moscow: Astrel', 2001, pp. 312–314. [In Russian]
14. Kukushkin O. V. *Krasnaya kniga Respubliki Krym. Zhivotnye* [The Red Book of the Crimea. Animals]. Simferopol: IT «ARIAL», 2015, pp. 286. [In Russian]
15. Tuniev B. S., Ostrovskikh S. V. *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraya. Zhivotnye* [The Red Book of Krasnodar region. Animals]. Krasnodar: Administratsiya Krasnodarskogo kraya, 2017, pp. 478–479. [In Russian]
16. Tuniev B. S., Ostrovskikh S. V. *Krasnaya kniga Respubliki Adygeya: Redkie i nakhodnyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnogo i rastitel'nogo mira: v 2 ch. Ch. 2: Zhivotnye* [The Red Book of the Republic of Adygea: Rare and endangered species of fauna and flora: in 2 parts. Part 2: Animals]. Maykop: Kachestvo, 2012, p. 228. [In Russian]
17. Mazanaeva L. F., Askenderov A. D. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [The Red Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala, 2009, pp. 373, 374. [In Russian]
18. Askenderov A. D. *Zemnovodnye Dagestana: rasprostranenie, ekologiya, okhrana: dis. kand. biol. nauk* [Amphibians of Dagestan: distribution, ecology, protection: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Makhachkala, 2017, 223 p. [In Russian]

19. Kidov A. A., Shimanskaya E. A., Askenderov A. D., Nemyko E. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2019, no. 4 (28), pp. 50–60. DOI 10.21685/2307-9150-2019-4-5. [In Russian]
20. Kidov A. A., Matushkina K. A., Afrin K. A. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 3, Biologiya* [Bulletin of Saint-Petersburg University. Series 3, Biology]. 2016, no. 3, pp. 54–57. DOI 10.21638/11701/spbu03.2016.310. [In Russian]
21. Kidov A. A., Matushkina K. A., Shimanskaya E. A., Tsar'kova T. N., Nemyko E. A. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni I. Ya. Yakovleva* [Bulletin of I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University]. 2017, no. 3 (95), pp. 10–17. [In Russian]
22. Kidov A. A., Nemyko E. A., Shimanskaya E. A. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and ecology]. 2018, no. 4, pp. 38–49. DOI 10.26456/vtbio26. [In Russian]
23. Litvinchuk S. N., Borkin L. Ya. *Evolyutsiya, sistematika i rasprostranenie grebenchatykh tritonov (Triturus cristatus complex) na territorii Rossii i sopredel'nykh stran* [The evolution, systematics, and distribution of comb tritons (*Triturus cristatus* complex) in Russia and neighboring countries]. Saint-Petersburg: Evropeyskiy dom, 2009, 592 p. [In Russian]
24. Kuz'min S. L. *Zemnovodnye byvshogo SSSR* [Amphibians of the former USSR]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012, 370 p. [In Russian]
25. Kidov A. A., Matushkina K. A. *Aktual'nye problemy ekologii i sokhraneniya bioraznoobraziya Rossii i sopredel'nykh stran: sb. nauch. tr.* [Actual problems of ecology and conservation of biodiversity of Russia and neighboring countries: collected works]. Vladikavkaz: Izd-vo SOGU im. K. L. Khetagurova, 2012, iss. 8, pp. 46–50. [In Russian]

---

***Кидов Артем Александрович***

кандидат биологических наук, доцент,  
кафедра зоологии, Российский  
государственный аграрный университет –  
МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия,  
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: kidov\_a@mail.ru

***Kidov Artem Aleksandrovich***

Candidate of biological sciences, associate  
professor, sub-department of zoology,  
Russian State Agrarian University – Moscow  
Timiryazev Agrarian Academy  
(49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

***Шиманская Елизавета Александровна***  
магистрант, Российский государственный  
аграрный университет – МСХА  
имени К. А. Тимирязева (Россия,  
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: kara-59@mail.ru

***Shimanskaya Elizaveta Aleksandrovna***  
Master's degree student, Russian State  
Agrarian University – Moscow Timiryazev  
Agrarian Academy (49 Timiryazevskaya  
street, Moscow, Russia)

***Кидова Елена Александровна***  
инженер, кафедра зоологии, Российский  
государственный аграрный университет –  
МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия,  
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: nemyko\_e@mail.ru

***Kidova Elena Aleksandrovna***  
Engineer, sub-department of zoology,  
Russian State Agrarian University – Moscow  
Timiryazev Agrarian Academy  
(49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

**Трофимец Алексей Викторович**

магистрант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: lego627403@yandex.ru

**Trofimets Aleksey Viktorovich**

Master's degree student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agrarian Academy (49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

**Аскендеров Азим Даниялович**

кандидат биологических наук, старший преподаватель, кафедра зоологии и физиологии, Дагестанский государственный университет (Россия, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43 А)

E-mail: askenderov@mail.ru

**Askenderov Azim Daniyalovich**

Candidate of biological sciences, senior lecturer, sub-department of zoology and physiology, Dagestan State University (43 A M. Gadzhieva street, Makhachkala, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Репродуктивный потенциал тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Amphibia, Caudata, Salamandridae) из дагестанской популяции в лабораторных условиях / А. А. Кидов, Е. А. Шиманская, Е. А. Кидова, А. В. Трофимец, А. Д. Аскендеров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 43–55. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-5.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАКОВИННЫХ АМЕБ ОТРЯДА ARCELLINIDA В ААПА-БОЛОТАХ В РАЗНЫХ МАСШТАБАХ<sup>1</sup>

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Раковинные амёбы являются важным компонентом болотных, пресноводных и почвенных экосистем. Многие виды имеют четкие экологические предпочтения, что делает их полезными биоиндикаторами. В настоящее время все больше работ посвящается изучению структурной организации сообществ корневожек в разных типах биотопов и выявлению основных причин изменения видового состава и численности. Однако вопросы, касающиеся выявления механизмов, обеспечивающих сосуществование близкородственных видов, до сих пор остаются без должного внимания.

*Материалы и методы.* Для исследования выбрано аапа-болото, расположенное в северной подзоне тайги в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Изучали горизонтальное распределение раковинных амёб в макромасштабе (размер целого болота, около 40 × 150 м), мезомасштабе (10 × 10 см), микромасштабе (3 × 3 см), а также вертикальное распределение в толще сфагнома.

*Результаты.* В 86 образцах было обнаружено 11 574 раковинок амёб, относящихся к 109 видам и подвидам из 33 родов. Представители отряда Arcellinida составляют существенную долю в сообществе раковинных амёб (от 36 до 63 % общего обилия в разных пробах). В масштабе всего болота раковинные амёбы характеризуются редкой совместной встречаемостью в пробах. Средний индекс сходства распределений наиболее массовых видов (более 5 % от общей численности) – 0,2 (индекс Брея – Кертиса). Распределение корневожек на площади 100 см<sup>2</sup> существенно более однородно (средний индекс Брея – Кертиса – 0,78). Распределение раковинных амёб в микромасштабе (10 см<sup>2</sup>) весьма неоднородно: некоторые виды (*Hyalosphenia papilio*, *Heleopera rosea* и *Heleopera sphagni*) демонстрируют высокие индексы сходства (0,70–0,78), другие (*Centropyxis elongata*) характеризуются низким уровнем перекрытия (в среднем 0,26). Средний индекс сходства в микромасштабе – 0,47. Расхождение видов по вертикали очень слабое (средний индекс сходства Брея – Кертиса – 0,75).

*Выводы.* Сообщество раковинных амёб структурируется главным образом за счет дифференциации экологических ниш видов в масштабе всего болота, а также отдельные группы расходятся в микромасштабе. Роль горизонтального распределения в мезомасштабе и вертикального распределения в расхождении пространственных компонент экологических ниш существенно ниже.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-34-00909-мол\_а).

© Есаулов А. С., Малышева Е. А., Бабешко К. В., Цыганов А. Н., Белякова О. И., Мазей Ю. А., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

**Ключевые слова:** раковинные амёбы, протисты, болотные экосистемы, сосуществование видов, структура сообщества.

*A. S. Esaulov, E. A. Malysheva, K. V. Babeshko,  
A. N. Tsyganov, O. I. Belyakova, Yu. A. Mazei*

## SPATIAL DISTRIBUTION OF ARCELLINIDA TESTATE AMOEBAE IN AAPA MOOR AT DIFFERENT SCALES

### Abstract.

**Background.** Testate amoebae are an important component of marsh, freshwater and soil ecosystems. Many species have clear environmental preferences, making them useful bioindicators. Currently, more and more investigations are devoted to the study of the structural organization of the testate amoebae communities in different types of biotopes and to the identification of the main causes of changes in the species composition and abundance. However, issues related to the identification of mechanisms that ensure the coexistence of closely related species still remain without due attention.

**Materials and methods.** The study was conducted on the aapa moor, located in the northern subzone of the taiga in the vicinity of the Pertsov White Sea Biological Station, Moscow State University (WSBS MSU). We studied the horizontal distribution of testate amoebae on a macro- (40 × 150 m), meso- (10 × 10 cm), microscale (3 × 3 cm), and vertical distribution in the deep of the sphagnum.

**Results.** In 86 samples revealed 11 574 tests belonging to 109 species and subspecies from 33 genera. Representatives of the order Arcellinida make up a significant share in the testate amoebae community (from 36 to 63 % of the total abundance in different samples). Testate amoebae are characterized by rare joint occurrence in samples throughout the whole aapa moor. The average index of similarity of distributions of the most abundant species (more than 5 % of the total abundance) is 0,2 (Brey – Curtis index). The distribution of the amoebae in the area of 100 cm<sup>2</sup> was significantly more homogeneous (the average Brey – Curtis index is 0,78). The distribution of amoebae on a microscale (10 cm<sup>2</sup>) was very heterogeneous: some species (*Hyalosphenia papilio*, *Heleopera rosea* and *Heleopera sphagni*) show high similarity indices of 0,7–0,78, others (*Centropyxis elongata*) are characterized by a low level of overlap (average 0,26). The average index of similarity in a microscale is 0,47. The vertical divergence of species is very weak (the average Brey – Curtis similarity index is 0,75).

**Conclusions.** The testate amoebae community is structured mainly due to the differentiation of ecological niches of species on the scale of the whole aapa-mire, as well as individual groups diverge on a microscale. The role of horizontal distribution at the mesoscale and vertical distribution in the divergence of spatial components of ecological niches is significantly lower.

**Keywords:** testate amoebae, protist, wetland ecosystems, coexistence of species, community structure.

### Введение

Раковинные амёбы – полифилетическая группа свободноживущих простейших [1], которые являются важным компонентом болотных, пресноводных и почвенных экосистем [2]. Раковинные амёбы реагируют на изменения характеристик окружающей среды, среди которых наиболее значимыми являются влажность, кислотность, температура, степень эвтрофикации, соле-

ность, загрязнение тяжелыми металлами и органическими веществами [3, 4]. Многие виды имеют четко определенные экологические предпочтения, а сами раковинки характеризуются устойчивостью к разложению, что делает их полезными биоиндикаторами [5, 6]. Представители отряда Arcellinida наиболее обильны и разнообразны в биотопах с повышенным уровнем увлажнения, в частности, в сфагновых болотах [7, 8]. В настоящее время все больше работ направлено на изучение структурной организации сообществ корненожек в разных типах биотопов и выявление основных причин изменения видового состава и численности [9, 10]. Однако вопросы, касающиеся понимания механизмов, обеспечивающих сосуществование близкородственных видов, до сих пор остаются без должного внимания.

Целью настоящей работы явилось выявление пространственных масштабов, в которых сосуществуют близкородственные виды сфагнобионтных раковинных амёб отряда Arcellinida (Tubulinea), образующие основу сообщества корненожек в сфагновых болотах, на примере ассоциаций, формирующихся в болотных аапа-комплексах полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ.

### **Материалы и методы**

Для исследования выбрано аапа-болото, расположенное в северной подзоне тайги в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (Республика Карелия; координаты 66.550148 °с.ш., 33.075523 °в.д.). Болотный массив представляет собой кочковатое низинное болото в северной части и аапа-комплекс в южной части. Сток ориентирован с запада на восток, перпендикулярно направлению стока чередующихся гряды и мочажины (ширина гряд 2–3 м, высота 1 м). Древесный ярус аапа-комплекса образован *Betula pubescens*, травяной – *Rubus chamaemorus*. В моховом покрове на кочках обнаруживаются сфагновые и гипновые мхи.

Для изучения пространственного распределения раковинных амёб в горизонтальном направлении мы изучили три масштаба: макро- (все болото 40 × 150 м), мезо- (10 × 10 см), микромасштаб (3 × 3 см).

Для изучения распределения раковинных амёб в масштабе всего аапа-болота было заложено три трансекты, которые располагались поперек смежных гряд в центральной части, таким образом, что края трансекты располагались в мочажине, а центральная часть – на гряде. Вдоль каждой трансекты отбирали 6–7 образцов сфагнума (площадью 2–3 см<sup>2</sup> на глубину 5 см).

Отбор проб для изучения распределения в мезо- и микромасштабе проводили следующим образом. Для мезомасштаба в верхней части трех гряд, расположенных вдоль стока, заложены три площадки 10 × 10 см со схожим по составу растительным покровом. На каждой площадке аккуратно извлечен образец сфагнума длиной 12–15 см. Образец разделен согласно схеме, изображенной на рис. 1,а, на девять субпроб, 3 × 3 см каждая (рис. 2). Одновременно с отбором образцов измеряли уровень болотных вод относительно поверхности мха (УБВ, см), окислительно-восстановительный потенциал (Eh, мВ), кислотность (рН), электропроводность (табл. 1).

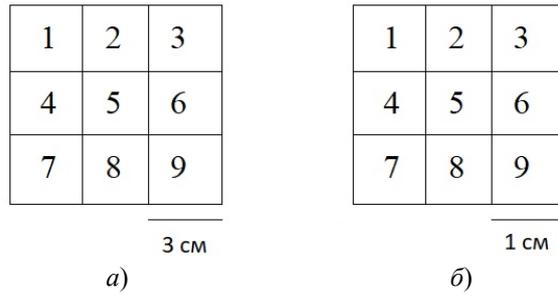


Рис. 1. Схема взятия проб в мезомасштабе (а) и микромасштабе (б)



Рис. 2. Схема разделения пробы на субпробы для изучения мезомасштабного распределения

Таблица 1

Характеристики окружающей среды в биотопах,  
включенных в исследование мезо- и микрораспределения

Гряда	УБВ, см	pH	Eh на уровне болотных вод, мВ	Электропроводность
1	25	6,2	-85	0,03
2	27	6,1	-117	0,05
3	30	6,1	-118	0,03

Изучение распределения раковинных амеб в микромасштабе проводилось по аналогичной схеме (рис. 1,б). Были заложены три площадки  $3 \times 3$  см с одинаковым по составу растительным покровом. С каждой площадки отбирали по девять растений (рис. 3) длиной 10–15 см.



Рис. 3. Растения сфагнома, извлеченные для изучения микромасштабного распределения

Для изучения вертикального распределения закладывали площадки размером  $10 \times 10$  см. На каждой площадке аккуратно извлекали образец сфагнома с сохранением вертикальной структуры (рис. 4). Образец был разделен на четыре зоны (как описано в работе [11]): головка сфагнома (0–1 см), фотосинтезирующая часть (1–3 см), частично гумифицированная часть (3–8 см) и гумифицированная часть (8–15 см). Итого было отобрано 12 проб.



Рис. 4. Схема разделения образца сфагнома, извлеченного для изучения вертикального распределения

В лаборатории пробы для изучения видового состава сообществ раковинных амеб готовили согласно методике, основанной на фильтровании и

отстаивании водных вытяжек [12]. Количественный учет и видовую идентификацию раковинных амёб в суспензии проводили с помощью микроскопа Carl Zeiss Axio Vert. A1 (Carl Zeiss, Германия) при увеличении  $\times 200$  в 200-х полях зрения. Видовую идентификацию осуществляли с использованием определителя [2]. Все вычисления были выполнены с помощью статистических пакетов программ PAST 1.89 и MSEXCEL 2007.

## Результаты

### 1. Видовая структура сообщества

Всего в 86 образцах было обнаружено 11 574 раковинок амёб, относящихся к 109 видам и подвидам из 33 родов. Результаты анализа зависимости числа видов раковинных амёб в образце от уровня залегания болотных вод выявили обратную линейную зависимость (рис. 5).

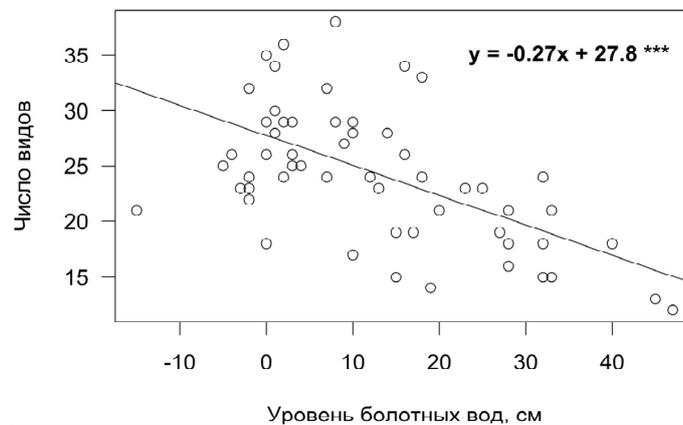


Рис. 5. Зависимость числа видов раковинных амёб в образце от уровня залегания болотных вод в болотном аапа-комплексе полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ

В наиболее обводненных биотопах преобладали представители родов *Arcella*, *Centropyxis*, а в сухих – ксерофильные виды *Nebela militaris*, *Bullinularia indica*, *Trygonopyxis arcula* и *Heleoperasyl vatica*.

Представители отряда Arcellinida составляют от 36 до 63 % общего обилия (в разных пробах) организмов в сообществе раковинных амёб (рис. 6). Всего было обнаружено 68 морфовидов арцеллинид. Наиболее разнообразны они оказались в макромасштабе (49 видов), наименее – в микромасштабе (27 видов). Из них наиболее массовым являются *Hyalosphenia papilio* (13,1 % от общего обилия), *Hyalosphenia elegans* (12,5 %), *Heleoperas phagni* (9,9 %), *Argynnia dentistoma* (9 %), *Planocarina marginata* (7,7 %), *Heleopera rosea* (6,6 %), *Nebela tinctoria* (5,1 %). Во всех масштабах видовое богатство представителей отряда Arcellinida было больше, чем всех остальных раковинных амёб (рис. 7).

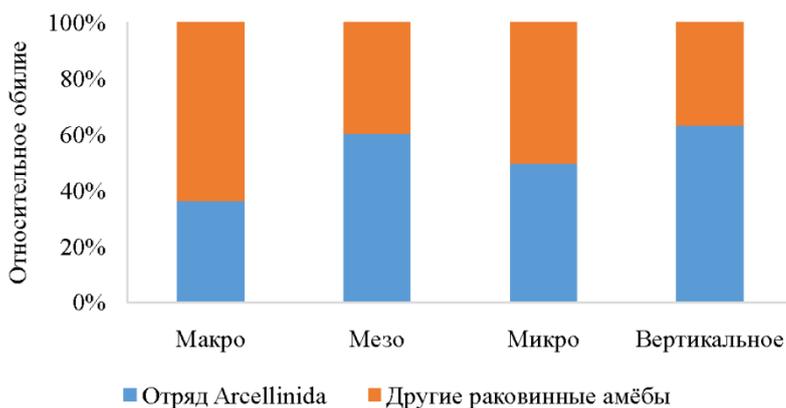


Рис. 6. Относительное обилие арцеллинид в сообществе раковинных амёб из болотного аапа-комплекса полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ

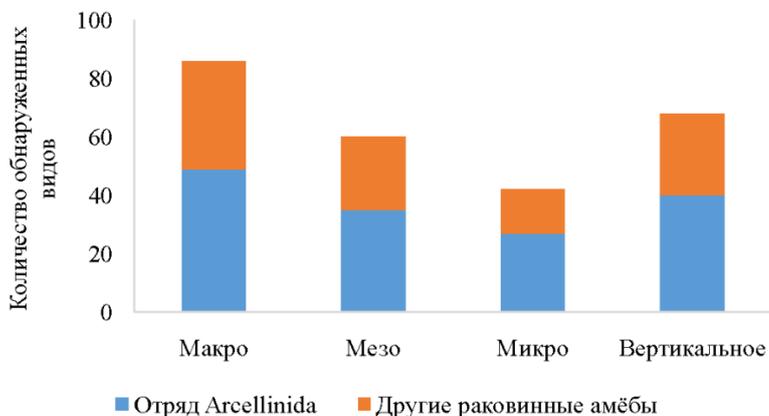


Рис. 7. Соотношение видового богатства арцеллинид и остальных корненожек в болотном аапа-комплексе полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ

## 2. Пространственное распределение в макрогоризонтальном (40 × 150 м) масштабе

В масштабе всего болота раковинные амёбы характеризуются редкой совместной встречаемостью в пробах, что находит отражение в невысоких индексах сходства Брея – Кертиса (табл. 2). Средний индекс сходства распределений наиболее массовых видов (более 5 % от общей численности) – 0,2. Чаше других в пробах совместно встречалась пара субдоминирующих видов *Hyalosphenia elegans*–*Hyalosphenia papilio* (индекс сходства – 0,45). Наименьшее перекрытие с другими видами в макропространственном масштабе наблюдается у *Arcella catinus* и *Cryptodiffugia crenulata* – 0,08 и 0,06 соответственно; у всех остальных видов этот показатель изменялся в пределе 0,21–0,29.

Таблица 2

Индексы сходства Брея – Кергиса распределения доминирующих видов в масштабе всего болотного аапа-комплекса полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ

Виды	<i>A. catinus</i>	<i>A. dentistoma</i>	<i>C. oviformis</i>	<i>C. crenulata</i>	<i>H. elegans</i>	<i>H. papilio</i>	<i>P. marginata</i>	Среднее перекрытие
<i>A. dentistoma</i>	0,13							
<i>C. oviformis</i>	0,01	0,43						
<i>C. crenulata</i>	0,06	0,06	0,04					
<i>H. elegans</i>	0,08	0,43	0,35	0,00				
<i>H. papilio</i>	0,13	0,39	0,34	0,04	0,45			
<i>P. marginata</i>	0,06	0,32	0,25	0,14	0,11	0,37		
Среднее	0,08	0,29	0,23	0,06	0,24	0,29	0,21	<b>0,20</b>

### 3. Пространственное распределение в мезогоризонтальном (10 × 10 см) масштабе

Распределение раковинных амёб в мезопространственном масштабе (на площади 100 см<sup>2</sup>) оказалось существенно более однородным. Средний индекс сходства распределений наиболее массовых видов (более 5 % от общей численности) – 0,78 (табл. 3). Многие массовые виды имеют довольно высокие индексы сходства. Максимальные отмечены на уровне 0,86–0,88 для группы видов: *Hyalosphenia elegans*, *Nebela tinctoria*, *Argyria dentistoma*; минимальные значения 0,62–0,63 – для группы: *Physochila griseola*, *Hyalosphenia papilio*, *Heleopera rosea*. Наименьшее перекрытие (в среднем 0,68) с другими видами в мезопространственном масштабе наблюдается у *Physochila griseola*; у всех остальных видов этот показатель изменялся в пределах 0,76–0,83 (табл. 3).

### 4. Пространственное распределение в микрогоризонтальном (3 × 3 см) масштабе

Распределение раковинных амёб в микромасштабе (10 см<sup>2</sup>) оказалось весьма неоднородным. Так, высокие индексы сходства 0,7–0,78 отмечены у группы видов *Hyalosphenia papilio*, *Heleopera rosea* и *Heleopera sphagni*. Наименьшее перекрытие (в среднем 0,26) с другими видами в микропространственном распределении наблюдается у *Centropuxis elongata*. Средний индекс сходства распределений наиболее массовых видов (более 5 % от общей численности) – 0,47 (табл. 4).

### 5. Вертикальное распределение

До сих пор рассматривалось размещение организмов по горизонтали. Другой важный аспект размещения в трехмерном пространстве связан с вер-

тикальной компонентой. На рис. 8 показано распределение обилия раковин по вертикали. Более 60 % всех найденных корненожек были обнаружены в горизонтах Н1 и Н0.

Таблица 3

Индексы сходства Брея – Кертиса распределения доминирующих видов в мезомасштабе в болотном аапа-комплексе полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ

Виды	<i>A. dentistoma</i>	<i>H. rosea</i>	<i>H. sphagni</i>	<i>H. elegans</i>	<i>H. papilio</i>	<i>N. tincta</i>	<i>P. griseola</i>	<i>P. marginata</i>	Среднее перекрытие
<i>H. rosea</i>	0,77								
<i>H. sphagni</i>	0,86	0,76							
<i>H. elegans</i>	0,86	0,86	0,82						
<i>H. papilio</i>	0,74	0,76	0,78	0,80					
<i>N. tincta</i>	0,85	0,82	0,83	0,89	0,78				
<i>P. griseola</i>	0,71	0,63	0,73	0,73	0,62	0,69			
<i>P. marginata</i>	0,82	0,84	0,83	0,86	0,84	0,84	0,64		
Среднее	0,80	0,78	0,80	0,83	0,76	0,82	0,68	0,81	<b>0,78</b>

Таблица 4

Индексы сходства Брея – Кертиса распределения доминирующих видов в микромасштабе в болотном аапа-комплексе полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ

Виды	<i>Arcellaarenaria sphagnicola</i>	<i>A. catinus</i>	<i>A. dentistoma</i>	<i>C. elongata</i>	<i>H. rosea</i>	<i>H. sphagni</i>	<i>H. papilio</i>	<i>P. marginata</i>	Среднее перекрытие
<i>A. catinus</i>	0,35								
<i>A. dentistoma</i>	0,34	0,31							
<i>C. elongata</i>	0,41	0,00	0,39						
<i>H. rosea</i>	0,62	0,35	0,63	0,23					
<i>H. sphagni</i>	0,47	0,50	0,63	0,30	0,70				
<i>H. papilio</i>	0,67	0,32	0,56	0,30	0,78	0,70			
<i>P. marginata</i>	0,54	0,58	0,53	0,20	0,59	0,68	0,66		
Среднее	0,43	0,35	0,49	0,26	0,56	0,57	0,57	0,54	<b>0,47</b>

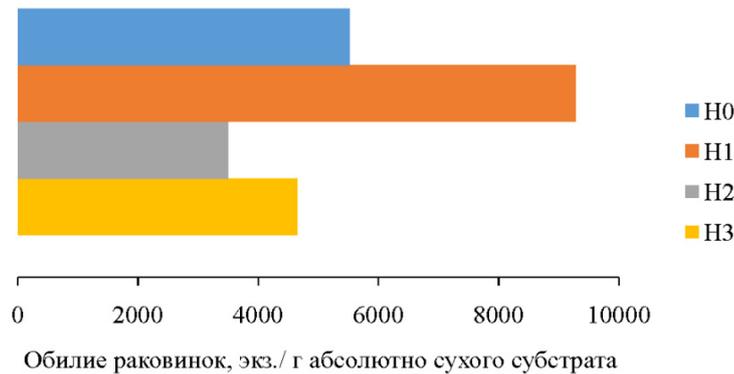


Рис. 8. Изменение средней численности арцелин с глубиной в болотном аапа-комплексе полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ

Так, *Hyalosphenia papilio* и *Heleopera sphagni* предпочитали поверхностный слой H0 и следующий за ним слой H1 (рис. 9). Эта пара доминантов, в целом, характеризовалась совместной встречаемостью в пробах, о чем свидетельствует высокий индекс сходства Брея – Кертиса – 0,93 (табл. 5). Пара *Hyalosphenia elegans* и *Nebela collaris* также совместно встречалась в пробах (индекс сходства – 0,97), однако предпочитала чуть более глубокие слои H1 и H2. Напротив, *Argygnia dentistoma* была обнаружена авторами преимущественно в нижних слоях H2, H3 и характеризовалась наименьшим перекрытием (в среднем 0,57) с другими видами в вертикальном распределении. У всех остальных видов этот показатель изменялся в пределах 0,73–0,81. Средний индекс сходства распределений наиболее массовых видов – 0,75.

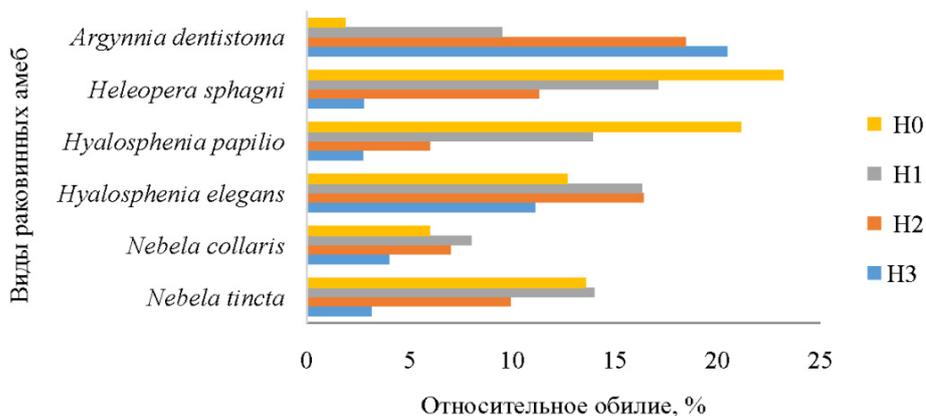


Рис. 9. Изменение относительного обилия доминирующих видов арцелин с глубиной в болотном аапа-комплексе полуострова Киндо в окрестностях Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова МГУ, %

Индексы Брея – Кертиса, характеризующие распределение раковинных амёб по вертикали

Виды	<i>A. denistoma</i>	<i>H. sphagni</i>	<i>H. elegans</i>	<i>H. papilio</i>	<i>N. collaris</i>	<i>N. tincta</i>	Среднее перекрывание
<i>H. sphagni</i>	0,49						
<i>H. elegans</i>	0,71	0,77					
<i>H. papilio</i>	0,43	0,93	0,71				
<i>N. collaris</i>	0,68	0,80	0,97	0,74			
<i>N. tincta</i>	0,55	0,91	0,83	0,85	0,86		
Среднее	0,57	0,78	0,80	0,73	0,81	0,80	<b>0,75</b>

### Обсуждение

Результаты исследования свидетельствуют о богатой фауне раковинных амёб в аапа-болотах северной подзоны тайги, что может быть связано с высоким разнообразием мест обитания, формирующимся в пределах данного типа экосистем. Проведенные ранее исследования показали, что многие факторы, в первую очередь увлажненность субстрата и кислотность, влияют на распределение раковинных амёб в сфагновых болотах [13–17]. Именно по этим параметрам аапа-болота наиболее гетерогенны в масштабе сотен квадратных метров, что приводит к независимому распределению близкородственных видов на этом пространственном уровне. В мезо- и микромасштабе, где относительная однородность среды дает меньше возможности для расхождения видов, совместная встречаемость видов в пробах увеличивается.

При изучении вертикального распределения большинство амёб было обнаружено в верхних слоях сфагнума (до 3 см в глубину). Такое распределение может быть связано с доступностью пищевых ресурсов. Известно, что миксотрофные виды преимущественно колонизируют самые верхние сегменты сфагнума, где их эндосимбионты могут фотосинтезировать [18]. Раковинным корненожкам также необходим материал для построения раковинки, и это требование может быть еще одним фактором, определяющим их вертикальное распределение [19]. Таким образом, наличие источников материала для создания раковинки и подходящей пищи является основными регуляторами численности и распределения этих видов вдоль частей сфагнума.

### Заключение

Анализ полученных данных показал, что представители отряда Arcellinida характеризуются неоднородным распределением в пространстве. Наименьшая сопряженность обнаружена в макромасштабе (средний индекс сходства – 0,2). Виды делят макропространство, предпочитая существовать в разных локусах большого пространства. Наибольшая сопряженность обнаружена в мезомасштабе и вертикальном распределении. Таким образом, сообщество ра-

ковинных амёб структурируется за счет расхождения видов в масштабе всего болота, роль микро-, мезомасштабного и вертикального распределения в разделении ресурсов существенно ниже.

### Библиографический список

1. The revised classification of eukaryotes / S. M. Adl, A. G. B. Simpson, C. E. Lane, J. Luke, D. Bass, S. S. Bowser, M. W. Brown, F. Burki, M. Dunthorn, V. Hampl, A. Heiss, M. Hoppenrath, E. Lara, L. le Gall, D. H. Lynn, H. McManus, E. A. D. Mitchell, S. E. Mozley-Stanridge, L. W. Parfrey, J. Pawlowski, S. Rueckert, L. Shadwick, C. L. Schoch, A. Smirnov, F. W. Spiegel // *Journal of Eukaryotic Microbiology*. – 2012. – Vol. 59, № 5. – P. 429–514.
2. **Мазей, Ю. А.** Пресноводные раковинные амёбы / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 300 с.
3. **Patterson, R. T.** Arcellacea (testate lobose amoebae) as pH indicators in a pyrite mine-acidified lake, Northeastern Ontario, Canada / R. T. Patterson, E. D. R. Lamoureux, L. A. Neville, A. L. Macumber // *Microbial Ecology*. – 2013. – Vol. 65, № 3. – P. 541–554.
4. Response of testate amoeba assemblages to environmental and climatic changes during the Lateglacial–Holocene transition at Lake Lautrey (Jura Mountains, eastern France) / A. A. J. Wall, M. Magny, E. A. D. Mitchell, B. Vannière, D. Gilbert // *Journal of Quaternary Science*. – 2010. – Vol. 25, № 6. – P. 945–956.
5. Динамика видовой структуры сообщества раковинных амёб в ходе сукцессии «водоем–болото» в голоцене на примере болота Мочуля (Калужская область, Россия) / А. Н. Цыганов, А. А. Комаров, Н. Г. Мазей, Т. В. Борисова, Е. Ю. Новенко, Ю. А. Мазей // *Зоологический журнал*. – 2020. – Т. 99, № 5. – С. 586–598.
6. Climatic moisture conditions in the north-west of the Mid-Russian Upland during the Holocene / E. Yu. Novenko, A. N. Tsyganov, K. V. Babeshko, R. J. Payne, J. Li, Yu. A. Mazei, A. V. Olchev // *Geography, Environment, Sustainability*. – 2019. – Vol. 12, № 4. – P. 188–202.
7. Exploring the diversity and ecology of testate amoebae in West Siberian peatlands / Yu. Mazei, V. A. Chernyshov, S. Bukhkalov, N. Mazei, A. Creevy, R. J. Payne // *Acta Protozoologica*. – 2017. – Vol. 56, № 1. – P. 59–70.
8. **Tsyganov, A. N.** Distribution of soil testate amoeba assemblages along catenas in the northern taiga zone (Karelia, Russia) / A. N. Tsyganov, E. A. Embulaeva, Yu. A. Mazei // *Protistology*. – 2012. – Vol. 7, № 2. – P. 71–78.
9. Freshwater testate amoebae in the Belaya River basin (Northwestern Caucasus) / E. A. Malysheva, N. G. Mazei, M. I. Shapovalov, M. A. Saprykin, Yu. A. Mazei // *Inland Water Biology*. – 2017. – Vol. 10, № 1. – P. 92–96.
10. Tree encroachment may lead to functionally-significant changes in peatland testate amoeba communities / R. J. Payne, A. Creevy, E. Malysheva, J. Ratcliffe, R. Andersen, A. N. Tsyganov, J. G. Rowson, K. Marcisz, M. Zielińska, M. Lamentowicz, E. D. Lapshina, Yu. A. Mazei // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2016. – Vol. 98. – P. 18–21.
11. **Roe, H. M.** Re-assessing the vertical distribution of testate amoeba communities in surface peats: implications for palaeohydrological studies / H. M. Roe, S. M. Elliott, R. T. Patterson // *European Journal of Protistology*. – 2017. – Vol. 60. – P. 13–27.
12. **Мазей, Ю. А.** Изменение сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента в Среднем Поволжье / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // *Аридные экосистемы*. – 2009. – Т. 15, № 1 (37). – С. 13–23.
13. **Booth, R. K.** Ecology of testate amoebae in a North Carolina pocosin and their potential use as environmental and paleoenvironmental indicators / R. K. Booth, M. E. Sullivan, V. A. Sousa // *Ecoscience*. – 2008. – Vol. 15, № 2. – P. 277–289.
14. **Charman, D. J.** Relationship between testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) and microenvironmental parameters on a forested peatland in northeastern Ontario /

- D. J. Charman, B. G. Warner // *Canadian Journal of Zoology*. – 1992. – Vol. 70, № 12. – P. 2474–2482.
15. Fine-scale horizontal and vertical micro-distribution patterns of testate amoebae along a narrow fen/bog gradient / V. E. J. Jasey, G. Chiapusio, E. A. D. Mitchell, P. Binet, M.-L. Toussaint, D. Gilbert // *Microbial Ecology*. – 2011. – Vol. 61, № 2. – P. 374–385.
16. Horizontal distribution patterns of testate amoebae (Protozoa) in a *Sphagnum magellanicum* carpet / E. A. D. Mitchell, D. Borcard, A. J. Buttler, Ph. Grosvernier, D. Gilbert, J.-M. Gobat // *Microbial Ecology*. – 2000. – Vol. 39, № 4. – P. 290–300.
17. **Opravilová, V.** The variation of testacean assemblages (Rhizopoda) along the complete base richness gradient in fens: a case study from the Western Carpathians / V. Opravilová, M. Hajek // *Acta Protozoologica*. – 2006. – Vol. 45, № 2. – P. 191.
18. **Heal, O. W.** The abundance and micro-distribution of testate amoebae (Rhizopoda: Testacea) in *Sphagnum* / O. W. Heal // *Oikos*. – 1962. – P. 35–47.
19. **Meisterfeld, R.** Horizontal and vertical distribution of Testacea (Rhizopoda-Testacea) in *Sphagnum* / R. Meisterfeld // *Archiv für Hydrobiologie*. – 1977. – Vol. 79, № 3. – P. 319–356.

### References

1. Adl S. M., Simpson A. G. B., Lane C. E., Luke J., Bass D., Bowser S. S., Brown M. W., Burki F., Dunthorn M., Hampl V., Heiss A., Hoppenrath M., Lara E., le Gall L., Lynn D. H., McManus H., Mitchell E. A. D., Mozley-Stanridge S. E., Parfrey L. W., Pawlowski J., Rueckert S., Shadwick L., Schoch C. L., Smirnov A., Spiegel F. W. *Journal of Eukaryotic Microbiology*. 2012, vol. 59, no. 5, pp. 429–514.
2. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N. *Presnovodnye rakovinnnye ameby* [Freshwater testate amoebae]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006, 300 p. [In Russian]
3. Patterson R. T., Lamoureux E. D. R., Neville L. A., Macumber A. L. *Microbial Ecology*. 2013, vol. 65, no. 3, pp. 541–554.
4. Wall A. A. J., Magny M., Mitchell E. A. D., Vannière B., Gilbert D. *Journal of Quaternary Science*. 2010, vol. 25, no. 6, pp. 945–956.
5. Tsyganov A. N., Komarov A. A., Mazei N. G., Borisova T. V., Novenko E. Yu., Mazei Yu. A. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal]. 2020, vol. 99, no. 5, pp. 586–598. [In Russian]
6. Novenko E. Yu., Tsyganov A. N., Babeshko K. V., Payne R. J., Li J., Mazei Yu. A., Olchev A. V. *Geography, Environment, Sustainability*. 2019, vol. 12, no. 4, pp. 188–202.
7. Mazei Yu., Chernyshov V. A., Bukhhalo S., Mazei N., Creevy A., Payne R. J. *Acta Protozoologica*. 2017, vol. 56, no. 1, pp. 59–70.
8. Tsyganov A. N., Embulaeva E. A., Mazei Yu. A. *Protistology*. 2012, vol. 7, no. 2, pp. 71–78. [In Russian]
9. Malysheva E. A., Mazei N. G., Shapovalov M. I., Saprykin M. A., Mazei Yu. A. *Inland Water Biology*. 2017, vol. 10, no. 1, pp. 92–96.
10. Payne R. J., Creevy A., Malysheva E., Ratcliffe J., Andersen R., Tsyganov A. N., Rowson J. G., Marcisz K., Zielińska M., Lamentowicz M., Lapshina E. D., Mazei Yu. A. *Soil Biology and Biochemistry*. 2016, vol. 98, pp. 18–21.
11. Roe H. M., Elliott S. M., Patterson R. T. *European Journal of Protistology*. 2017, vol. 60, pp. 13–27.
12. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2009, vol. 15, no. 1 (37), pp. 13–23. [In Russian]
13. Booth R. K., Sullivan M. E., Sousa V. A. *Ecoscience*. 2008, vol. 15, no. 2, pp. 277–289.
14. Charman D. J., Warner B. G. *Canadian Journal of Zoology*. 1992, vol. 70, no. 12, pp. 2474–2482.
15. Jasey V. E. J., Chiapusio G., Mitchell E. A. D., Binet P., Toussaint M.-L., Gilbert D. *Microbial Ecology*. 2011, vol. 61, no. 2, pp. 374–385.

16. Mitchell E. A. D., Borcard D., Buttler A. J., Grosvernier Ph., Gilbert D., Gobat J.-M. *Microbial Ecology*. 2000, vol. 39, no. 4, pp. 290–300.
17. Opravilová V., Hajek M. *Acta Protozoologica*. 2006, vol. 45, no. 2, p. 191.
18. Heal O. W. *Oikos*. 1962, pp. 35–47.
19. Meisterfeld R. *Archiv für Hydrobiologie* [Archive for hydrobiology]. 1977, vol. 79, no. 3, pp. 319–356.

---

**Есаулов Антон Сергеевич**

кандидат биологических наук, доцент, кафедра микробиологии, эпидемиологии и инфекционных болезней, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: esaulovanton@yandex.ru

**Esaulov Anton Sergeevich**

Candidate of biological sciences, associate professor, sub-department of microbiology, epidemiology and infectious diseases, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Мальшова Елена Александровна**

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

E-mail: elenamalysheva@list.ru

**Malysheva Elena Aleksandrovna**

Candidate of biological sciences, associate professor, sub-department of general biology and biochemistry, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Бабешко Кирилл Владимирович**

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

E-mail: fytark@yandex.ru

**Babeshko Kirill Vladimirovich**

Candidate of biological sciences, associate professor, sub-department of general biology and biochemistry, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Цыганов Андрей Николаевич**

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, кафедра общей экологии и гидробиологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12)

E-mail: andrey.tsyganov@bk.ru

**Tsyganov Andrey Nikolaevich**

Candidate of biological sciences, leading researcher, sub-department of general ecology and hydrobiology, Lomonosov Moscow State University (building 12, 1 Leninskiye Gory, Moscow, Russia)

**Белякова Ольга Ивановна**

кандидат биологических наук, начальник отдела мониторинга и рейтинговых исследований, Управление стратегического развития и системы качества, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: belyakovaolj@gmail.com

**Belyakova Ol'ga Ivanovna**

Candidate of biological sciences, head of the unit of monitoring and rating research, the Office of strategic planning and quality management system, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

***Мазей Юрий Александрович***

доктор биологических наук, профессор,  
кафедра общей экологии  
и гидробиологии, Московский  
государственный университет  
имени М. В. Ломоносова (Россия,  
г. Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12)

E-mail: yurimazei@mail.ru

***Mazei Yuri Aleksandrovich***

Doctor of biological sciences, professor,  
sub-department of general ecology and  
hydrobiology, Lomonosov Moscow State  
University (building 12, 1 Leninskiye Gory,  
Moscow, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Пространственное распределение раковинных амёб отряда Arcellinida в аапа-болотах в разных масштабах / А. С. Есаулов, Е. А. Малышева, К. В. Бабешко, А. Н. Цыганов, О. И. Белякова, Ю. А. Мазей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 56–70. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-6.

УДК [631.416.8+581.5+591.5](546.47/.49:579.222.4)

DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-7

*М. И. Андреева, А. И. Иванов, Д. Г. Смирнов*

## **НАКОПЛЕНИЕ КАДМИЯ СОСУДИСТЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

### **Аннотация.**

*Актуальность и цели.* Изучение содержания токсичных химических элементов в различных компонентах природных экосистем является одной из актуальных проблем биосферной экологии. Целью работы было изучение фонового содержания кадмия в сосудистых растениях в лесных экосистемах Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области.

*Материалы и методы.* Материалом для проведения исследований были пробы органов и тканей наиболее распространенных видов сосудистых растений различных жизненных форм. Пробы отбирали с сентября 2015 г. по декабрь 2019 г. Анализы образцов выполняли на атомно-адсорбционном спектрометре МГА-915 МД. Статистические расчеты проведены в Past 3.

*Результаты и выводы.* В результате измерений было определено количественное содержание кадмия в биоматериале древесных и травянистых растений. Статистическая обработка данных позволила сделать следующие выводы. В наибольшем количестве рассматриваемый элемент накапливают деревья, в наименьшем – травы. Кустарники по этому показателю занимают среднее положение. В характере накопления кадмия сосудистыми растениями проявляется видовая специфичность. Его содержание в вегетативных органах и тканях древесных растений не одинаково. Минимальные значения были определены для корней и древесины ствола, средние – для листьев, максимальные – для корки. Лекарственное и пищевое растительное сырье, заготовка которого возможна в изучаемых лесных сообществах Пензенской области, безопасно в отношении содержания кадмия. На заповедных территориях весь запас токсичных элементов, поступающих с атмосферными выпадениями, задерживается в них. В связи с этим они имеют такие же или даже более высокие показатели содержания кадмия в почве и биологических объектах, чем в лесных массивах, где проводятся рубки.

**Ключевые слова:** кадмий, жизненные формы, лесные экосистемы, заповедные территории, сосудистые растения.

---

© Андреева М. И., Иванов А. И., Смирнов Д. Г., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

## CADMIUM ACCUMULATION BY VASCULAR PLANTS IN FOREST ECOSYSTEMS OF THE VOLGA UPLAND IN PENZA REGION

### **Abstract.**

*Background.* The research of the content of toxic chemical elements in various components in natural ecosystems is one of actual issues of the biosphere ecology. The purpose of the work was to study the background concentrations of cadmium in vascular plants in forest ecosystems of the Volga Upland in Penza region.

*Materials and methods.* The research material was a number of samples of organs and tissues of the most common types of vascular plants of various life forms. They were selected during the period of time from September, 2015 to December, 2019. The samples were analyzed with the use of the MGA-915 MD atomic absorption spectrometer. Statistically calculated in Past 3.

*Results and conclusions.* As a result of measurements, the quantitative content of cadmium in the biomaterial of woody and herbaceous plants has been determined. The processing of the statistical data allowed drawing the following conclusions. Trees accumulate the largest amount of the element in question, while grasses accumulate the smallest. On this indicator, bushes occupy a middle position. The species specificity is manifested in the nature of the cadmium accumulation by vascular plants. The content of the element in the vegetative organs and tissues of woody plants is not uniform. The minimum values were determined for the roots and the wood tissue of the trunk, the average values were determined for leaves, and the maximum values were determined for bark. The medicinal and edible vegetable raw materials, procurement of which is possible in the researched forest communities of Penza region, are safe with respect to the cadmium content. In protected areas, the entire supply of toxic elements coming from atmospheric precipitation is held therein. In this regard, they have the same – or even higher – rates of cadmium content in the soil and the biological objects than in the forest areas where fellings take place.

**Keywords:** cadmium, forest ecosystems, life forms, protected areas, vascular plants.

### **Введение**

Изучение содержания химических элементов в различных компонентах природных экосистем является одной из важнейших проблем биосферной экологии. Особенно актуальны подобные исследования в плане тяжелых металлов, обладающих сильной токсичностью, в частности, кадмия. Закономерности его депонирования в тканях растений, количественная оценка сезонной динамики содержания в растительных организмах, а также влияние эксплуатации лесных ресурсов на количественные показатели накопления кадмия в лесных экосистемах являются важнейшими этапами познания биогеохимического цикла рассматриваемого металла.

Целью работы было изучение фонового содержания кадмия в сосудистых растениях в условиях лесных экосистем Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1) изучить содержание кадмия в органах наиболее распространенных в районе исследований сосудистых растений различных жизненных форм;

2) исследовать характер накопления кадмия пищевыми и лекарственными растениями и дать экологическую оценку качества заготавливаемого сырья;

3) дать количественную оценку влияния эксплуатации лесов на динамику содержания кадмия в лесных экосистемах.

### Материалы и методы

Объектами исследований являлись сосудистые растения лесных экосистем Пензенской области. Содержание кадмия определялось в биоматериале наиболее распространенных в районе исследований видов деревьев: *Betula pendula* Roth, *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill.; кустарников: *Corylus avellana* L., *Euonymus verrucosus* L., *Lonicera xylosteum* L. и многолетних трав: *Aegopodium podagraria* L., *Anemone ranunculoides* L., *Stellaria holostea* L., *Carex pilosa* Scop. Кроме того, характер накопления рассматриваемого элемента изучался в плодах дикорастущих пищевых растений *Fragaria vesca* L., *Rubus idaeus* L., *Vaccinium myrtillus* L., и лекарственном сырье: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (соплодия), *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (соцветия), *Rosa canina* L. (плоды), *Origanum vulgare* L. (соцветия), *Vaccinium myrtillus* L. (листья).

Исследования проводились с сентября 2015 г. по декабрь 2019 г. В качестве района исследований была выбрана восточная часть Пензенской области, на территории которой представлен весь спектр разновидностей серых лесных почв и сосредоточено максимальное биологическое разнообразие, свойственное лесным экосистемам Приволжской возвышенности (рис. 1).

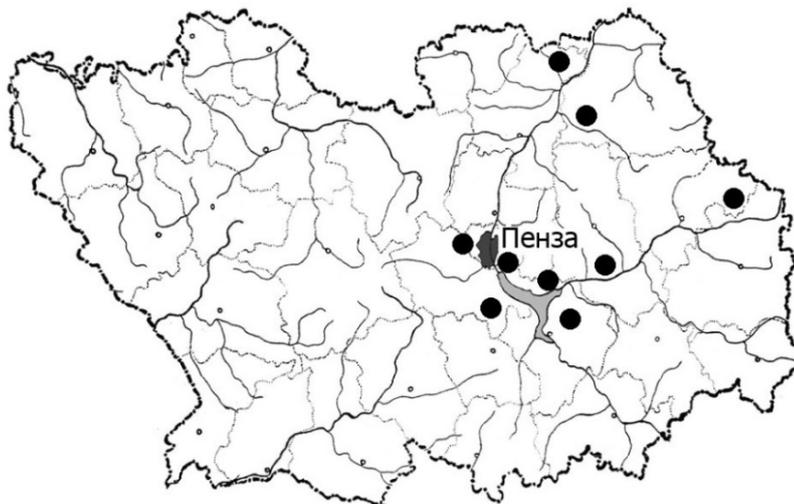


Рис. 1. Места отбора проб почвы и биоматериала в разных районах Пензенской области

Климат района исследований – умеренно-континентальный с периодически повторяющимися засухами. Средняя температура июля составляет 19–19,5 °С, января – –12,5–13 °С. Количество осадков в разных районах области составляет от 300 до 650 мм в год. Рельеф на большей части террито-

рии равнинный, с сильным эрозионным расчленением. В почвенном покрове преобладают серые лесные почвы и выщелоченные черноземы. Материнские породы, подстилающие их, представлены песками, опоками, бескарбонатными и карбонатными глинами. Среднее содержание кадмия для изученных в ходе исследований почв составляет 153,0 мкг/кг [1]. Оно оказывается в 3,3 раза ниже, чем в почвах мира; 2,8 раза – чем в западных районах европейской части России [2–4]. Не высокий естественный фон содержания кадмия в почвах и подстилающих их породах следует считать особенностью геохимии района исследований.

Растительность имеет типичный лесостепной облик. Леса представлены островными массивами различных размеров, которые окружены сельскохозяйственными угодьями. На светло-серых лесных почвах, подстилаемых опоками и песками, формируются различные типы сосновых лесов: сложные сосняки, сосняки зеленомошные, лишайниковые и черничные. На темно-серых лесных почвах, подстилаемых бескарбонатными и карбонатными глинами, а также в долинах рек распространены широколиственные леса. На их месте после вырубок как вторичные типы леса формировались березовые и осиновые леса [5].

Отбор проб почв осуществлялся по ГОСТ 17.4.3.01–83. Пробы биоматериала растений отбирались в соответствии с Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [6].

Анализ образцов почв и биоматериала выполняли на атомно-адсорбционном спектрометре МГА-915 МД. Лабораторные исследования осуществляли на базе научно-исследовательской лаборатории филиала ФБУ «Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия при Министерстве промышленности и торговли РФ (войсковая часть 70855) – 1206 объект по хранению и уничтожению химического оружия (войсковая часть 21222)».

Для сравнительной оценки данных по накоплению кадмия в биологических объектах и их субстратах проводили вычисления среднеарифметических значений ( $M$ ), их стандартной ошибки ( $SE$ ) и стандартного отклонения, или дисперсии ( $SD$ ). Для выявления особенностей накопления кадмия в пределах жизненных форм сосудистых растений выборки разных видов объединяли по их принадлежности к соответствующей группе. Поскольку числовые данные всех исходных выборок были различны, а вновь образующиеся выборочные совокупности оказались неоднородными, то при их описании использовали значения медианы ( $Me$ ), процентиля (25,75 %) и показатели  $Min$ – $Max$ .

Для установления уровня сходства между разными типами почв применяли иерархический кластерный анализ с использованием алгоритма невзвешенного попарного сравнения на основе арифметического среднего (UPGMA) и дистанции Эвклида. В качестве меры репрезентативности, показывающей насколько точно дендрограмма сохраняет попарные расстояния между исходными немоделированными точками данных, рассчитывали копенетическую корреляцию ( $Rcoph$ ).

План исследований авторов включал сравнение большого числа групп, поэтому был использован однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Исходя из того, что данный анализ позволяет проверить лишь гипотезу о ра-

венстве всех сравниваемых средних, то для дальнейшего выяснения, где именно лежат различия, т.е. какие именно группы отличаются друг от друга, авторами производился анализ множественного сравнения при использовании параметрического критерия Тьюки (HSD) и непараметрического критерия Краскела – Уоллиса (KW-H). Для возможности применения критерия Тьюки проводили проверку данных на однородность групповых дисперсий с помощью индекса Левинса. Критерий Тьюки считался применимым, если групповые дисперсии были однородны ( $p > 0,05$ ).

Во всех случаях уровень различий считали значимым при пороге  $p \leq 0,05$ . Все расчеты осуществляли в программе Microsoft Excel и с помощью статистического пакета Past 3 [7]

### Результаты и обсуждение

В ходе исследований авторами изучалось содержание кадмия в вегетативных и репродуктивных органах растений различных жизненных форм: деревьев, кустарников и многолетних трав. В результате измерений было установлено, что наиболее активно кадмий накапливают деревья, наименее – травы. Кустарники по этому показателю занимают среднее положение. При этом деревьям свойствен наибольший диапазон изменчивости медианных показателей (рис. 2).

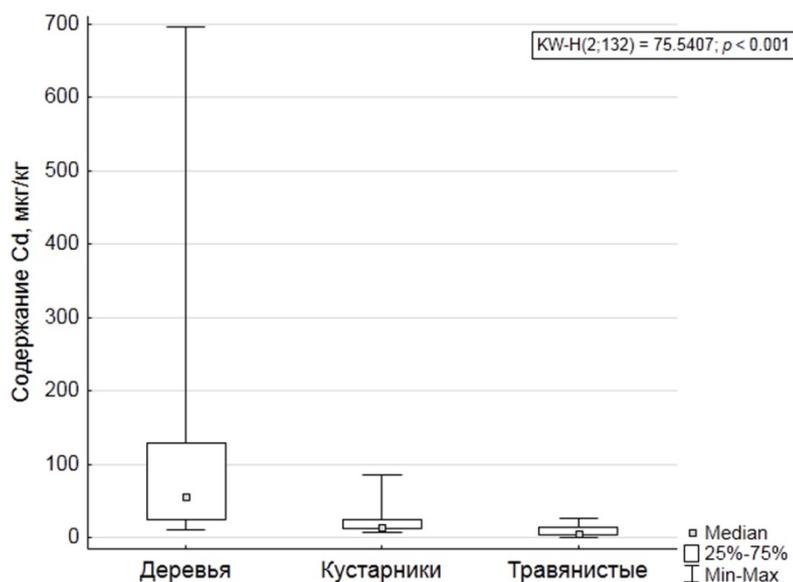


Рис. 2. Содержание кадмия в вегетативных органах сосудистых растений различных жизненных форм и тест Краскела – Уоллиса на различие между значениями медиан

Содержание кадмия в вегетативных органах растений характеризуется видовой специфичностью. Согласно проведенному анализу сравнения, выявленные различия значений содержания кадмия в вегетативных органах разных видов оказались статистически значимыми. По содержанию рассматриваемого элемента в вегетативных органах древесные растения распределились в следующей последовательности: *Betula pendula* – 118,4 мкг/кг, *Pinus sylvestris* – 0,112 мкг/кг, *Tilia cordata* – 0,92 мкг/кг, *Quercus robur* –

74,2 мкг/кг. На способность *B. pendula* накапливать кадмий в наибольших количествах, по сравнению с другими деревьями, указывают и другие исследователи [8].

Наиболее ясную картину сходства и различий между разными видами деревьев и кустарников дает кластерный анализ, который позволяет оценить выборки по целому ряду переменных. Кустарники характеризуются самым малым содержанием рассматриваемого элемента, которое выражается близкими значениями для исследованных видов, в связи с чем на дендрограмме они образуют обособленную группу. Среди деревьев наибольшее сходство демонстрируют *T. cordata* и *P. sylvestris*. У *Q. robur* в коре содержание кадмия не намного больше, чем у кустарников, поэтому он образует с ними сестринскую ветвь. Обособленную от всех остальных видов ветвь, с максимальным отличием в содержании рассматриваемого элемента, формирует *B. pendula*.

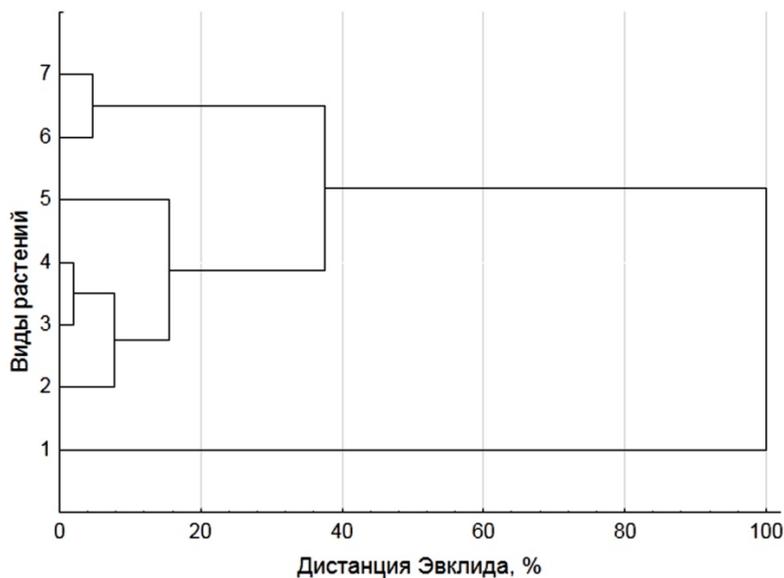


Рис. 3. Дендрограмма сходства видов древесных растений по содержанию кадмия в их вегетативных органах: 1 – *Betula pendula*; 2 – *Corylus avellana*; 3 – *Euonymus verrucosus*; 4 – *Lonicera xylosteum*; 5 – *Quercus robur*; 6 – *Tilia cordata*; 7 – *Pinus sylvestris*. ( $R_{coph} = 0,96$ )

Как показали результаты измерений, содержание кадмия в различных тканях и органах древесных растений не одинаково. Для всех изученных видов наблюдается одна и та же закономерность. Минимальное содержание кадмия наблюдается в корнях и древесине ствола, среднее – в листьях, максимальное – в коре (рис. 4). Полученные данные в основном совпадают с результатами, опубликованными другими исследователями [8, 9]. Однако рядом авторов показано, что в корнях содержится кадмия больше, чем в надземных частях растений [10]. Такое распределение концентраций кадмия проявляется при его высоком фоновом содержании в почве и подстилающих их породах. В районе же исследований, как было показано выше, почвы бедны рассматриваемым элементом.

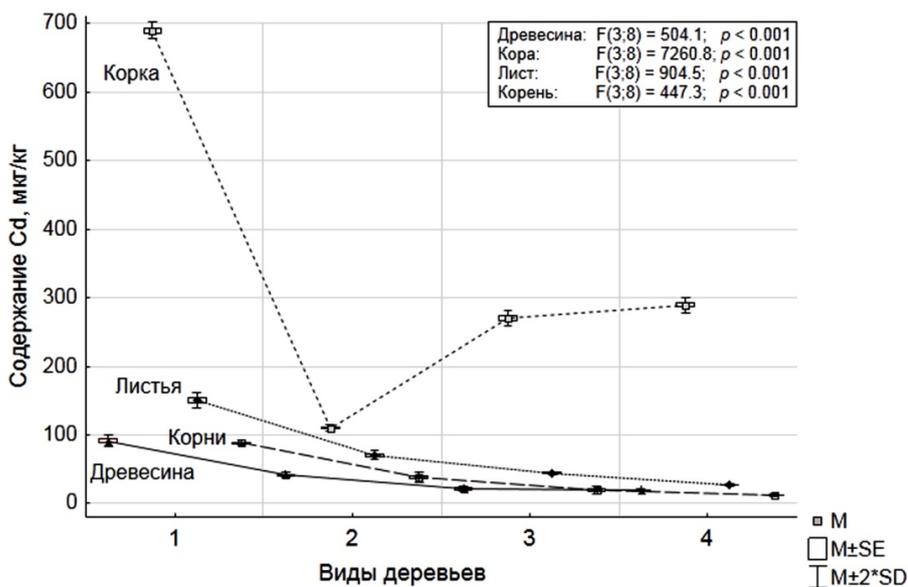


Рис. 4. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания кадмия в органах и тканях деревьев: 1 – *Betula pendula*; 2 – *Quercus robur*; 3 – *Pinus sylvestris*; 4 – *Tilia cordata* и результаты дисперсионного анализа

Согласно многочисленным литературным данным, кадмий попадает в атмосферный воздух в виде аэрозолей в результате антропогенного загрязнения [11, 12]. Поэтому максимальное содержание рассматриваемого элемента в коре может быть объяснено тем, что рассматриваемый элемент попадает на ее поверхность с дождем и снегом и, соответственно, поглощается комплексом образующих ее мертвых тканей в течение всего года, исключая период устойчивых морозов, на протяжении жизни дерева.

Повышенное содержание кадмия в листьях, по сравнению с древесиной, нельзя связывать с вышеуказанным фактором, так как листья контактируют с атмосферным воздухом лишь в короткий период вегетации. Кроме того, благодаря гидрофобным свойствам кутикулы, покрывающей их верхнюю сторону, большая часть выпадающей на их поверхность атмосферной влаги не впитывается, а скатывается на поверхность почвы. Поэтому накопление кадмия в листьях, вероятно, связано с физиологическими процессами, благодаря которым в период листопада древесные растения освобождаются от вторичных метаболитов и токсичных соединений [8, 13].

Содержание кадмия в листьях подвержено сезонной динамике. В результате специальных исследований в 2018 г. авторами проводился отбор проб листьев с одних и тех же деревьев *B. pendula*, с момента их распускания в третьей декаде апреля до начала листопада в сентябре (рис. 5). Как показали результаты измерений, содержание рассматриваемого элемента с апреля по сентябрь выросло в 172 раза. При этом наиболее активное накопление кадмия в листьях началось в августе, когда прекратился рост побегов и деревья начали готовиться к листопаду.

Сезонная динамика содержания кадмия в листьях изучалась также у *Q. robur* и *T. cordata*. Были отобраны и проанализированы пробы листья

этих деревьев в третьей декаде апреля и в начале сентября. Для них также были отмечены существенные различия в содержании кадмия в начале и конце вегетационного периода. Однако они были гораздо меньшими, чем у *B. pendula*. Содержание рассматриваемого элемента в листьях *T. cordata* в сентябре было выше, чем в апреле в 19 раз, а у *Q. robur* – в 10 раз.

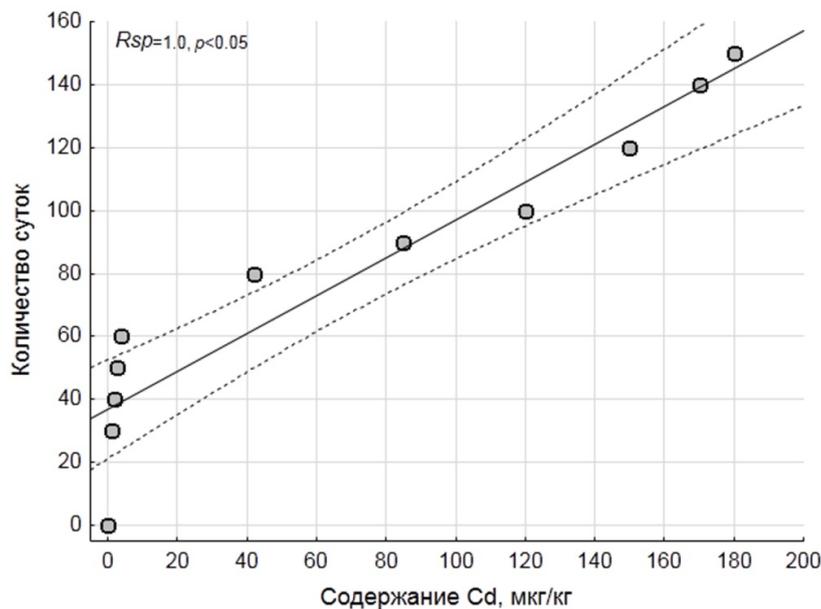


Рис. 5. Результаты корреляционного анализа по зависимости распределения содержания кадмия в листьях *Betula pendula* от продолжительности вегетации (количество суток). Сплошная линия – тренд регрессии, пунктирные линии – 95 % доверительный интервал

Таким образом, содержание кадмия в листьях тесно связано со сроками отбора проб. Этим во многом объясняется противоречивость литературных данных в отношении соотношения концентраций кадмия в различных органах растений.

Как показали результаты измерений, содержание кадмия в репродуктивных органах древесных растений оказывается в 32 раза меньше, чем в вегетативных органах (см. рис. 4, 6). Минимальные концентрации зафиксированы в цветках, где происходит формирование половых клеток. Вероятно, это связано с тем, что кадмий является супертоксикантом, оказывающим влияние и на сперматогенез [14, 15]. Поэтому у растений выработался защитный механизм против поступления его в репродуктивные органы. Биологические барьеры у растений препятствуют миграции кадмия из корней к цветкам [16].

Как показали результаты измерений, среднее содержание кадмия в плодах в 2,9 раза выше, чем в цветках, однако, по сравнению с вегетативными органами, оно также значительно ниже. Описанная закономерность характерна для всех изученных древесных пород.

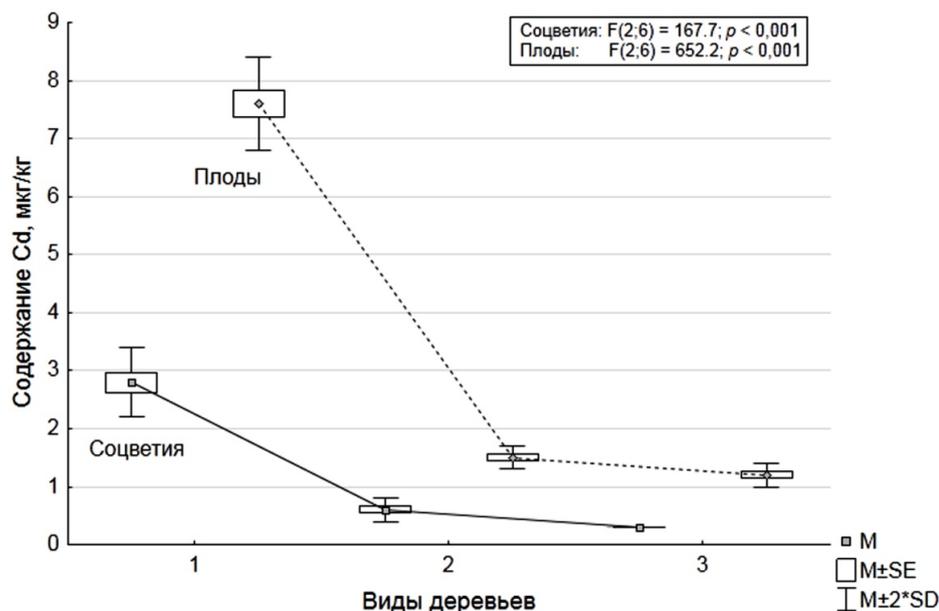


Рис. 6. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания кадмия в репродуктивных органах деревьев: 1 – *Betula pendula*; 2 – *Quercus robur*; 3 – *Tilia cordata* и результаты дисперсионного анализа

Различные виды деревьев накапливают кадмий в репродуктивных органах не одинаково (см. рис. 6). Интенсивность его биологической аккумуляции в цветках и плодах коррелирует с таковой в вегетативных органах. Максимальные концентрации рассматриваемого элемента, как в вегетативных, так и в репродуктивных органах были определены *B. pendula*, минимальные – для *T. cordata*.

В ходе проведенных исследований авторами определялось содержание кадмия в вегетативных и репродуктивных органах видов кустарников, наиболее распространенных в районе исследований. Как показали результаты измерений, среднее содержание рассматриваемого элемента в вегетативных органах этих растений составляло 21 мкг/кг. Оно было в 3,5 раза ниже, чем у деревьев.

В распределении концентраций кадмия в вегетативных органах и тканях кустарников наблюдались те же закономерности, что и у деревьев. Максимальные концентрации были зафиксированы в коре, минимальные – в корневых системах.

Разные виды кустарников накапливают рассматриваемый элемент не одинаково, хотя его концентрация в их вегетативных органах выражается близкими значениями (рис. 7). Наибольшая концентрация была определена для *S. avellana* (38 мкг/кг). У *E. verrucosus* (20 мкг/кг) и *L. xylosteum* (24 мкг/кг) и она была несколько ниже.

Содержание кадмия в репродуктивных органах кустарников было в 47 раз ниже, чем в вегетативных (рис. 8), т.е. у представителей этой жизненной формы наблюдалась та же закономерность, что и у деревьев.

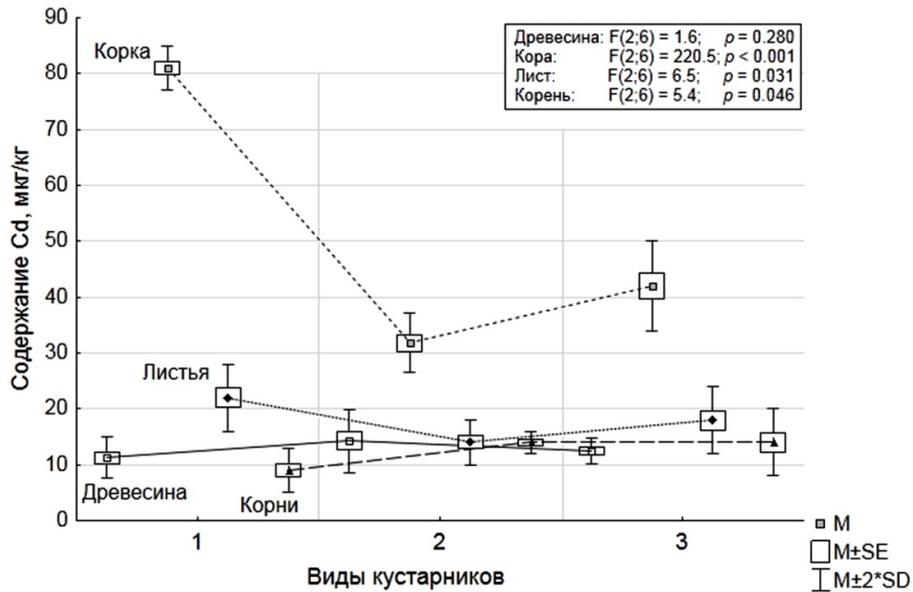


Рис. 7. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания кадмия в органах и тканях кустарников: 1 – *Corylus avellana*; 2 – *Euonymus verrucosus*; 3 – *Lonicera xylosteum* и результаты дисперсионного анализа

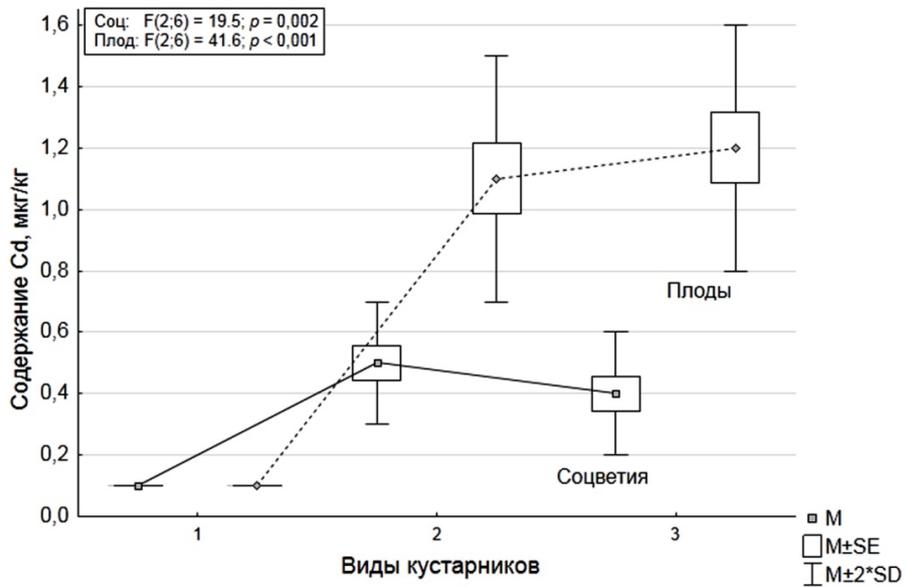


Рис. 8. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания кадмия в репродуктивных органах кустарников: 1 – *Corylus avellana*; 2 – *Euonymus verrucosus*; 3 – *Lonicera xylosteum* и результаты дисперсионного анализа

В ходе исследований авторами изучались закономерности накопления кадмия наиболее распространенными видами травянистых растений, растущих под пологом леса – *Aegopodium podagraria*, *Anemone ranunculoides*, *Carex pilosa*, *Stellaria holostea*. Среднее содержание рассматриваемого элемента

в вегетативных органах изученных видов трав составило 7,1 мкг/кг, что в 8,3 раза ниже, чем у деревьев, и в 2,5 раза ниже, чем у кустарников.

Различные виды накапливают рассматриваемый элемент в разных концентрациях. Наименьшие значения были определены для *A. ranunculoides*, средние – для *A. podagraria*, а максимальные – для *C. pilosa* и *S. holostea*. Максимальный показатель превышал минимальный в 3,2 раза.

Степень накопления Cd в вегетативных органах трав сопряжена с продолжительностью их вегетации. *A. ranunculoides* относится к экологической группе эфемероидов. Ее надземная часть живет не более трех недель. Листья *A. podagraria* прекращают жизнедеятельность и отмирают ранней осенью. *S. holostea* и *C. pilosa* – длительно вегетирующие растения, надземная часть которых сохраняет жизнеспособность до глубокой осени.

Для изученных видов трав было зафиксировано два типа распределения кадмия. У *A. podagraria* и *S. holostea* его содержание было более высоким в надземных органах. Для *A. ranunculoides* и *C. pilosa* было зафиксировано более высокое содержание рассматриваемого элемента в корневищах. Концентрация кадмия в листьях выражалась меньшими значениями. Вероятно, что характер распределения данного металла, как и интенсивность его биологической аккумуляции, зависит от физиологических особенностей отдельных видов. Это согласуется с опубликованными результатами других исследователей, которые также отмечают оба вида распределения [10, 16].

У травянистых растений так же, как и у древесных, наблюдалось существенное возрастание содержания кадмия в надземных органах в течение вегетационного периода (рис. 9). У *C. pilosa* с апреля до сентября оно выросло в 2,1 раза, а у *A. podagraria* – в 23 раза.

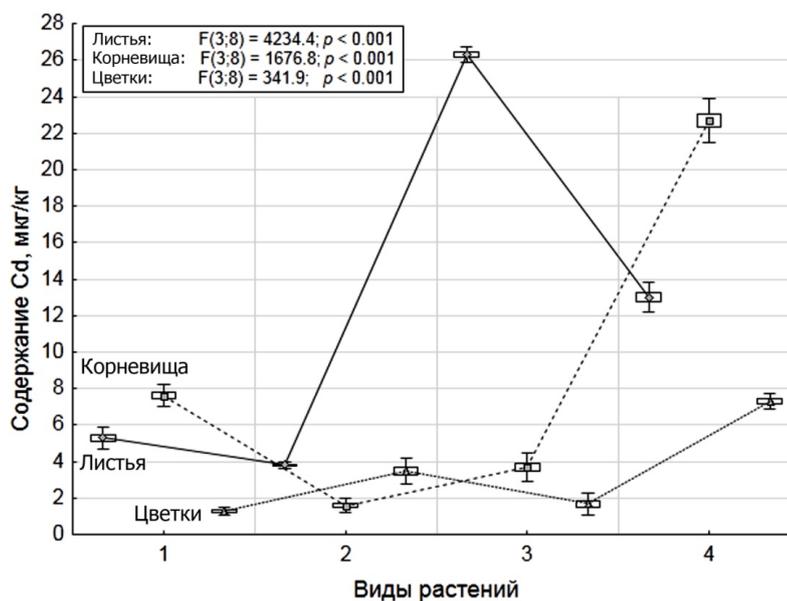


Рис. 9. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания кадмия в вегетативных органах и цветках травянистых растений:

1 – *Aegopodium podagraria*; 2 – *Anemone ranunculoides*; 3 – *Carex pilosa*; 4 – *Stellaria holostea* и результаты дисперсионного анализа

Таким образом, у всех изученных видов растений наблюдалось увеличение содержания кадмия в надземных органах в течение вегетационного периода. Однако интенсивность этого процесса у разных видов была не одинакова. В связи с тем, что образцы изученного биоматериала отбирались в непосредственной близости в одном лесном массиве при одинаковом содержании кадмия в почве, можно заключить, что интенсивность накопления рассматриваемого элемента в течение вегетационного периода зависит в первую очередь от биологических особенностей отдельных видов.

В репродуктивных органах изученных видов трав содержание кадмия выражается меньшими значениями, чем в вегетативных. Однако различия между определенными в ходе измерений значениями оказываются несколько меньшими, чем у деревьев и кустарников (см. рис. 9). Например, в цветках *C. pilosa* концентрация рассматриваемого элемента была ниже в 7,5 раза, а у *A. podagraria* – всего в 3,3 раза. Вероятно, это – общая закономерность, так как на нее указывают и другие авторы [15].

Лекарственные и пищевые растения являются важнейшим элементом недревесной продукции леса. Экспертиза этого сырья предполагает определение в нем содержания кадмия как опасного токсичного элемента. Как показали результаты измерений, пробы биоматериала различных видов растений, отобранных в районе исследований и используемых в качестве пищевого и лекарственного сырья, содержат различное количество изучаемого элемента (рис. 10).

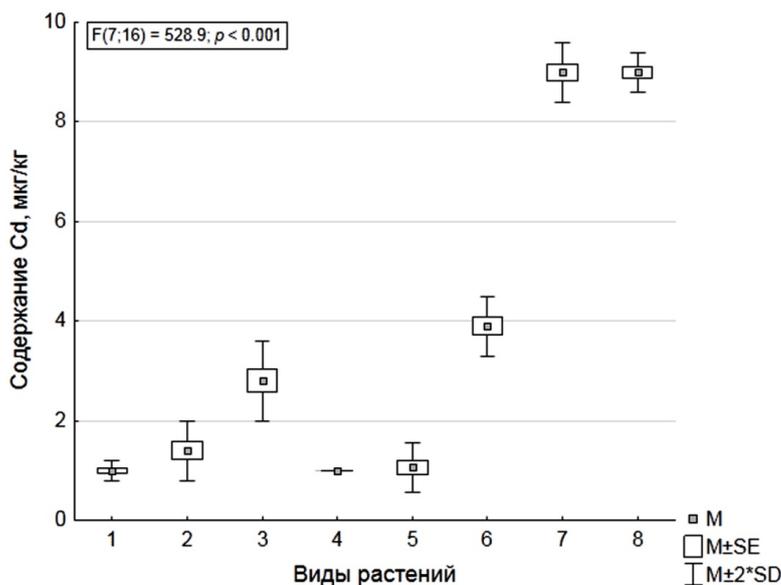


Рис. 10. Диаграмма размаха изменчивости значений содержания кадмия в дикорастущем пищевом и лекарственном сырье: 1 – *Alnus glutinosa* (плоды); 2 – *Fragaria vesca* (плоды); 3 – *Helichrysum arenarium* (соцветия); 4 – *Rosa canina* (плоды); 5 – *Rubus idaeus* (плоды); 6 – *Origanum vulgare* (соцветия); 7 – *Vaccinium myrtillus* (листья); 8 – *Vaccinium myrtillus* (плоды)

Минимальные значения были определены для соплодий *Alnus glutinosa* (1,0 мкг/кг), плодов *Fragaria vesca* (1,4 мкг/кг), *Rosa canina* (1,0 мкг/кг) и

*Rubus idaeus* (1,1 мкг/кг); средние – для соцветий *Helichrysum arenarium* (2,8 мкг/кг), максимальные – для листьев и плодов *Vaccinium myrtillus* (9,0 мкг/кг). Полученные данные сопоставимы с результатами измерений других исследователей [17, 18]. Так, С. Б. Сосорова с соавторами [19] указывают на более высокое содержание кадмия в плодах и листьях *Vaccinium myrtillus*, по сравнению с другими видами лекарственных и пищевых дикоросов.

Несмотря на указанные различия в содержании кадмия в дикорастущем лекарственном сырье, все определенные значения лежали в пределах ПДК (1000 мкг/кг) для БАД на растительной основе [20] и чаев [21], произведенных в России. Эти нормативы авторами использовались в связи с отсутствием регламента по содержанию токсичных элементов в лекарственном растительном сырье.

Некоторые виды, применяемые в качестве лекарственного сырья, используются и как пищевые растения. Это *F. vesca*, *R. idaeus*, *V. myrtillus*. В связи с тем, что они потребляются в значительно большем количестве, чем лекарственные формы и при этом в свежем виде, для них установлены более жесткие ПДК, чем для лекарственного сырья [22]. Как показали результаты измерений, пробы дикорастущих ягод, отобранные на территории района исследований, содержали кадмий в количествах, лежащих далеко за пределами величины ПДК, которая составляет 30 мкг/кг.

Таким образом, лекарственное и пищевое растительное сырье, заготовка которого возможна в изучаемых лесных сообществах Пензенской области, безопасны в отношении содержания кадмия.

Накоплению рассматриваемого элемента сосудистыми растениями в условиях лесных экосистем может быть дана количественная оценка. В связи с тем, что деревья имеют многолетний жизненный цикл, значительная часть накапливаемого ими кадмия депонируется в древесине. При среднем удельном весе 1 м<sup>2</sup> древесины – 500 кг и средней концентрации кадмия в ней – 43 мг/кг, в одном ее кубическом метре будет содержаться 21 150 000 мкг или 0,0000215 кг рассматриваемого элемента. При запасе древесины в лесах Пензенской области 132,84 млн м<sup>2</sup> количество рассматриваемого элемента депонированного в стволах деревьев на территории района исследований составит – 2948 кг.

Средний запас древесины в лесном фонде Пензенской области составляет 206 м<sup>3</sup>/га. Соответственно, на каждом гектаре леса в стволах деревьев оказывается депонировано 4 356 900 мкг кадмия. Эти величины находятся в динамике. Средний прирост древесины в регионе составляет 2,94 млн м<sup>3</sup>, или 3,54 м<sup>3</sup> на 1 га леса. Соответственно, количество кадмия, депонированного в древесине в лесах района исследований, ежегодно увеличивается на 63,21 кг, а на каждом гектаре леса – на 80 500 мкг.

Поглощаемый древесными растениями из окружающей среды кадмий лишь частично депонируется в древесине. Та его часть, которая содержится в листьях, ежегодно в виде листового опада поступает в почву. Для лесов района исследований она достигает в среднем 305 300 мкг/га, составляя примерно 14 % от количества кадмия, который концентрируется в стволах деревьев на одном гектаре леса.

В древостоях разного видового состава количество кадмия, возвращающегося в почву с листовым опадом, будет не одинаковым (рис. 11). Оно зависит от массы листового опада, образующегося в насаждениях из различных пород и содержания в нем рассматриваемого металла. В ходе исследований было установлено, что наибольшее количество кадмия поступает в почву с листовым опадом в условиях березняков, наименьшее – в условиях сосняков. Дубняки по этому показателю занимают среднее положение.

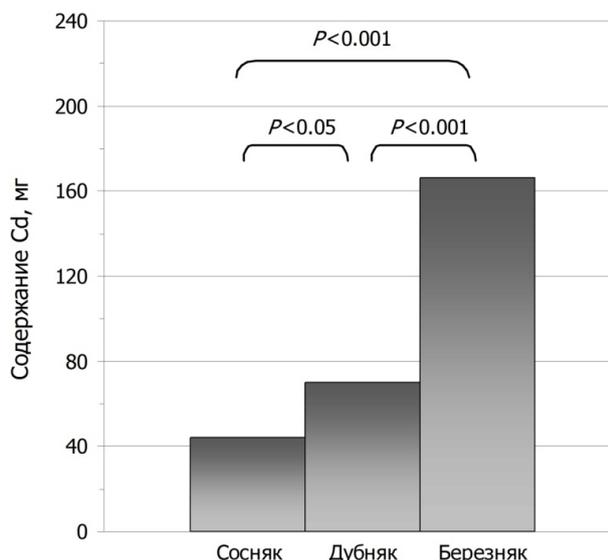


Рис. 11. Содержание кадмия в листовом опаде (на 1000 кг/га) различных древесных пород в насаждениях 60–70-летнего возраста. Над столбцами показаны уровни статистической значимости различий при попарном сравнении

Основные доминанты травяного покрова рассматриваемых экосистем вносят определенный вклад в трансформацию соединений кадмия. Биомасса зеленой массы осоки волосистой и сныти обыкновенной, при достаточно равномерном распределении этих растений под пологом леса, составляет в среднем 980 кг/га, т.е. эти виды ежегодно вовлекают в биогенный круговорот порядка 15 500 мкг кадмия на 1 га, который аккумулируется в их листьях, после отмирания которых вновь возвращается в почву. Это значительно меньше, чем вовлекают деревья. Некоторое количество рассматриваемого элемента депонируется в подземных органах, однако определение их годовых приростов представляет довольно сложную проблему, решение которой не входило в задачи исследования.

Интенсивная эксплуатация лесов оказывает существенное влияние на баланс микроэлементов в лесных экосистемах. На территориях заповедников, где не проводятся даже санитарные рубки, весь кадмий, поступающий с атмосферными выпадениями, депонируется в почве и биомассе живых организмов. Как показали результаты измерений, образцы почвы и грибов, отобранные в пределах участка ГПЗ Приволжская лесостепь, содержали кадмий на уровне средних значений для района исследований. На отсутствие уменьшения содержания тяжелых металлов, по сравнению с фоновыми показате-

лями, в почвах заповедников и территорий со слабой антропогенной нагрузкой, используемых в качестве контроля при изучении содержания тяжелых металлов, имеются указания в работах других исследователей [23, 24].

Для Пензенской области размер расчетной лесосеки при рубке спелых и перестойных насаждений установлен 1 464 300 м<sup>2</sup>, т.е. вынос количества кадмия из лесных экосистем при ее полном выполнении составит 30,8 кг. Это значит, что почти половина кадмия, аккумулированного в древесине в течение вегетационного периода, может удаляться из лесных экосистем.

В том случае, если рубки не проводятся, как на заповедных территориях, весь запас токсичных элементов, поступающих с атмосферными выпадениями, задерживается в них. Этим объясняется тот факт, что почвы и биоматериал на заповедных территориях, используемых в качестве контрольных при проведении исследований, имеют такие же или даже более высокие показатели содержания токсичных элементов, чем на территориях, не входящих в их состав.

### Заключение

В характере накопления кадмия растениями различных жизненных форм имеются статистически достоверные отличия. В наибольшем количестве рассматриваемый элемент накапливают деревья, в наименьшем – травы. Кустарники по этому показателю занимают среднее положение.

В характере накопления кадмия сосудистыми растениями проявляется видовая специфичность. Наиболее высокие концентрации рассматриваемого элемента в вегетативных органах были определены для деревьев у *Betula pendula*, для кустарников у *Corylus avellana*, для трав у *Carex pilosa*.

Содержание кадмия в вегетативных органах и тканях древесных растений не одинаково. Минимальное содержание Cd наблюдается в корнях и древесине ствола, среднее – в листьях, максимальное – в корке.

Для изученных видов трав было зафиксировано два типа распределения кадмия. У *Aegopodium podagraria* и *Stellaria holostea* его содержание было более высоким в надземных органах, а у *Anemone ranunculoides* и *Carex pilosa* – в корневищах.

Лекарственное и пищевое растительное сырье, заготовка которого возможна в изучаемых лесных сообществах Пензенской области, безопасны в отношении содержания кадмия.

На заповедных территориях весь запас токсичных элементов, поступающих с атмосферными выпадениями, задерживается в них. В связи с этим они имеют такие же или даже более высокие показатели содержания кадмия в почве и биологических объектах, чем в лесных массивах, где проводятся рубки ухода и главного пользования.

### Библиографический список

1. Андреева, М. И. Мониторинг содержания кадмия в лесных экосистемах Приволжской возвышенности / М. И. Андреева, И. А. Иванов, А. Г. Горохова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – Вып. 27, № 5. – С. 15–20.
2. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – Москва : Изд-во АН СССР, 1950. – 279 с.

3. **Лукин, С. В.** Микроэлементы в почвах Белгородской области / С. В. Лукин, П. М. Авраменко // Земледелие. – 2008. – № 7. – С. 21, 22.
4. **Пильгук, О. Н.** Экологическая оценка состояния кадмия в системе почва-растение в условиях Семипалатинского Прииртышья : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Пильгук О. Н. – Семипалатинск : Новосибирский гос. ун-т, 2005. – 21 с.
5. **Иванов, А. И.** Природные условия Пензенской области. Современное состояние. Т. 1. Геологическая среда, рельеф, климат, поверхностные воды, почвы, растительный покров : монография / А. И. Иванов, Н. В. Чернышов, Е. Н. Кузин. – Пенза : РИО ПГАУ, 2017. – 236 с.
6. МУК 4.1.1501–03. Методика выполнения измерений массовой доли свинца и кадмия в пищевых продуктах и продовольственном сырье методом электротермической атомно-абсорбционной спектрометрии. – Москва, 2001. – 15 с.
7. **Hammer, O.** PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis / O. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // *Palaeontol electronica*. – 2001. – Vol. 4, № 1. – P. 4–9.
8. **Ветчинникова, Л. В.** Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера / Л. В. Ветчинникова, Т. Ю. Кузнецова, А. Ф. Титов // Труды Карельского научного центра РАН. – 2013. – № 3. – С. 68–73.
9. **Савушкина, И. Г.** Динамика содержания некоторых элементов в почве и фитомассе дуба пушистого / И. Г. Савушкина // *Грунтознатство*. – 2006. – Т. 7, № 3. – С. 28–35.
10. **Ильин, В. Б.** Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В. Б. Ильин, А. И. Сысо. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
11. **Бурцева, Л. В.** Свинец и кадмий в атмосферном воздухе и осадках в фоновых районах Восточно-Европейского региона / Л. В. Бурцева, Е. С. Конькова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2016. – Т. XXVII, № 2. – С. 59–70.
12. **Виноградова, А. А.** Элементный состав приземного атмосферного аэрозоля арктических районов России / А. А. Виноградова, И. П. Малков, А. В. Полисар, Н. Н. Храмов // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. – 1993. – Т. 29, № 2. – С. 164–172.
13. **Крамер, П. Д.** Физиология древесных растений / П. Д. Крамер Т. Т. Козловский. – Москва : Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
14. **Жегалова, И. В.** Кадмий и репродуктивное здоровье мужчин / И. В. Жегалова, З. В. Чумакова, В. В. Юрасов // *Микроэлементы в медицине*. – 2018. – Вып. 19, № 1. – С. 24–34.
15. Association of urinary metal levels with human semen quality: A cross-sectional study in China / Y. Wang, Y. Sun, W. Feng, P. Wang, P. Yang, J. Li, Z. Huang, Y.-J. Chen, C. Liu, L. Sun, J. Yue, L.-J. Gu, Q. Zeng, W.-Q. Lu // *Environment international*. – 2016. – Vol. 91. – P. 51–59.
16. **Еськов, Е. К.** Аккумуляция тяжелых металлов в теле пчел / Е. К. Еськов, Г. С. Ярошевич, М. Д. Еськова // *Пчеловодство*. – 2008. – № 2. – С. 14–16.
17. **Романькова, А. А.** Содержание кадмия и свинца в высших растениях на территории Красненского района Белгородской области / А. А. Романькова, И. В. Балтучкая // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. – 2011. – Вып. 14, № 3 (98). – С. 68–75.
18. **Кашин, В. К.** Микроэлементный состав некоторых лекарственных растений Забайкалья / В. К. Кашин // *Растительные ресурсы*. – 2010. – № 3. – С. 73–85.
19. **Афанасьева, Л. В.** Содержание микроэлементов в растениях *Vaccinium uliginosum* L., произрастающих в Южном Прибайкалье / Л. В. Афанасьева, В. К. Кашин // *Химия растительного сырья*. – 2013. – № 2. – С. 195–200.

20. **Сосорова, С. Б.** Содержание микроэлементов в лекарственных растениях / С. Б. Сосорова, М. Г. Меркушева, Л. Л. Убугунов // Химия растительного сырья. – 2016. – № 2. – С. 53–59.
21. СанПин 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – Москва, 2001.
22. СанПин 2.3.2.560–96. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. – Москва, 1996.
23. **Мыслова, Т. Н.** Накопление тяжелых металлов съедобными грибами Украинского Полесья и риски при употреблении их в пищу / Т. Н. Мыслова, Ю. А. Белявский // Микология и фитопатология. – 2016. – Т. 50, № 4. – С. 241–249.
24. **Попыпанов, Д. В.** Биоаккумуляция тяжелых металлов в условиях урбоэкосистемы : дис. ... канд. биол. наук / Попыпанов Д. В. – Владимир, 2019. – 115 с.

### References

1. Andreeva M. I., Ivanov I. A., Gorokhova A. G. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present]. 2015, iss. 27, no. 5, pp. 15–20. [In Russian]
2. Vinogradov A. P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1950, 279 p. [In Russian]
3. Lukin S. V., Avramenko P. M. *Zemledelie* [Agriculture]. 2008, no. 7, pp. 21, 22. [In Russian]
4. Pil'guk O. N. *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya kadmiya v sisteme pochva-rastenie v usloviyakh Semipalatinskogo Priirtysh'ya: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Environmental assessment of cadmium in the soil-plant system in the conditions of the Semipalatinsk Irtysh: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Semipalatinsk: Novosibirskiy gos. un-t, 2005, 21 p. [In Russian]
5. Ivanov A. I., Chernyshov N. V., Kuzin E. N. *Prirodnye usloviya Penzenskoy oblasti. Sovremennoe sostoyanie. T. 1. Geologicheskaya sreda, rel'ef, klimat, poverkhnostnye vody, pochvy, rastitel'nyy pokrov: monografiya* [Natural conditions of the Penza region. The current state. Volume 1. Geological environment, relief, climate, surface water, soil, vegetation: monograph]. Penza: RIO PGAU, 2017, 236 p. [In Russian]
6. *MUK 4.1.1501–03. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli svintsya i kadmiya v pishchevykh produktakh i prodovol'stvennom syr'e metodom elektrotermicheskoy atomno-absorbtsionnoy spektrometrii* [MUK 4.1.1501–03. The method of measuring the mass fraction of lead and cadmium in food products and food raw materials by electrothermal atomic absorption spectrometry]. Moscow, 2001, 15 p. [In Russian]
7. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. *Palaeontol electronica*. 2001, vol. 4, no. 1, pp. 4–9.
8. Vetchinnikova L. V., Kuznetsova T. Yu., Titov A. F. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2013, no. 3, pp. 68–73. [In Russian]
9. Savushkina I. G. *Gruntoznatstvo* [Pedology]. 2006, vol. 7, no. 3, pp. 28–35. [In Russian]
10. Il'in V. B., Syso A. I. *Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti* [Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001, 229 p. [In Russian]
11. Burtseva L. V., Kon'kova E. S. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Issues of environmental monitoring and modeling of ecosystems]. 2016, vol. XXVII, no. 2, pp. 59–70. [In Russian]
12. Vinogradova A. A., Malkov I. P., Polisar A. V., Khramov N. N. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and the ocean]. 1993, vol. 29, no. 2, pp. 164–172. [In Russian]

13. Kramer P. D., Kozlovskiy T. T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [The physiology of woody plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1983, 464 p. [In Russian]
14. Zhegalova I. V., Chumakova Z. V., Yurasov V. V. *Mikroelementy v meditsine* [Trace elements in medicine]. 2018, iss. 19, no. 1, pp. 24–34. [In Russian]
15. Wang Y., Sun Y., Feng W., Wang P., Yang P., Li J., Huang Z., Chen Y.-J., Liu C., Sun L., Yue J., Gu L.-J., Zeng Q., Lu W.-Q. *Environment international*. 2016, vol. 91, pp. 51–59.
16. Es'kov E. K., Yaroshevich G. S., Es'kova M. D. *Pchelovodstvo* [Bee-keeping]. 2008, no. 2, pp. 14–16. [In Russian]
17. Roman'kova A. A., Baltutskaya I. V. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki* [Proceedings of Belgorod State University. Natural sciences]. 2011, iss. 14, no. 3 (98), pp. 68–75. [In Russian]
18. Kashin V. K. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources]. 2010, no. 3, pp. 73–85. [In Russian]
19. Afanas'eva L. V., Kashin V. K. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials]. 2013, no. 2, pp. 195–200. [In Russian]
20. Sosorova S. B., Merkusheva M. G., Ubugunov L. L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials]. 2016, no. 2, pp. 53–59. [In Russian]
21. SanPin 2.3.2.1078–01. *Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov* [Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products]. Moscow, 2001. [In Russian]
22. SanPin 2.3.2.560–96. *Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti proizvodstvennogo syr'ya i pishchevykh produktov* [Hygienic requirements for the quality and safety of food raw materials and food products]. Moscow, 1996. [In Russian]
23. Myslova T. N., Belyavskiy Yu. A. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 2016, vol. 50, no. 4, pp. 241–249. [In Russian]
24. Попыпанов Д. В. *Bioakkumulyatsiya tyazhelykh metallov v usloviyakh urboekosistemy: dis. kand. biol. nauk* [Bioaccumulation of heavy metals in the urban ecosystem: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Vladimir, 2019, 115 p. [In Russian]

---

***Андреева Маргарита Исааковна***

научный сотрудник, филиал  
Федерального управления  
по безопасному хранению  
и уничтожению химического оружия  
при Министерстве промышленности  
и торговли Российской Федерации  
(войсковая часть 21222) (Россия,  
Пензенская область, Пензенский район,  
в/ч 21222)

E-mail: Mi\_andreeva@bk.ru

***Andreeva Margarita Isaakovna***

Researcher, branch of the Federal Office for  
Safe Storage and Destruction of Chemical  
Weapons under of the Ministry of Industry  
and Trade of the Russian Federation  
(military unit 21222) (m/u 21222,  
Penza district, Penza region, Russia)

***Иванов Александр Иванович***

доктор биологических наук, профессор,  
кафедра селекции, семеноводства  
и биологии растений, Пензенский  
государственный аграрный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: rcgekim@mail.ru

***Ivanov Aleksandr Ivanovich***

Doctor of biological sciences, professor,  
sub-department of selection, seed farming  
and plant biology, Penza State Agrarian  
University (30 Botanicheskaya street,  
Penza, Russia)

**Смирнов Дмитрий Григорьевич**

доктор биологических наук, доцент,  
профессор кафедры зоологии и экологии,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: eptesicus@mai.ru

**Smirnov Dmitriy Grigor'evich**

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

---

**Образец цитирования:**

Андреева, М. И. Накопление кадмия сосудистыми растениями в лесных экосистемах Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области / М. И. Андреева, А. И. Иванов, Д. Г. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 71–89. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-7.

## ИЗМЕНЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЦИЛИОФАУНЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ЛЮТОГИ В ПЕРИОД ПОЯВЛЕНИЯ В НЕЙ СЕНКИ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ

### Аннотация.

**Актуальность и цели.** Впервые исследованы особенности цилиатного сообщества, формирующегося в местах гибели тихоокеанских лососей. Цель работы – изучить изменения трофической и экологической структур сообщества инфузорий горно-равнинных водотоков в период попадания в нее сненки горбуши.

**Материалы и методы.** Материал был собран в 2012 и 2018 гг. в нижнем течении р. Лютоги (южная часть о. Сахалин). В местах гибели производителей горбуши (на мелководных перекатах) пробы отбирались в стеклянные неспециализированные пробоотборники зачерпыванием воды вместе со слоем грунта и остатками (частями скелета) сненки лососей.

**Результаты.** В ходе исследования обнаружено 36 видов инфузорий, относящихся к классам Heterotrichea, Oligomenophorea и Spirotrichea. В пробах доминировали *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Urocentrum turbo*, *Aspidisca turrata*, *Uronema arinum*, *Stentor roeselii*, *Steinia platystoma*, *Frontonia leucas* и *Chilodonella uncinatus*, относящиеся к трофическим группам бактериофагов и эврифагов, а также к перифитонно-бентосной экологической группе. В исследуемый период происходило увеличение сапробности водотока.

**Выводы.** Трофическая и экологическая структуры сообщества цилиат в период появления в водотоке сненки тихоокеанских лососей заметно упрощались. Доминирующие в этот период виды можно считать специфическими для данных условий среды. В речных системах юга Сахалина можно выделить адаптивный комплекс, развивающийся на лососевой сненке. Доминирование в экосистемах горно-равнинных водотоков южной части о. Сахалин девяти вышеперечисленных видов может свидетельствовать о присутствии в них повышенного органического загрязнения. Кроме колебания абиотических факторов, на изменение сообщества цилиат в этих водотоках существенное влияние оказывает сезонное поступление в них естественных загрязнителей.

**Ключевые слова:** цилиофауна, южная часть о. Сахалин, горно-равнинные водотоки, сненка лососевых, трофическая и экологическая структуры, адаптивный комплекс.

А. Г. Панов

## THE CHANGE IN THE TROPHIC AND ECOLOGICAL STRUCTURES OF CILIOFAUNA IN THE LOWER REACH OF THE LYUTOGA RIVER DURING THE APPEARANCE OF THE DEAD PACIFIC SALMON IN IT

### Abstract.

**Background.** For the first time, on the example of the Lyutoga river (the southern part of Sakhalin island), the features of the ciliary community formed in areas where

Pacific salmon die have been studied. The aim of the work is to study changes in the trophic and ecological structure of the community of infusoria of mountain-plain watercourses during the period when the dead pink salmon got into it.

*Materials and methods.* The material was collected in 2012 and 2018 in the lower reaches of the Lyutoga river. In places where salmon producers died (in shoal-shallows), samples were taken into glass non-specialized containers by scooping water together with a layer of soil and the remains (parts of the skeleton) of salmon.

*Results.* During this period 36 species of infusoria belonging to the classes Heterotrichea, Oligomenophorea and Spirotrichea were found. In the samples *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Urocentrum turbo*, *Aspidiscaturrita*, *Uronemamarinum*, *Stentor roeselii*, *Steiniaplatystoma*, *Frontonia leucas* and *Chilodonnellauncinatus*, which belong to the trophic groups of bacteriophages and euryphages, as well as to the periphyton-benthic ecological group were dominated. There was an increase of the saprobity into the watercourse in the study period.

*Conclusions.* The trophic and ecological structures of the ciliary community were significantly simplified. The dominant species during this period can be considered specific to these environmental conditions. In river systems in the South of Sakhalin, it is possible to allocate an adaptive complex that develops on the death of Pacific salmon. The dominance of 9 of the above-mentioned species in the ecosystems of mountain-plain watercourses in the southern part of Sakhalin island may indicate the presence of increased organic pollution in them. In addition to fluctuations in abiotic factors, the change in the ciliate community in these watercourses is significantly affected by the seasonal influx of natural pollutants into them.

**Keywords:** ciliofauna, southern part of Sakhalin island, mountain-plain watercourses, dead salmon, trophic and ecological structures, adaptive complex.

### Введение

Горно-равнинные водотоки южной части о. Сахалин являются местами естественного нереста тихоокеанских лососевых, имеющих важное рыбохозяйственное значение. Ежегодно в них в летне-осенний период происходит резкое увеличение содержания мертвого органического вещества из-за появления снетки тихоокеанских лососей. В результате деятельности детритофагов и сапротрофных организмов оно затем включается в круговорот вещества. Биомассу появляющихся в этот период сапротрофных бактерий регулирует микрозоопланктон, а содержащиеся в клетках бактерий вещества быстро включаются в состав клеток протозойного планктона [1]. Через сообщество микроорганизмов (микробиальную «петлю») в водных экосистемах с повышенными концентрациями органического вещества (а к таковым можно отнести и реки Сахалина в период гибели производителей лососевых) происходит значительная передача органического углерода на более высокие трофические уровни. Во время интенсивной переработки органических остатков (в период появления лососевой снетки) в реках острова от деятельности микрозоопланктона (в том числе и от Ciliata) зависят характер и интенсивность биологического круговорота веществ в экосистеме водотока, качество поверхностных вод.

Из случайно сформированных на начальном этапе комбинаций различных видов простейших, согласно Бурковскому [2], в ходе развития останутся только те из них, которые наилучшим образом удовлетворяют конкретным условиям. Впоследствии они формируют устойчивые сообщества микроорганизмов.

Исследование участка цилиофауны в разложении сненки тихоокеанских лососей впервые было начато авторами в 2012 г. [3]. В данной работе авторы проанализировали изменения трофической и экологической структуры сообщества инфузорий р. Лютога в период попадания в нее сненки тихоокеанских лососевых рыб (горбуши) после ее нереста.

### Материалы и методы

Река Лютога (130 км) расположена в южной части о. Сахалин и является наиболее крупной из нерестовых рек для тихоокеанских лососевых рыб в этой части острова. Ширина русла в местах отбора проб (песчано-галечные пляжи, район с. Петропавловское Анивского района (рис. 1), нижнее течение реки) достигает 50–60 м, берега реки покрыты мелколиственными лесами, с примесью хвойных пород. Скорость течения в местах взятия проб составляла 0,6–1,2 м/с, температура воды в период исследования – 7–14 °С, жесткость – 1,37–1,64 мг · экв/л; кислотность (рН) – 7,0–7,2.

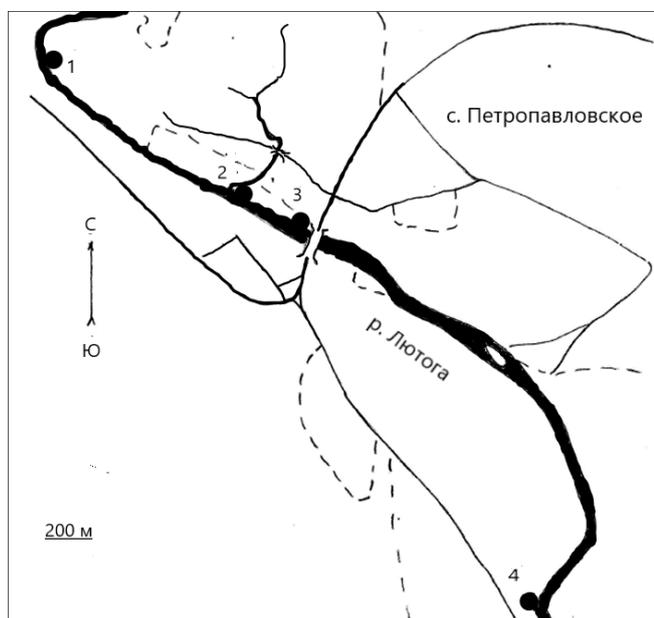


Рис. 1. Карта-схема района исследования на р. Лютоге с точками взятия проб

Исследования проводили в конце летнего периода (28.08. – 03.09.2012 и 17.08. – 31.08.2018). Пробы отбирали в течение 1–2 недель один раз в два дня методом рандомизированного отбора в четырех точках (см. рис. 1); расстояние между точками отбора составляло 400–2000 м. В качестве пробоотборников использовали стеклянные широкогорлые сосуды объемом 400–500 мл. Отбор проб осуществляли простым зачерпыванием воды вместе со слоем грунта – песка или мелкого гравия (около 1/100 от общего объема сосуда). Пробы также содержали остатки (части скелета) сненки лососей (около 1/100 от общего объема пробоотборника). В течение 1–2 ч после взятия их исследовали под микроскопом, повторное исследование проводили примерно че-

рез 16–20 ч на следующий день. За весь период исследования было взято 30 проб. Часть проб ( $n = 4$ ) после предварительного исследования была оставлена для изучения сукцессии на данной питательной среде, которое продолжалось в течение трех месяцев.

Цилиат изучали с помощью микроскопов “Motic BA 300” (Motic, Китай) и “Levenhuk D2L” (Levenhuk, Россия). Видовое определение приводилось по описаниям, содержащимся в литературе [4–13]. Выявление принадлежности видов к определенным экологическим и трофическим группам осуществляли по сводкам [10–12]. Сапробность организмов определяли, основываясь на таблицах Сладечека, модифицированных Фойснером [14]. Индекс сапробности ( $S$ ) вычисляли по формуле Пантле – Букка:

$$S = \sum s h / \sum h,$$

где  $s$  – индикаторная значимость вида,  $h$  – относительное количество особей вида.

### Результаты и обсуждение

В период появления в воде сненки лососевых в сообществе инфузорий происходили качественные изменения, проявляющиеся в упрощении их трофической и экологической структуры. Общее число видов, выявленных как в ходе взятия проб из водотока в период образования сненки лососевых, так и в ходе сукцессии на данной питательной среде, составило 36 (26,5 % от общего числа видов, обнаруженных в южной части о. Сахалин и 50 % от числа видов, выявленных в данном водотоке).

Изменения трофической структуры сообщества цилиат в р. Лютоге при появлении в ней сненки лососевых рыб отражены на рис. 2 и 3.

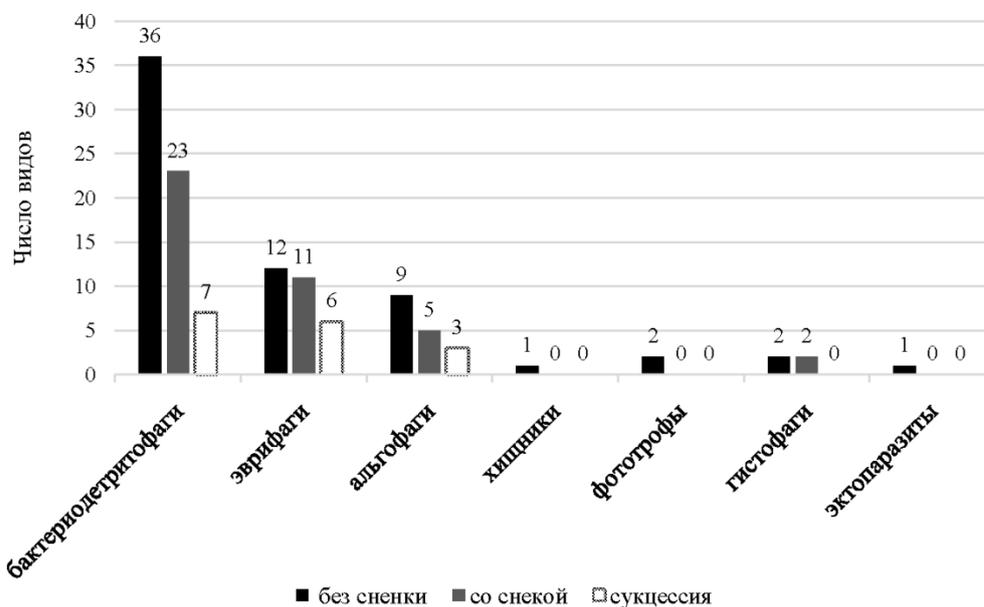


Рис. 2. Изменение числа видов в различных трофических группах инфузорий (трофический статус видов) в р. Лютоге в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

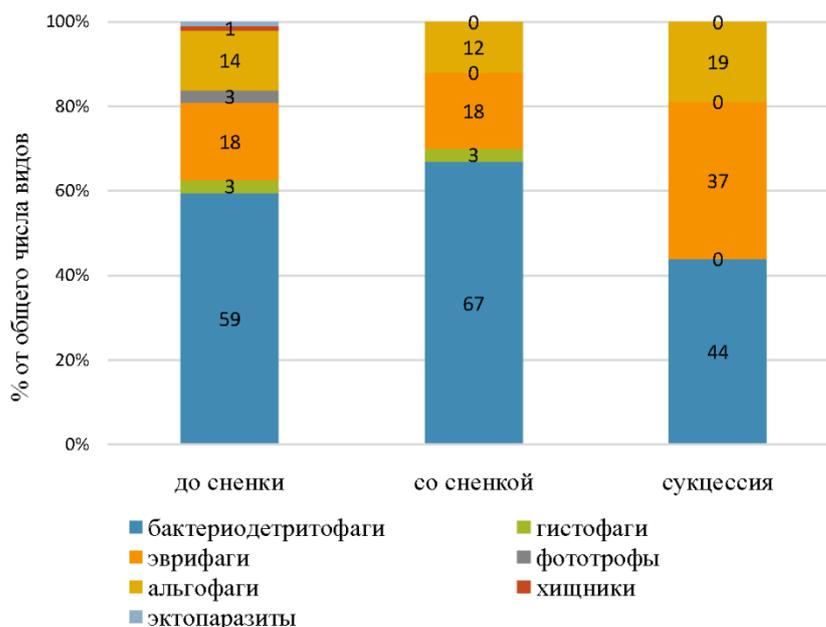


Рис. 3. Изменения в трофической структуре сообщества инфузорий р. Лютоги в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

При появлении в водотоке сненки тихоокеанских лососей в сообществе инфузорий полностью исчезли (и до этого момента немногочисленные) представители фототрофов, хищников и случайные даже в другие периоды представители группы эктопаразитов. При этом существенно увеличивалась (при общем уменьшении числа видов в два раза) относительная доля инфузорий, относящихся к группе бактериодетритофагов, а в дальнейшем, в ходе сукцессии, и доля неселективных всеядных инфузорий (эврифагов). Очевидно, что появляющиеся в массу в этот период сапротрофные бактерии и являются основным механизмом изменения структуры сообщества цилиат. В дальнейшем, в ходе сукцессии на этой питательной среде, исчезали представители группы гистофагов, а относительная доля группы бактериодетритофагов резко уменьшалась. При этом резко возрастала относительная доля инфузорий, относящихся к группе эврифагов.

Изменения экологической структуры сообщества цилиат по жизненным формам в период появления в водотоке сненки тихоокеанских лососей в р. Лютоге отражены на рис. 4 и 5.

Виды активно передвигающихся бентосных и перифитонных форм инфузорий в пробах р. Лютоги в этот период занимали лидирующее положение как в сравнении со всеми группами простейших, так и с мелкими водными многоклеточными животными. Значительно уменьшалось число видов группы планктона, полностью исчезали немногочисленные представители группы эпибионтов. В дальнейшем, в ходе сукцессии на данной питательной среде, происходило уменьшение числа видов группы бентоса в пользу видов групп перифитона и планктона (на что, возможно, могла повлиять нехватка кислорода – пробы принудительно не обогащались воздухом).

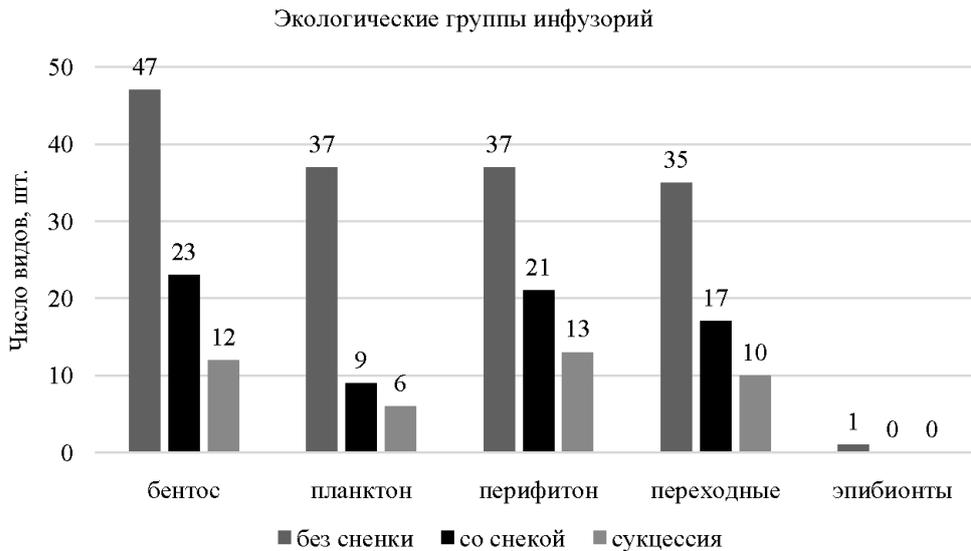


Рис. 4. Число видов в различных экологических группах (жизненные формы) инфузорий в структуре сообщества цилиат р. Лютоги в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

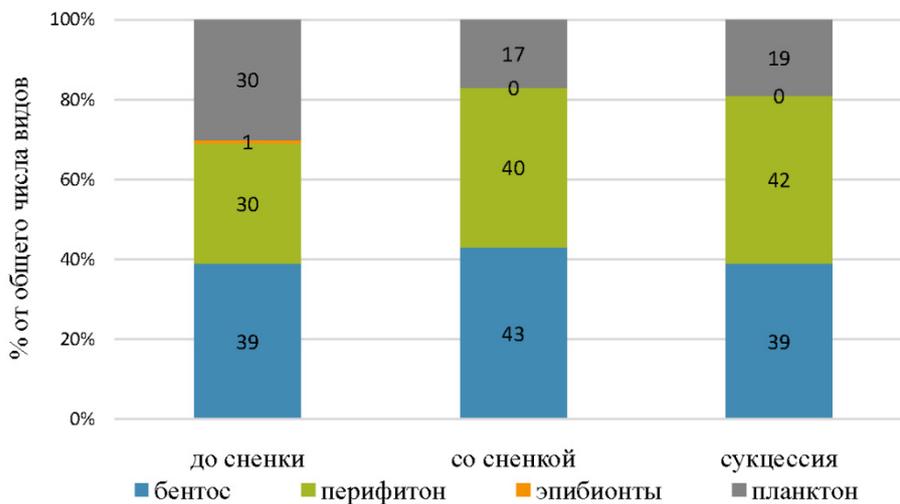


Рис. 5. Изменения экологической структуры (жизненные формы) сообщества инфузорий р. Лютоги в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

В сообществе водотока в исследуемый период доминировали перифитонно-бентосные виды – *Spirostomum ambigium* (около 140–200 экз./мл), *Paramecium caudatum* (до 300 экз./мл), *Urocentrum turbo* (до 600 экз./мл), *Aspidis caturrita* (до 800 экз./мл), *Uronemam arinum* (до 1000 экз./мл); немного реже встречались *Stentor roeselii*, *Steinia platystoma*, *Frontonia leucas* и *Chilodonella uncinatus*, формируя сапробный адаптивный комплекс цилиат. Эти девять видов цилиат, возможно, являются специфическими для условий среды, связанных с появлением лососевой сненки.

Таким образом, к особенностям адаптивного комплекса цилиофауны, развивавшейся на лососевой снетке, можно отнести:

1) господствующее положение перифитонно-бентосных видов, относящихся к классам Heterotrichea, Oligomenophorea и Spirotrichea;

2) среду из лососевой снетки предпочитали более крупноразмерные виды инфузорий – *Paraurostyla weissei complex* Stein, 1859, *Oxytricha fallax* Stein, 1859 и *Urostyla grandis* Ehrenberg, 1830.

Формирующийся в период появления лососевой снетки комплекс цилиат отражает также изменение индекса сапробности (*S*) водотока. До появления снетки этот индекс составлял 1,32, в период же ее появления – 2,27, т.е. отмечалось увеличение соответствующего индекса почти в 2 раза.

### Заключение

При попадании в водоток снетки тихоокеанских лососей наблюдаются значительные изменения в трофической и экологической структуре сообщества инфузорий. В речных системах юга Сахалина выделяется специфический адаптивный комплекс цилиат, развивающийся на лососевой снетке. Основу этого комплекса составляют перифитонно-бентосные виды инфузорий – *Sp. ambigium*, *P. caudatum*, *U. turbo*, *U. marinum*, *St. platystoma*, *A. turrita*, *St. roeselii*, *F. Leucas* и *Ch. uncinatus*.

Среди факторов, влияющих на сезонную динамику изменения видового разнообразия цилиат, ряд исследователей [11, 15–19] выделяют специфику сезонных явлений, различный характер биотических взаимоотношений внутри экосистемы, концентрацию кислорода в воде, гидрологический режим водных объектов и др. По данным Шубернецкого [20], существенное воздействие на качественное и количественное развитие цилиофауны оказывают колебания абиотических факторов среды. Согласно проведенному исследованию, кроме колебания абиотических факторов, в горно-равнинных водотоках южной части о. Сахалин на развитие цилиофауны также существенное влияние оказывает сезонное поступление в водоток естественных загрязнителей – снетки лососевых рыб.

### Библиографический список

1. Концепция микробиальной трофической сети // Информационная система «Динамические модели в биологии». – URL: <http://www.dmb.biophys.msu.ru/registry?article=9812>
2. **Бурковский, И. В.** Экология свободноживущих инфузорий / И. В. Бурковский. – Москва : Изд-во МГУ, 1984. – 208 с.
3. **Никитина, Л. И.** Экологические особенности инфузорий в детритной цепи питания р. Лютоги Анивского района Сахалинской области / Л. И. Никитина, А. Г. Панов // Вода: химия и экология. – 2014. – № 2 (67). – С. 63–68.
4. **Алекперов, И. Х.** Свободноживущие инфузории Азербайджана (экология, зоогеография, практическое значение) / И. Х. Алекперов. – Баку : Эльм, 2012. – 520 с.
5. **Berger, H.** Biologische Methoden der Gewässeranalysen. Ciliaten III-2.1. Illustrated guide and ecological notes to ciliate indicator species (Protozoa, Ciliophora) in running waters, lakes, and sewage plants / H. Berger, W. Foissner // Handbuch Angewandte Limnologie. – 2003. – № 10. – 160 p.
6. **Foissner, W.** A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes

- on their ecology / W. Foissner, H. Berger // *Freshwater Biology*. – 1996. – Vol. 35. – P. 375–482.
7. **Curds, C.** A guide to species of the genus *Euplotes* (Hypotrichida, Ciliata) / C. Curds // *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* – 1975. – Vol. 28, № 1. – P. 1–61.
  8. **Warren, A.** A revision of the genus *Vorticella* (Ciliophora: Peritrichida) / A. Warren // *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* – 1986. – Vol. 50, № 1. – P. 1–57.
  9. **Wu, I.** A guide to species of the genus *Aspidisca* / I. Wu, C. Curds // *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* – 1979. – Vol. 36, № 1. – P. 1–34.
  10. **Чорик, Ф. П.** Свободноживущие инфузории водоемов Молдавии / Ф. П. Чорик. – Кишинев, 1968. – 251 с.
  11. **Быкова, С. А.** Фауна и экология инфузорий малых водоемов Самарской Луки и Саратовского водохранилища : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Быкова С. А. – Тольятти, 2005. – 207 с.
  12. **Трибун, М. М.** Экологические особенности цилиофауны малых рек окрестностей г. Хабаровска : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Трибун М. М. – Хабаровск, 2012. – 154 с.
  13. **Никитина, Л. И.** Цилиофауна природных и техногенных экосистем Среднего Приамурья : монография / Л. И. Никитина, А. В. Приходько, А. В. Жуков, М. М. Трибун. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2011. – 160 с.
  14. **Foissner, W.** Taxonomic and nomenclatural revision of Sladeczek's list of ciliates (Protozoa: Ciliophora) as indicators of water quality / W. Foissner // *Hydrobiologia*. – 1988. – Vol. 166. – P. 1–64.
  15. **Мамаева, Н. В.** Инфузории бассейна Волги / Н. В. Мамаева. – Ленинград : Наука, 1979. – 179 с.
  16. **Жариков, В. В.** Специфика водохранилищ Волги как среды обитания гидробионтов (на примере свободноживущих инфузорий) / В. В. Жариков // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Третьи Люблинские чтения). – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2000. – С. 64–72.
  17. **Эггерт, М. Б.** Сезонные изменения фауны инфузорий в планктоне Селенгинского района Байкала / М. Б. Эггерт // *Гидробиологический журнал*. – 1967. – Т. 3, вып. 3. – С. 28–35.
  18. **Лаврентьев, П. Я.** Протозойный планктон разнотипных озер / П. Я. Лаврентьев, В. В. Маслевцов // *Изменение структуры экосистем озер в условиях возрастающей биогенной нагрузки*. – Ленинград : Наука, 1988. – С. 207–221.
  19. **Мячина, О. А.** Фауна и биолого-экологические особенности ресничных инфузорий некоторых водоемов южной лесостепи Омской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.04 / Мячина О. А. – Омск, 2010. – 18 с.
  20. **Шубернецкий, И. В.** Кругоресничные инфузории основных типов водоемов Молдавии : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.08 / Шубернецкий И. В. – Кишинев, 1983. – 279 с.

### References

1. *Informatsionnaya sistema «Dinamicheskie modeli v biologii»* [Information System “Dynamic Models in Biology”]. Available at: <http://www.dmb.biophys.msu.ru/registry?article=9812> [In Russian]
2. Burkovskiy I. V. *Ekologiya svobodnozhivushchikh infuzoriy* [Ecology of free-living ciliates]. Moscow: Izd-vo MGU, 1984, 208 p. [In Russian]
3. Nikitina L. I., Panov A. G. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology]. 2014, no. 2 (67), pp. 63–68. [In Russian]
4. Alekperov I. Kh. *Svobodnozhivushchie infuzorii Azerbaydzhana (ekologiya, zoogeografiya, prakticheskoe znachenie)* [Free-living ciliates of Azerbaijan (ecology, zoogeography, practical importance)]. Baku: El'm, 2012, 520 p. [In Russian]

5. Berger H., Foissner W. *Handbuch Angewandte Limnologie* [Handbook of Applied Limnology]. 2003, no. 10, 160 p.
6. Foissner W., Berger H. *Freshwater Biology*. 1996, vol. 35, pp. 375–482.
7. Curds C. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* 1975, vol. 28, no. 1, pp. 1–61.
8. Warren A. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* 1986, vol. 50, no. 1, pp. 1–57.
9. Wu I., Curds C. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* 1979, vol. 36, no. 1, pp. 1–34.
10. Chorik F. P. *Svobodnozhivushchie infuzorii vodoemov Moldavii* [Free-living ciliates of Moldavian water bodies]. Kishinev, 1968, 251 p. [In Russian]
11. Bykova S. A. *Fauna i ekologiya infuzoriy malykh vodoemov Samarskoy Luki i Saratovskogo vodokhranilishcha: dis. kand. biol. nauk: 03.00.16* [The fauna and ecology of ciliates of small reservoirs of Samara Luka and the Saratov reservoir: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.00.16]. Tolyatti, 2005, 207 p. [In Russian]
12. Tribun M. M. *Ekologicheskie osobennosti tsiliofauny malykh rek okrestnostey g. Khabarovska: dis. kand. biol. nauk: 03.02.08* [Ecological features of the ciliofauna of small rivers in the vicinity of Khabarovsk: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.02.08]. Khabarovsk, 2012, 154 p. [In Russian]
13. Nikitina L. I., Prikhod'ko A. V., Zhukov A. V., Tribun M. M. *Tsiliofauna prirodnykh i tekhnogennykh ekosistem Srednego Priamur'ya: monografiya* [Ciliofauna of natural and technogenic ecosystems of the Middle Amur Region: monograph]. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2011, 160 p. [In Russian]
14. Foissner W. *Hydrobiologia*. 1988, vol. 166, pp. 1–64.
15. Mamaeva N. V. *Infuzorii basseyna Volgi* [Ciliates of the Volga basin]. Leningrad: Nauka, 1979, 179 p. [In Russian]
16. Zharikov V. V. *Teoreticheskie problemy ekologii i evolyutsii (Tret'i Lyubishchevskie chteniya)* [Theoretical problems of ecology and evolution (Third Lubischev Readings)]. Tolyatti: IEVB RAN, 2000, pp. 64–72. [In Russian]
17. Eggert M. B. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological journal]. 1967, vol. 3, iss. 3, pp. 28–35. [In Russian]
18. Lavrent'ev P. Ya., Maslevtsov V. V. *Izmenenie struktury ekosistem ozer v usloviyakh vozrastayushchey biogennoy nagruzki* [Change in the structure of lake ecosystems under conditions of increasing nutrient load]. Leningrad: Nauka, 1988, pp. 207–221. [In Russian]
19. Myachina O. A. *Fauna i biologo-ekologicheskie osobennosti resnichnykh infuzoriy nekotorykh vodoemov yuzhnoy lesostepi Omskoy oblasti: avtoref. dis. kand. biol. nauk: 03.02.04* [Fauna and biological and ecological features of ciliary infusoria of some water bodies in the southern forest-steppe of the Omsk region: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.02.04]. Omsk, 2010, 18 p. [In Russian]
20. Shubernetskiy I. V. *Krugesnichnye infuzorii osnovnykh tipov vodoemov Moldavii: dis. kand. biol. nauk: 03.00.08* [Circumnar ciliates of the main types of water bodies in Moldova: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.00.08]. Kishinev, 1983, 279 p. [In Russian]

---

**Панов Александр Геннадьевич**

старший преподаватель, соискатель,  
Сахалинский институт  
железнодорожного транспорта – филиал  
Дальневосточного государственного  
университета путей сообщений (ДВГУПС)  
в г. Южно-Сахалинске (Россия, г. Южно-  
Сахалинск, ул. Физкультурная, 126 В)

E-mail: allergen\_925@mail.ru

**Panov Aleksandr Gennad'evich**

Senior lecturer, applicant, Sakhalin Institute  
of Railway Transport – filial of Far Eastern  
State Transport University, Yuzhno-  
Sakhalinsk (126 B Fizkulturnaya street,  
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia)

**Образец цитирования:**

Панов, А. Г. Изменение трофической и экологической структур цилиофауны нижнего течения р. Лютоги в период появления в ней сненки тихоокеанских лососей / А. Г. Панов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 90–99. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-8.

## МОНИТОРИНГ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗООБЕНТОСА НА ЗАРЕГУЛИРОВАННОМ УЧАСТКЕ РЕКИ СУРЫ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Зообентос является важнейшим компонентом кормовой базы для рыб. Поэтому оценка рыбопродуктивности по данному показателю необходима при любых комплексных рыбохозяйственных исследованиях на водоемах. Цель исследования – изучить сезонную динамику развития зообентоса для определения рыбопродуктивности по данному показателю одного из участков р. Суры.

*Материалы и методы.* Пробы зообентоса отбирали в исследуемом водоеме на трех точках выбранной станции в середине месяца безледного периода с апреля по ноябрь 2014–2015 гг. (и в мае 2016 г.). Рыбопродукцию рассчитывали с учетом коэффициентов, адаптированных к Приволжскому региону. Сравнительный анализ с соседними водоемами (естественное русло р. Суры и р. Пензы, песчаный карьер) проводился по результатам собственных исследований.

*Результаты.* За период исследований выявлено 52 таксона зообентоса (в 2014 г. – 27, в 2015 г. – 35). Изменения видового состава зообентоса по годам составили 65 %. Ежемесячные изменения видового состава в разные годы в среднем оказались близки (38 и 41 % соответственно). По численности в разные месяцы доминировали двустворчатые моллюски, малощетинковые черви и личинки двукрылых насекомых. По биомассе – двустворчатые и брюхоногие моллюски, малощетинковые черви. В 2014 г. численность зообентоса по месяцам различалась в 1,2–2,5 раза, биомасса – в 0,9–3,0 раза. В 2015 г. численность зообентоса по месяцам различалась в 1,1–5,9 раз, биомасса – в 1,4–3,9 раза. Различия между месячными показателями по годам по численности составили – 1,2–3,7 раз, по биомассе – 1,1–2,7 раза. В среднем между годами численность зообентоса 2014 г. была в 1,2 раза выше, чем в 2015 г., а по биомассе в 1,2 раза ниже (без учета *Anodontastagnalis*).

*Выводы.* В Городском водохранилище существует свободная кормовая база по зообентосу и его можно зарыблять ценными видами рыб-бентофагов (сазаном) для увеличения рыбных запасов и удовлетворения потребностей рыболовов-любителей г. Пензы. Наибольшие показатели биомассы зообентоса отмечались в 2015 г. в весенний период (апрель, май). Показатели близкие к среднесезонным отмечались во все остальные месяцы безледного периода.

**Ключевые слова:** зообентос, мониторинг, Городское водохранилище, численность, биомасса, рыбопродуктивность.

## MONITORING ZOOBENTOS PRODUCTIVITY AT THE REGULATED SURA RIVER SECTION IN PENZA REGION

### Abstract.

*Background.* Zoobenthos is an essential component of the fish food base. Therefore, an assessment of fish productivity for this indicator is necessary for any comprehensive fisheries research in water bodies. The purpose of the study was to study the seasonal dynamics of zooplankton development to determine fish productivity by this indicator of one of the sections of the river Sura.

*Materials and methods.* Zoobenthos samples were taken in the studied reservoir at three points of the selected station in the middle of the month of the ice-free period from April to November, 2014–2015. (and in May, 2016). Fishery products were calculated taking into account coefficients adapted to the Volga region. A comparative analysis with neighboring reservoirs (the natural channel of the Sura River and the Penza River, a sand pit) was carried out according to the results of our own research.

*Results.* During the study period, 52 taxa of macrozoobenthos were identified (in 2014 – 27, in 2015 – 35). Changes in the species composition of zoobenthos over the years amounted to 65 %. The monthly changes in the species composition in different years turned out to be close on average (38 and 41 %, respectively). In numbers, bivalve mollusks, small-worm worms, and diptera insect larvae dominated in different months. By biomass – bivalves and gastropods, small-worms. In 2014, the monthly zoobenthos abundance varied by 1,2–2,5 times, and the biomass by 0,9–3,0 times. In 2015, the monthly abundance of zoobenthos differed 1,1–5,9 times, and biomass 1,4–3,9 times. The differences between the monthly indices by years in terms of numbers were 1,2–3,7 times, and in biomass 1,1–2,7 times. On average, between years the abundance of zoobenthos in 2014 was 1,2 times higher than in 2015, and in biomass 1,2 times lower without *Anodontastagnalis*. In seasonal and interannual dynamics, the state of zoobenthos in the Gorodskoye reservoir is estimated as quite stable.

*Conclusions.* In the City Reservoir there is a free food base for zoobenthos and it can be stocked with valuable species of benthophagous fish (carp) to increase fish stocks and meet the needs of amateur fishermen of the city of Penza. The highest indices of zoobenthos biomass were observed in 2015 in the spring period (April, May). Indicators close to the seasonal average were recorded in all other months of the ice-free period.

**Keywords:** zoobenthos, monitoring, urban reservoir, abundance, biomass, fish productivity.

Зообентос является важнейшим компонентом кормовой базы ихтиофауны. Поэтому оценка рыбопродуктивности по данному показателю производится при любых рыбохозяйственных исследованиях на водоемах: оценке рыбных запасов с целью разработки оптимальных квот вылова; оценке ущербов от различного рода хозяйственной деятельности на водоемах, разработке рыбоводно-биологических обоснований с целью зарыбления водоема ценными видами рыб для повышения его рыбопродуктивности, восстановления и облагораживания ихтиофауны. Городское водохранилище, образованное в результате зарегулирования русла реки Суры, имеет важное рыбохозяйст-

венное значение, и изучение состояния зообентоса как компонента кормовой базы рыб особенно в сезонной динамике является необходимой мерой для дальнейшего регулирования и эксплуатации рыбных запасов водоема.

Также здесь важна оценка рыбохозяйственного значения по зообентосу водоподъемного руслового Городского водохранилища как представителя данного типа водоемов, которое ранее рассматривалось в общем контексте р. Суры [1, 2].

Важнейшим элементом работы является изучение сезонных колебаний структурных параметров сообществ зообентоса, материал по которым в водоемах региона крайне ограничен [3].

Цель исследования – изучить сезонную динамику развития зообентоса для определения рыбопродуктивности по данному показателю одного из участков р. Суры.

### **Материалы и методы**

Станции отбора проб в Городском водохранилище располагались в типичном для водоема биотопе – на правом берегу, в 20 м выше места впадения р. Пензы на противоположном берегу, в 6 км от плотины ТЭЦ-1. Ширина водохранилища на данном участке – 110 м, берег высотой 0,5–1,5 м, достаточно открытый, поросший высшей прибрежной растительностью, между одиночными зарослями крупного кустарника. Дно песчаное, закоряжено. В летний период развита погруженная водная растительность, преимущественно элодея. Осенью дно устлано опавшей листвой, весной – покрыто осенней листвой и древесным мусором. Периодически здесь происходят резкие колебания уровня воды на 0,2–1,0 м. Скорость течения преимущественно – 0,01–0,02 м/с, глубина на участке отбора проб в прибрежной зоне – 0,6–1,0 м.

Исследования проводили в середине каждого месяца безледного периода с июля по ноябрь в 2014 г., в 2015 г. апрель-июнь, август-ноябрь; в 2016 г. – май.

Пробы зообентоса отбирали гидробиологическим скребком с длиной режущей кромки 16 см. В связи со значительной гетерогенностью субстрата пробы отбирали на трех станциях (у коряги, прибрежной растительности и на открытом участке, по 1 м на каждой). Всего было отобрано 39 проб.

Материал промывали, складывали в одну пластиковую емкость и фиксировали на месте 4 % формалином, затем разбирали в лабораторных условиях по общепринятым методикам [4–6]. Идентификацию организмов проводили с использованием бинокля МБС-9 и микроскопа «Микромед-Р-1» по возможности до вида по специализированным определителям [7, 8]. Индивидуальную биомассу организмов зообентоса определяли путем прямого взвешивания на лабораторных весах ВК-300. При этом взвешивали сырую биомассу, т.е. животных просушивали на фильтровальной бумаге только для удаления излишков жидкости с поверхности тела. В результате обработки и анализа полученного материала определяли структурные параметры сообщества зообентоса: число видов ( $S$ ), численность ( $N$ ), биомасса ( $B$ ), доминантный состав (%).

Изменения видового состава зообентоса по месяцам и годам в процентах рассчитывали по модифицированному варианту расчета коэффициента

общности Жаккара:  $X = B \times 100 / A_1 + A_2 + B$ , где  $B$  – число видов, встречавшихся оба месяца,  $A_1$  – число видов исходного месяца,  $A_2$  – число видов следующего месяца. Коэффициенты корреляции рассчитывали по программе Microsoft® Excel® 2010 между ежемесячными средними показателями численности и биомассы зообентоса с ежемесячными средними показателями температуры и прозрачности воды. Между средними ежемесячными показателями биомассы (август–ноябрь) в 2014 и 2015 гг.

В основу определения рыбопродукции заложен гидробиологический метод с коэффициентами, адаптированными к Приволжскому региону [9, 10].

### Результаты

**Видовой состав сообщества зообентоса.** За весь период исследований обнаружено 52 таксона зообентоса.

В 2014 г. с июля по ноябрь отмечено 27 таксонов зообентоса: Oligochaeta – 2 вида, Mollusca – 10 (брюхоногих – 7, двустворчатых – 3), Ephemeroptera – 3, Trichoptera – 1, Diptera – 3, Coleoptera – 4, Odonata – 1, Crustacea – 2, Hirudinea – 1. При этом по месяцам число видов колебалось от 12 в августе и октябре до 16 в ноябре (в среднем 13 видов) (табл. 1). Ежемесячно видовой состав изменялся на 23–46 % (в среднем на 37,5 %) (см. табл. 1). Ежемесячно в пробах отмечались представители брюхоногих моллюсков (*Valvataambigua*, *Lymnaeaovata*), двустворчатых моллюсков (*Euglesa* sp., *Pisidiumamnicum*), личинки двукрылых насекомых (Chironomidae).

В 2015 г. с апреля по ноябрь (исключая июль) отмечено 35 таксонов зообентоса: Oligochaeta – 2 вида, Mollusca – 21 (брюхоногих – 13, двустворчатых – 8), Ephemeroptera – 2, Diptera – 3, Coleoptera – 1, Crustacea – 2, Hirudinea – 2, Nematoda – 1, Hydrachnidae – 1. При этом по месяцам число видов колебалось от 17 в апреле до 6 в ноябре (в среднем 11 видов) (см. табл. 1). Ежемесячно видовой состав изменялся на 26–88 % (в среднем на 41,0 %). Ежемесячно в пробах отмечались личинки двукрылых насекомых сем. Chironomidae.

В мае 2016 г. обнаружено 12 таксонов зообентоса: Oligochaeta – 2 вида, Mollusca – 5 (брюхоногих – 3, двустворчатых – 2), Diptera – 5.

**Численность.** В 2014 г. самые высокие значения численности отмечены в сентябре, самые низкие – в октябре (см. табл. 1). Высокую численность в отдельные месяцы показали: личинки двукрылых насекомых сем. Chironomidae (июль, август, ноябрь); брюхоногие моллюски *Valvataambigua* (август, сентябрь); двустворчатые моллюски *Euglesa* sp. (июль–ноябрь), малощетинковые черви *Tubifextubifex* (октябрь) и *Lumbriculusvariegatus* (ноябрь).

В 2015 г. самые высокие значения численности отмечены в мае, самые низкие – в ноябре (см. табл. 1). Высокую численность в отдельные месяцы показали: малощетинковые черви *Lumbriculusvariegatus* (апрель, август, ноябрь) и *Tubifextubifex* (май, июнь), двустворчатые моллюски *Neopisidiumtrigonum* (апрель), *Pisidiumamnicum* (май, июль–ноябрь), *Sphaeriumnitidum* (ноябрь), личинки двукрылых насекомых сем. Chironomidae (май).

В 2016 г. среди доминантов по численности малощетинковые черви *Lumbriculusvariegatus* и *Tubifextubifex*, двустворчатые моллюски *Euglesa* sp. и личинки двукрылых насекомых сем. Chironomidae.

Таблица 1

Динамика показателей сообщества зообентоса  
и некоторых факторов среды в Городском водохранилище в 2014–2015 гг.

Показатели	Год	Месяцы											Средняя	
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI					
Число таксонов	2014	–	–	–	13	12	14	12	15					13,2
	2015	17	15	8	–	10	13	11	6					11,4
Изменения видового состава по годам, %	2014	–	–	–	–	41	23	46	40					37,5
	2015	–	88	30	–	44	26	29	29					41,0
Численность, экз./м <sup>2</sup>	2014	–	–	–	1125,0	1043,8	1362,5	550,0	1006,3					1017,5
	2015	1437,5	1593,8	562,5	–	675,00	575,00	656,25	268,75					824,11
Биомасса, г/м <sup>2</sup>	2014	–	–	–	7,919	5,545	6,526	2,676	8,464					6,226
	2015	9,270	13,130	6,125	–	8,270*	5,819	7,194	3,325					7,589*
Температура воды, °С	2014	11,0	18,5	19,0	24,0	24,0	19,0	11,0	2,0					16,1
	2015	5,0	14,0	23,0	22,0	23,0	16,0	9,0	2,5					14,3
Уровень воды, м	2014	норма	норма	+0,6	норма	норма	норма	+0,7	–0,8					–
	2015	норма	–0,2	+0,8	норма	+1,0	–1,0	+1,0	норма					–
Прозрачность, см	2014	45	55	105	90	110	100	80	110					87
	2015	90	53	100	150	60	130	110	105					100

Примечание. \*Без учета *Anodontastagnalis*.

**Биомасса.** В 2014 г. самые низкие значения биомассы зообентоса отмечены в октябре, самые высокие – в ноябре (см. табл. 1). Высокую биомассу в отдельные месяцы показали: брюхоногие моллюски *Bithyniatentaculata* (июль, сентябрь), *Bithyniatroscheli* (август–октябрь), *Lymnaeaovata* (июль), *Valvataambigua* (август, сентябрь), двустворчатые моллюски *Euglesa* sp. (июль–сентябрь), *Sphaeriumnitidum* (июль, август), жуки сем. Dytiscidae (август), малощетинковые черви *Tubifextubifex* (октябрь) и *Lumbriculusvariegatus* (ноябрь).

В 2015 г. самые высокие значения биомассы кормового бентоса отмечены в мае, общего – в августе, самые низкие кормового бентоса – в ноябре (см. табл. 1). Высокую биомассу в отдельные месяцы показали: малощетинковые черви *Lumbriculusvariegatus* (апрель, ноябрь) и *Tubifextubifex* (май, июнь), брюхоногие моллюски *Bithyniatentaculata* (май, июнь), *Lymnaeaovata* (сентябрь), двустворчатые моллюски *Anodontastagnalis* (август), *Neopisidiumtrigonum* (апрель), *Pisidiumamnicum* (апрель, май, сентябрь–ноябрь), *Sphaeriumnitidum* (июнь, октябрь, ноябрь), пиявки *Glossiphoniacomplanata* (сентябрь). Биомасса двух экземпляров *Anodontastagnalis* в августе составила 50,56 г/м<sup>2</sup>.

В 2016 г. в мае по биомассе доминировали двустворчатые моллюски *Anodontastagnalis*.

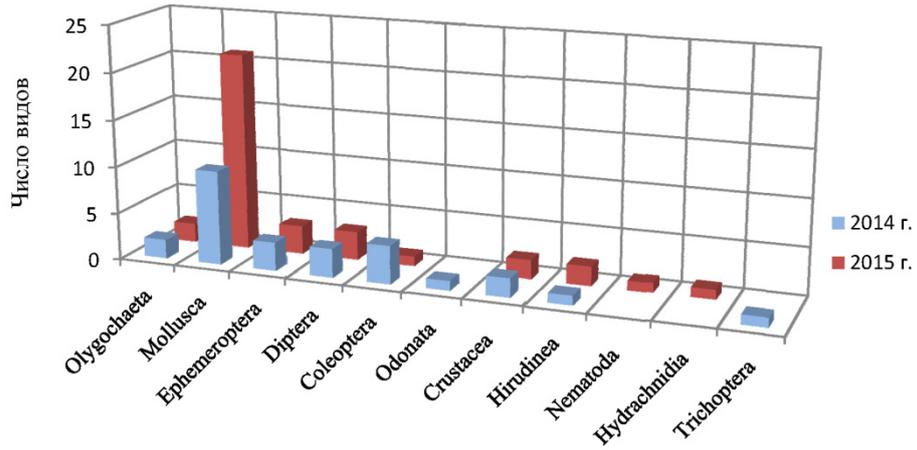
Зафиксированное число видов зообентоса в Городском водохранилище (52) – достаточно высокий показатель видового разнообразия, что, возможно, отчасти является результатом двухлетнего сезонного мониторинга. При этом ежемесячный видовой состав колебался в пределах 6–17 видов. За период исследований зообентоса Сурского водохранилища в 2006–2013 гг. на девяти станциях, когда отбор проб производился один-два раза в год, всего отмечено 42 вида, или 7–22 вида ежегодно [11]. В малой реке Лопужовка при однократном отборе проб на трех станциях в сентябре 2011 г. обнаружено 9 видов зообентоса [12].

Сравнивая результаты исследований 2014 и 2015 гг., можно отметить, число видов зообентоса за более длительный период наблюдения в 2015 г. был выше предыдущего года на 8 видов (рис. 1). При этом 16 видов отмечены в сообществе оба года. Ежемесячные изменения видового состава в разные годы в среднем оказались близки (38 и 41 % соответственно) (см. табл. 1).

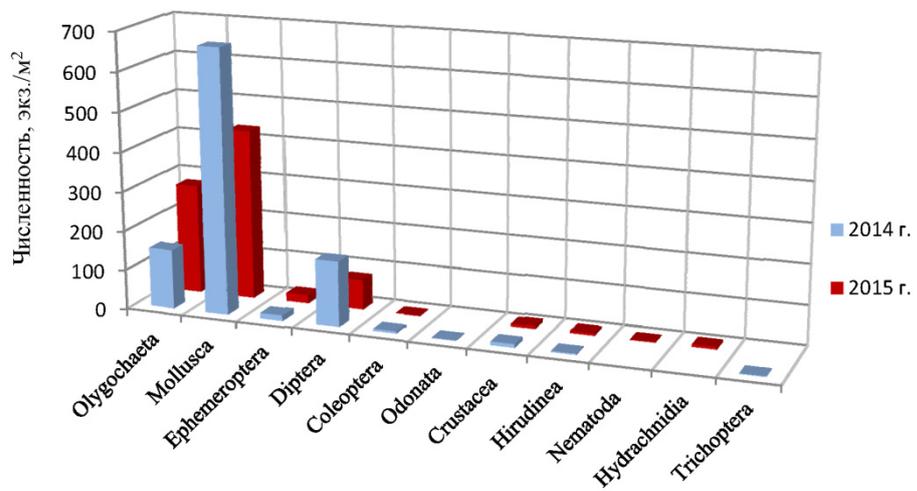
По численности в разные месяцы доминировали двустворчатые моллюски, малощетинковые черви и однажды личинки двукрылых насекомых. По биомассе – двустворчатые и брюхоногие моллюски, малощетинковые черви.

### Обсуждение

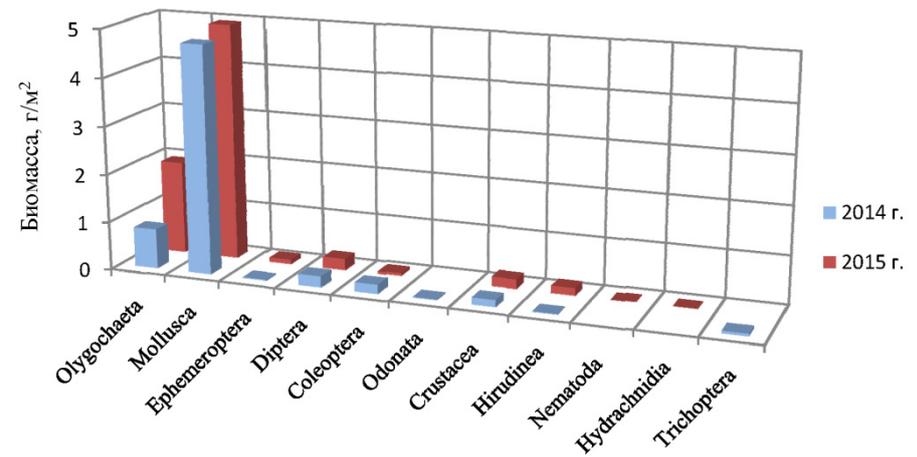
Оценивая ежемесячную корреляционную зависимость между показателями численности зообентоса и температурой воды, отмечаем ее достаточно слабую зависимость: 2014 г. – +0,421; 2015 г. – +0,167. Связь показателей биомассы зообентоса с температурой воды практически отсутствует: 2014 г. – –0,057; 2015 г. – +0,166. По отношению к прозрачности воды наблюдается противоречивая картина. В 2014 г. – средняя положительная корреляция между численностью (+0,533) и биомассой зообентоса (+0,583) с увеличением прозрачности воды. В 2015 г. – более высокая отрицательная корреляция между численностью (–0,584) и биомассой зообентоса (–0,747) с увеличением прозрачности воды. Подобная ситуация возможно объясняется нестабильным гидрологическим режимом водоема.



a)



б)



в)

Рис. 1. Динамика видового состава (а), численности (б) и биомассы (в) сообщества зообентоса Городского водохранилища по годам

В 2014 г. отмечалась более высокая средняя численность зообентоса, особенно с августа по ноябрь. Напротив, в 2015 г. отмечалась более высокая биомасса зообентоса, как общего, так и без учета практически «некормовых» крупных представителей *Anodontastagnalis*.

В 2014 г. численность зообентоса по месяцам различалась в 1,2–2,5 раза, биомасса – в 0,9–3,0 раза. В 2015 г. численность зообентоса по месяцам различалась в 1,1–5,9 раза, биомасса – в 1,4–3,9 раза. Различия между месячными показателями по годам по численности составили – 1,2–3,7 раза, по биомассе – 1,1–2,7 раза. В среднем между годами численность зообентоса 2014 г. была в 1,2 раза выше, чем в 2015 г., а по биомассе – в 1,2 раза ниже без учета *Anodontastagnalis*. В подобном Краснослободском водохранилище, на близком по расположению участке отбора проб (в г. Краснослободске) в сезонной динамике колебания численности зообентоса по месяцам составляло 6 раз, биомассы – 5 раз [13], т.е. сезонная динамика зообентоса в водохранилище Городское достаточно сглажена. При этом более высокие показатели продуктивности зообентоса отмечались в 2015 г., который характеризовался более низкой средней температурой воды, менее стабильным гидрологическим режимом и более высокой прозрачностью воды.

В мае 2016 г. отмечено 11 видов, с общей численностью 725 экз./м<sup>2</sup> и биомассой (без учета *Anodontastagnalis*) – 9,07 г/м<sup>2</sup>, т.е. показатели близкие к среднегодовым.

Для определения рыбопродуктивности необходимым показателем является биомасса зообентоса. В 2014 г. средняя биомасса составила 6,226 г/м<sup>2</sup>, из которых 4,756 г/м<sup>2</sup> – «кормовые» моллюски, 1,470 г/м<sup>2</sup> – «мягкий бентос». В 2015 г. без учета вышеприведенных крупных моллюсков средняя биомасса бентоса составила 7,589 г/м<sup>2</sup>, из которых 4,948 г/м<sup>2</sup> – «кормовые» моллюски, 2,641 г/м<sup>2</sup> – «мягкий бентос». Отсюда среднюю величину зообентоса принимаем в размере 6,908 г/м<sup>2</sup>, из них 4,852 г/м<sup>2</sup> – «кормовые» моллюски, 2,056 – «мягкий бентос».

При пересчете данных показателей в рыбопродукцию продуктивность по «мягкому» зообентосу составила 19,2 кг/га, по «кормовым» моллюскам – 2,6 кг/га, всего – 21,8 кг/га. Необходимо отметить при переводе в рыбопродукцию по прилагаемым коэффициентам, что кормовая эффективность «мягкого» бентоса была в 18 раз выше моллюсков. Полученный показатель является величиной свободной приемной емкости водохранилища по зообентосу. В целом по данному водоему, площадью 335 га, рыбопродукция по свободному зообентосу может составлять 7,3 тонн [14, 15].

На рис. 2 представлены показатели рыбопродукции по зообентосу ряда разнотипных водных объектов, расположенных вокруг Городского водохранилища: Сурского водохранилища, естественного русла р. Суры ниже г. Пензы, естественного русла р. Пензы выше г. Пензы и расположенного напротив впадения р. Пензы в Городское водохранилище песчаного карьера. Наибольшие показатели продуктивности зообентоса отмечаются в Сурском (Пензенском) водохранилище, богатом обширными мелководьями. Рыбопродуктивность по зообентосу Городского водохранилища в три раза ниже, но она несколько превышает рыбопродуктивность естественного русла р. Суры и заметно выше песчаного карьера и р. Пензы, которые характеризуются низкими показателями «мягкого» зообентоса.

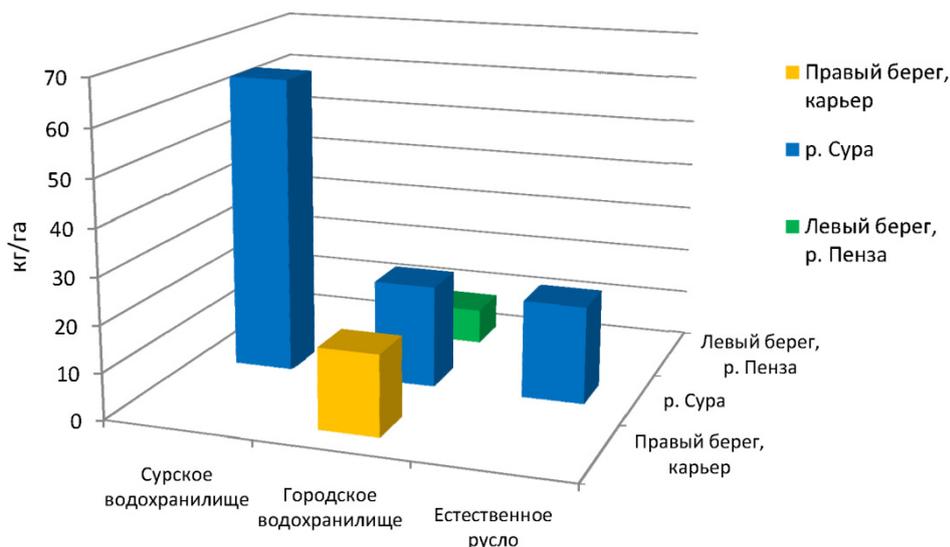


Рис. 2. Рыбопродуктивность по зообентосу участков р. Суры (Сурское водохранилище, Городское водохранилище, естественное русло р. Суры), левый берег (р. Пенза), правый берег (карьер), кг/га

Таким образом, в Городском водохранилище существует свободная кормовая база по зообентосу и его можно зарыблять ценными видами рыб-бентофагов (сазаном) для увеличения численности крупных видов рыб и удовлетворения потребностей рыболовов-любителей г. Пензы.

Наибольшие показатели биомассы зообентоса отмечались в 2015 г. в весенний период (апрель, май). Показатели близкие к среднесезонным отмечались во все остальные месяцы безледного периода. Корреляция биомассы зообентоса между годами достаточно высокая –  $-0,75$ . Поэтому при отборе проб зообентоса для оценки рыбопродуктивности следует учитывать сезонные изменения данного параметра.

*Благодарности.* Автор выражает благодарность Виктории Александровне Сенкевич, кандидату биологических наук, лаборанту кафедры «Зоологии и экологии» Пензенского государственного университета и Ирине Юрьевне Асановой, специалисту по социальной работе МБУ «Центр социальной помощи семье и детям» Железнодорожного района г. Пензы за оказанную помощь в сборе и обработке полевого материала.

#### Библиографический список

1. **Ильин, В. Ю.** Руслые переливные плотины верхнего течения реки Суры и их влияние на размещение ихтиофауны / В. Ю. Ильин, А. В. Янкин // Проблемы охраны и экологического мониторинга природных ландшафтов и биоразнообразия : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. – Пенза : РИО ПГСХА, 2006. – С. 42–45.
2. **Асанов, А. Ю.** Рыбохозяйственное значение водохранилищ, образованных русловыми водоподъемными сооружениями / А. Ю. Асанов // Сурский вестник. – 2019. – № 3 (7). – С. 22–28.
3. **Логинова, А. Н.** Эколого-фаунистическая характеристика и продукция макрозообентоса Сурского водохранилища : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Логинова А. Н. – Саранск, 2006. – 22 с.

4. Методы биологического анализа пресных вод. – Ленинград : Зоологический ин-т АН СССР, 1976. – 168 с.
5. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 139 с.
6. Практическая гидробиология. Пресноводные экосистемы : учеб. для студентов биологических специальностей университетов / под ред. В. Д. Федорова, В. П. Капкова. – Москва : ПИМ, 2006. – 367 с.
7. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. – Санкт-Петербург : ЗИН РАН, 2010. – Т. 1. – 495 с.
8. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. – Санкт-Петербург : Наука, 2000. – Т. 4. – 997 с.
9. **Козлов, В. И.** Эколого-рыбохозяйственная оценка озера Сенеж / В. И. Козлов, Ю. С. Иванова // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 18–25.
10. **Асанов, А. Ю.** Перспективы рыбохозяйственного использования Сурского водохранилища / А. Ю. Асанов // Нива Поволжья. – 2017. – № 4 (45). – С. 10–16.
11. **Асанов, А. Ю.** Водные биологические ресурсы Пензенской области. Сурское водохранилище / А. Ю. Асанов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 4–25.
12. **Асанов, А. Ю.** Рыбохозяйственные исследования на реке Лопужовка в Наровчатском районе Пензенской области / А. Ю. Асанов, Ж. А. Баязян // Новая наука: Проблемы и перспективы : Междунар. науч.-практ. конф. (г. Стерлитамак, 26 ноября 2016 г.) : в 3 ч. – Стерлитамак, 2016. – Ч. 3. – С. 4–8.
13. **Каменев, А. Г.** Биологические ресурсы рек Мокши и Суры, Макрозообентос : монография / А. Г. Каменев. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 1987. – 164 с.
14. **Асанов, А. Ю.** Водные биологические ресурсы Пензенской области. Река Сура / А. Ю. Асанов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 7–14.
15. **Иванов, А. И.** Водно-болотные угодья Пензенской области : монография / А. И. Иванов, В. Ю. Ильин, Е. А. Дудкин. – Пенза : РИО ПГСХА, 2016. – 208 с.

### References

1. Il'in V. Yu., Yankin A. V. *Problemy okhrany i ekologicheskogo monitoringa prirodnikh landshaftov i bioraznoobraziya: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Problems of protection and ecological monitoring of natural landscapes and biodiversity: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference]. Penza: RIO PGSKhA, 2006, pp. 42–45. [In Russian]
2. Asanov A. Yu. *Surskiy vestnik* [Surskiy bulletin]. 2019, no. 3 (7), pp. 22–28. [In Russian]
3. Loginova A. N. *Ekologo-faunisticheskaya kharakteristika i produktsiya makro-zoobentosa Surskogo vodokhranilishcha: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Ecological and faunistic characteristics and macrozoobenthos production of the Sura reservoir: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Saransk, 2006, 22 p. [In Russian]
4. *Metody biologicheskogo analiza presnykh vod* [Freshwater biological analysis methods]. Leningrad: Zoologicheskii in-t AN SSSR, 1976, 168 p. [In Russian]
5. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy* [Guidelines for hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 139 p. [In Russian]
6. *Prakticheskaya gidrobiologiya. Presnovodnye ekosistemy: ucheb. dlya studentov biologicheskikh spetsial'nostey universitetov* [Practical hydrobiology. Freshwater ecosystems: textbook for students of biological specialties in universities]. Eds. V. D. Fedorov, V. P. Kapkov. Moscow: PIM, 2006, 367 p. [In Russian]

7. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii* [Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia]. Saint-Petersburg: ZIN RAN, 2010, vol. 1, 495 p. [In Russian]
8. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy* [Determinant of freshwater invertebrates in Russia and adjacent territories]. Saint-Petersburg: Nauka, 2000, vol. 4, 997 p. [In Russian]
9. Kozlov V. I., Ivanova Yu. S. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries]. 2013, no. 1, pp. 18–25. [In Russian]
10. Asanov A. Yu. *Niva Povolzh'ya* [Niva Povolzhiya journal]. 2017, no. 4 (45), pp. 10–16. [In Russian]
11. Asanov A. Yu. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Rybnoe khozyaystvo* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries]. 2015, no. 1, pp. 4–25. [In Russian]
12. Asanov A. Yu., Bayazyan Zh. A. *Novaya nauka: Problemy i perspektivy: Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Sterlitamak, 26 noyabrya 2016 g.): v 3 ch.* [New Science: Problems and Prospects: International scientific and practical conference (Sterlitamak, November 26, 2016): in 3 parts]. Sterlitamak, 2016, part 3, pp. 4–8. [In Russian]
13. Kamenev A. G. *Biologicheskie resursy rek Mokshi i Sura, Makrozoobentos: monografiya* [Biological resources of the Moksha and Sura Rivers, Macrozoobenthos: monograph]. Saratov: Izd-vo Saratovskogo un-ta, 1987, 164 p. [In Russian]
14. Asanov A. Yu. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Rybnoe khozyaystvo* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries]. 2016, no. 1, pp. 7–14. [In Russian]
15. Ivanov A. I., Il'in V. Yu., Dudkin E. A. *Vodno-bolotnye ugod'ya Penzenskoy oblasti: monografiya* [Wetlands of the Penza Region: monograph]. Penza: RIO PGSKhA, 2016, 208 p. [In Russian]

---

**Асанов Алик Юсупович**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Приволжский научный центр аквакультуры и водных биоресурсов, Пензенский государственный аграрный университет (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: kfvniro-as@list.ru

---

**Asanov Alik Yusupovich**

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

---

**Образец цитирования:**

Асанов, А. Ю. Мониторинг продуктивности зообентоса на зарегулированном участке реки Суры в Пензенской области / А. Ю. Асанов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 100–110. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-9.

УДК 598.112.23:591.16

DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-10

А. А. Кидов, И. З. Хайрутдинов, А. А. Иванов, Е. А. Кидова

**К ИЗУЧЕНИЮ ОСОБЕННОСТЕЙ РОСТА В ОНТОГЕНЕЗЕ  
И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИИ ГИРКАНСКОЙ  
ЛУГОВОЙ ЯЩЕРИЦЫ, *DAREVSKIA PRATICOLA HYRCANICA*  
(REPTILIA, LACERTIDAE) В ТИПОВОМ ЛОКАЛИТЕТЕ  
(УРОЧИЩЕ ГАДАЗЫГАХИ, ТАЛЫШСКИЕ ГОРЫ)**

**Аннотация.**

*Актуальность и цели.* Гирканская луговая ящерица, *Darevskia praticola hyrcanica* – узкоареальный эндемик юго-западного Прикаспия. До настоящего времени нет сведений о продолжительности жизни у этого вида, сроках достижения половой зрелости и об особенностях роста. Целью настоящего исследования является изучение особенностей роста в онтогенезе и оценка возрастной структуры и роста гирканской луговой ящерицы в типовом локалитете (урочище Гадазыгахи, Астаринский район, Азербайджан).

*Материалы и методы.* Ящериц отлавливали в мае 2016 г. У взрослых животных измеряли длину тела (*L*) и отсекали фалангу третьего пальца задней конечности. Возраст определяли методом скелетохронологии. Всего были изучены препараты от 27 взрослых ящериц, включая 19 самок и 8 самцов.

*Результаты.* В изученной выборке ящериц встречались животные от трех до пяти лет. Средний возраст самцов составил 4,0 года, а самок – 4,2 года. Животные разных возрастных групп достаточно хорошо дифференцировались по длине тела. В целом у взрослых ящериц статистически значимо различались трехлетки и четырехлетки, трехлетки и пятилетки, четырехлетки и пятилетки. У самок по длине тела достоверно различались трехлетки с четырехлетками и пятилетками.

*Выводы.* Луговая ящерица в Гадазыгахи, как и другие изученные виды из рода *Darevskia*, относится к поздносозревающим и долгоживущим видам.

**Ключевые слова:** гирканская луговая ящерица, *Darevskia praticola hyrcanica*, типовой локалитет, возраст, рост, Талышские горы, юго-восточный Азербайджан.

А. А. Kidov, I. Z. Khayrutdinov, A. A. Ivanov, E. A. Kidova

**TO THE STUDY OF THE GROWTH PECULIARITIES  
IN ONTOGENESIS AND AGE STRUCTURE OF THE HYRCANIAN  
MEADOW LIZARD, *DAREVSKIA PRATICOLA HYRCANICA*  
(REPTILIA, LACERTIDAE) POPULATION IN THE TYPE  
LOCALITY (GADAZYGHANI NATURAL BOUNDARIES,  
TALYSH MOUNTAINS)**

**Abstract.**

*Background.* The Hyrcanian meadow lizard, *Darevskia praticola hyrcanica* is a narrow-area endemic of the southwest Pre-Caspian region. To date, there is no in-

---

© Кидов А. А., Хайрутдинов И. З., Иванов А. А., Кидова Е. А., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

formation about the life expectancy of this lizard, the timing of maturity and growth features. The purpose of this research is studying of growth features in ontogenesis and assess of age structure and growth of the Hyrcanian meadow lizard in the type locality (Gadazyghahi Natural Boundaries, Astara district, Azerbaijan).

*Materials and methods.* Lizards were captured in May, 2016. In adult animals, the body length ( $L$ ) was measured and the phalanx of the third finger of the hind limb was cut off. Age was determined by the method of skeletochronology. A total of 27 adult lizards were studied, including 19 females and 8 males.

*Results.* The studied sample of lizards contained animals from three to five years old. The average age of males was 4,0 years and for females is 4,2 years. Animals of different age groups were quite well differentiated by body length. In adult lizards, the length of the body was statistically significantly different for animals aged three and four years, three and five years, four and five years. In the group of females, three-year-old animals with four-year-old and five-year-old lizards were significantly different in body length.

*Conclusions.* The meadow lizard in Gadazyghahi, like other studied species from the genus *Darevskia*, belongs to late-maturing and long-living species.

**Keywords:** the Hyrcanian meadow lizard, *Darevskia praticola hyrcanica*, type locality, age, growth, Talysh Mountains, South-East Azerbaijan.

### Введение

Луговые ящерицы комплекса *Darevskia (praticola)* не только широко распространены в пределах лесного пояса Кавказа, но и являются единственными представителями рода, проникающими на Балканы [1]. Другой характерной чертой ящериц этой группы является высокий потенциал к синантропизации. Зачастую численность луговых ящериц в селитебных местообитаниях многократно превышает таковую в ненарушенных человеком биотопах [2]. Сложная таксономическая структура комплекса, наряду с широким распространением и численностью, привлекает внимание исследователей. Если раньше считалось, что луговые ящерицы представлены лишь одним видом с двумя подвидами [3], то к настоящему времени утвердилось мнение о существовании 2–3 видов, причем для собственно луговой ящерицы, *D. praticola* (Eversmann, 1834) выделяют до трех подвидов [4–6].

На юго-западной оконечности Каспия, в горах Талыша и западного Эльбурса, ареал луговой ящерицы образует небольшой изолят [2, 7]. Даже на этой ограниченной со всех сторон горно-ксерофитными степями и морем лесной территории вид распространен дизъюнктивно, и между отдельными точками находок пролегают нередко десятки километров. Все местообитания расположены в пределах Масаллинского, Ленкоранского, Лерикского и Астаринского районов Азербайджана, а также провинции Гилян в Иране [8–10]. В диссертации И. В. Доронина было указано 15 точек находок луговой ящерицы в юго-западном Прикаспии [1], однако в ряде локалитетов (Калиновка, Надус-Галаш (вероятно, Галгалаш), Каладагна) она длительное время не встречалась и, вероятно, вымерла либо была приведена ошибочно (Розанов в Зуванде и г. Ардебиль) [8]. В то же время очевидно, что вид в Иране распространен шире. На это указывают последние находки, в частности, задокументированное фотоматериалами наблюдение луговых ящериц в окрестностях селения Масла-Хан (Masla Khan, 37.379 с.ш., 48.986 в.д., 450 м над уровнем моря), шахрестан Масал в остане (провинции) Гилян (личное сообщение Kiarash V. Rouhani).

Длительное время отсутствие репрезентативного материала не позволяло оценить таксономический статус луговых ящериц из юго-западного Прикаспия. Лишь в период с 2008 по 2016 г. удалось найти местообитания с высокой численностью на верхней границе лесного пояса Талыша в Астаринском районе – на горе Ляжи, в урочищах Гадазыгахи, Йолазыгахи, Велянджахи и Зарбюлюн [8, 9]. Здесь ящерицы приурочены к расчищенным в буковом лесу родовым летникам (гыйа) селения Сым, на которых осуществляется выращивание картофеля [11, 12]. На основании изучения серии из Гадазыгахи был описан новый подвид – гирканская луговая ящерица, *D. praticola hyrcanica* Tuniyev, Dogonin, Kidov et Tuniyev, 2011 [4]. В последующем сборы живых ящериц из типового локалитета были использованы для изучения репродуктивной биологии [12], а также оценки эктопаразитарного пресса в их популяции [11]. Целью настоящего исследования является изучение особенностей роста в онтогенезе и характеристика возрастной структуры популяции гирканской луговой ящерицы в Гадазыгахи.

### Материалы и методы

Ящериц отлавливали в первой декаде мая 2016 г. Животных с ювенильной окраской сразу же отпускали. У ящериц, различающихся по полу по внешним признакам (у самцов – утолщение за клоакой, зеленоватое окраска брюхо и темная контрастная окраска спины; у самок – отсутствует припухлость у основания хвоста, брюхо и спина бледнее, чем у самцов), по стандартной методике [3] электронным штангенциркулем с погрешностью 0,5 мм измеряли длину тела ( $L$ ) и отсекали фалангу третьего пальца задней конечности. После всех процедур большинство ящериц выпускали в месте поимки, а часть использовали для дальнейших лабораторных исследований. Фаланги пальцев хранили индивидуально в высушенном состоянии.

Возраст ящериц определяли по стандартной процедуре с помощью метода скелетохронологии [13]. Полученные препараты фаланг пальцев выдерживали в растворе азотной кислоты (5 %), а затем промывали в проточной воде. Препараты толщиной 25 мкм изготавливали путем поперечного нарезания в области диафиза замораживающим микротомом-криостатом МК-25 при температуре  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Полученные срезы окрашивали кислым гематоксилином Эрлиха в течение 5 мин. В последующем осуществляли проводку в растворах глицерина (концентрация 25, 50 и 75 %), после чего срезы погружали в чистый глицерин. Линии задержки роста (склеивания) (LAG) на срезах фаланг определяли под микроскопом при 280-кратном увеличении. Учитывая, что ящерицы в Гадазыгахи сохраняют наземную активность весь теплый сезон, не впадая в летнюю спячку [11, 12], считали, что линии склеивания образуются только в период зимней гибернации.

Всего были изучены срезы от 27 взрослых ящериц, включая 19 самок и 8 самцов. Для оценки статистической значимости различий между показателями использовали непараметрический критерий Манна – Уитни ( $U_{\text{эмп}}$ ).

### Результаты и обсуждение

Среди пойманных луговых ящериц самки преобладали по числу над самцами. Вероятно, это было вызвано их более высокой наземной активностью из-за большей потребности в прогреве, так как в мае в Гадазыгахи

большинство самок луговой ящерицы беременны, о чем свидетельствуют результаты наших прошлых исследований [12]. В изученной выборке ящериц встречались животные от трех до пяти лет. Средний возраст самцов составил 4,0 года, а самок – 4,2 года (табл. 1).

Таблица 1

Длина тела гирканской луговой ящерицы  
в различных возрастных группах

Возраст, лет	Длина тела ( $L$ ), мм $M \pm SD (n)$ min-max		
	самцы	самки	самцы + самки
3	47,5 (1)	$44,4 \pm 2,30 (5)$ 41,0–47,0	$45,2 \pm 2,34 (6)$ 41,0–47,5
4	$50,0 \pm 2,00 (6)$ 46,0–51,0	$50,7 \pm 1,57 (5)$ 48,0–52,0	$50,3 \pm 1,76 (11)$ 46,0–52,0
5	53,0 (1)	$53,2 \pm 3,61 (9)$ 48,0–60,0	$53,2 \pm 3,40 (10)$ 48,0–60,0

**Примечание.**  $M$  – среднее арифметическое значение признака;  $SD$  – стандартное отклонение;  $n$  – количество изученных животных; min-max – размах признака.

Для сравнения, у другого близкородственного вида из комплекса *Darevskia (praticola)*, понтийской ящерицы, *D. pontica* (Lantz et Cyren, 1919), в предгорьях Северо-Западного Кавказа средний возраст самцов составлял 4,6 лет (при размахе от 3 до 6), а у самок – 5,6 (от 4 до 8) [14].

Интересно, что в Гадазыгахи луговые ящерицы разных возрастных групп хорошо дифференцировались по длине тела. Статистически значимо различались трехлетки и четырехлетки ( $U_{эмп} = 3,5$ ;  $p \leq 0,01$ ), трехлетки и пятилетки ( $U_{эмп} = 0$ ;  $p \leq 0,01$ ), четырехлетки и пятилетки ( $U_{эмп} = 25$ ;  $p \leq 0,05$ ). Небольшое число изученных самцов не позволяет оценить различия в размерах у разных возрастных групп. У самок по длине тела достоверно различались трехлетки с четырехлетками ( $U_{эмп} = 0$ ;  $p \leq 0,01$ ) и пятилетками ( $U_{эмп} = 0$ ;  $p \leq 0,01$ ). У *D. pontica* на Северо-Западном Кавказе ящерицы разного возраста не имели различий по размерам, а самые крупные животные нередко встречались не в самых старших возрастных категориях [14].

В предыдущем исследовании отмечалось [12], что новорожденные луговые ящерицы в Гадазыгахи имеют длину тела 19,4–25,7 мм (в среднем  $22,0 \pm 1,88$ ), а годовики после первой зимовки – 27,1–34,8 мм ( $29,9 \pm 2,02$ ). Вполне вероятно, учитывая полученные в настоящей работе данные, что в группу годовиков ошибочно попадали особи с ювенильной окраской и из более старшей возрастной группы – двухгодовиков, и большинство ящериц в этой популяции становятся половозрелыми лишь в возрасте трех лет. Эта особенность согласуется с материалами исследований близкородственной понтийской ящерицы. Особи этого вида со «взрослой» окраской имели возраст не менее трех (самцы) или четырех (самки) лет.

Располагая средними размерами новорожденных ящериц (в Гадазыгахи – 22,0 мм) [12], можно рассчитать относительный прирост длины тела.

Так, от вылупления до трехлетнего возраста длина тела самцов увеличивалась на 115,9 %, к четырем годам – на 109,1–131,9 %, а к пяти – на 140,9 %. У самок прирост длины тела к трем годам составил 86,4–113,6 %, к четырем – 118,2–136,4 %, а к пяти – на 118,2–172,7 %. У понтийской ящерицы, у которой новорожденные имеют сходные размеры (22,0–26,7 мм, в среднем  $24,1 \pm 0,11$ ), на Северо-Западном Кавказе самцы к трем годам прирастают в длину на 98,8–115,8 %, к четырем – на 91,7–138,2 %, к пяти – на 103,3–132,4 %. Самки у этого вида увеличивают длину своего тела на 109,1–135,3 % к четырем годам и на 110,8–163,5 % – к пяти [14]. Таким образом, у этих двух видов отмечается в целом схожая интенсивность роста.

Несмотря на то, что Талышские горы находятся на самой юго-восточной периферии ареала комплекса *Darevskia (praticola)*, луговая ящерица в Гадазыгахи созревает относительно поздно. По всей видимости, это обусловлено небольшой протяженностью периода активности в этом локалитете. По нашим наблюдениям, снег здесь сходит лишь в апреле, причем в отдельные годы снежный покров может оставаться и до начала мая, а уже с середины сентября начинаются обложные дожди и резко холодает. Вероятно, благоприятные для питания и роста ящериц температурные условия в Гадазыгахи не превышают пяти месяцев.

В то же время по материалам исследований, полученным в лаборатории [15], было выявлено, что гирканские луговые ящерицы приобретают взрослую окраску к возрасту одного года или полутора лет и приступают к размножению уже на вторую весну своей жизни. Вероятно, ускорение полового созревания в искусственных условиях происходит вследствие увеличения периода с благоприятными температурами и обильного кормления.

Невысокая максимальная продолжительность жизни у луговых ящериц в Гадазыгахи (5 лет против 6–8 у понтийских ящериц) обусловлена, по нашему мнению, небольшим числом изученных нами животных. На это указывает тот факт, что самки из наиболее старшей возрастной группы (пятилетки) по числу преобладают над трехлетками и четырехлетками. Поддержание высокой численности популяции при низкой плодовитости (у *D. praticola hyrcanica* 1–6, в среднем – 4 яйца; кладка один раз в год [12]) и позднем наступлении половой зрелости возможно лишь при высокой выживаемости и большой продолжительности жизни. Этот вывод находит свое подтверждение при изучении возрастной структуры других ящериц рода *Darevskia* Arribas, 1997 [16–20].

#### Библиографический список

1. **Доронин, И. В.** Систематика, филогения и распространение скальных ящериц надвидовых комплексов *Darevskia (praticola)*, *Darevskia (caucasica)* и *Darevskia (saxicola)* : дис. ... канд. биол. наук / Доронин И. В. – Санкт-Петербург : ЗИН РАН, 2015. – 371 с.
2. **Орлова, В. Ф.** Систематика и некоторые эколого-морфологические особенности лесных ящериц рода *Lacerta* : дис. ... канд. биол. наук / Орлова В. Ф. – Москва : МГУ, 1975. – 164 с.
3. Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР / А. Г. Банников, И. С. Даревский, В. Г. Ищенко, А. К. Рустамов, Н. Н. Щербак. – Москва : Просвещение, 1977. – 415 с.

4. **Tuniyev, S. B.** Systematic and geographical variability of meadow lizard, *Darevskia praticola* (Reptilia: Sauria) in the Caucasus / S. B. Tuniyev, I. V. Doronin, A. A. Kidov, B. S. Tuniyev // Russian Journal of Herpetology. – 2011. – Vol. 18, № 4. – P. 295–316.
5. New subspecies of meadow lizard, *Darevskia praticola loriensis* ssp. nov. (Reptilia: Sauria) from Armenia / S. B. Tuniyev, I. V. Doronin, B. S. Tuniyev, A. L. Aghasyan, A. A. Kidov, L. A. Aghasyan // Russian Journal of Herpetology. – 2013. – Vol. 22, № 3. – P. 223–237.
6. Cryptic diversity and unexpected evolutionary patterns in the meadow lizard, *Darevskia praticola* / S. Freitas, A. Vavakou, M. Arakelyan, S. V. Dvoretzki, J. Crnobrnja-Isailović, A. A. Kidov, D. Coşalniceanu, C. Corti, P. Lymberakis, D. J. Harris, M. A. Carretero // Systematics and Biodiversity. – 2016. – Vol. 10, № 2. – P. 184–197.
7. **Алекперов, А. М.** Земноводные и пресмыкающиеся Азербайджана / А. М. Алекперов. – Баку : Элм, 1978. – 264 с.
8. **Кидов, А. А.** Новые находки тальшской жабы (*Bufo eichwaldi*), луговой ящерицы (*Darevskia praticola*) и персидского полоза (*Elaphe persica*) в Юго-Восточном Азербайджане / А. А. Кидов, С. Г. Пыхов, В. В. Дернаков // Праці Українського герпетологічного товариства. – 2009. – № 2. – С. 21–26.
9. **Кидов, А. А.** К распространению луговой ящерицы *Darevskia praticola* (Eversmann, 1834) (Reptilia, Sauria: Lacertidae) в лесном поясе Азербайджанского Талыша / А. А. Кидов // Вопросы герпетологии: Материалы Четвертого съезда Герпетологического Общества имени А. М. Никольского (г. Казань, 12–17 октября 2009 г.). – Санкт-Петербург : Русская коллекция, 2011. – С. 109–112.
10. **Бунятова, С. Н.** Экологический анализ герпетофауны (Testudinidae, Sauria, Serpentes) Талыша / С. Н. Бунятова, С. Б. Ахмедов, А. Р. Джафаров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1. – С. 144–149.
11. **Кидов, А. А.** Паразито-хозяйинные отношения иксодового клеща, *Ixodes ricinus* (Linnaeus, 1758) и гирканской луговой ящерицы, *Darevskia praticola hyrcanica* (Tuniyev, Doronin, Kidov, et Tuniyev, 2011) в Талышских горах (Юго-Восточный Азербайджан) / А. А. Кидов // Российский паразитологический журнал. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 27–34.
12. **Кидов, А. А.** К репродуктивной биологии гирканской луговой ящерицы, *Darevskia praticola hyrcanica* (Lacertidae, Reptilia) / А. А. Кидов // Современная герпетология. – 2018. – Т. 18, № 3–4. – С. 118–124. – DOI 10.18500/1814-6090-2018-18-3-4-118-124.
13. **Смирин, Э. М.** Методика определения возраста амфибий и рептилий по слоям в кости / Э. М. Смирин // Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. – Киев, 1989. – С. 144–153.
14. **Кидов, А. А.** Возраст, рост и размножение понтийской ящерицы, *Darevskia pontica* (Lantz et Cyren, 1919) на Северо-Западном Кавказе / А. А. Кидов, А. Л. Тимошина, И. З. Хайрутдинов, К. А. Матушкина // Вестник Московского государственного областного университета. Сер.: Естественные науки. – 2016. – № 4. – С. 17–25.
15. Размножение гирканской луговой ящерицы, *Darevskia praticola hyrcanica* в лабораторных условиях / А. А. Кидов, А. А. Иванов, А. А. Гориков, А. В. Трофимец, Е. А. Немыко // Горные экосистемы и их компоненты : материалы VII Всерос. конф. (г. Нальчик, 15–20 сентября 2019 г.). – Нальчик, 2019. – С. 193, 194.
16. **Орлова, В. Ф.** Возрастная структура популяции арвинской ящерицы (*Lacerta derjugini*) на Северном Кавказе / В. Ф. Орлова, Э. М. Смирин // Вопросы герпетологии : материалы Пятой Всесоюз. герп. конф. (г. Ашхабад, 22–24 сентября 1981 г.). – Ленинград : Наука, 1981. – С. 30, 31.
17. **Аракелян, М. С.** Скелетохронологическое исследование скальных ящериц Армении и некоторые вопросы их экологии : дис. ... канд. биол. наук / Аракелян М. С. – Санкт-Петербург : Зоологический институт РАН, 2001. – 164 с.

18. **Целлариус, А. Ю.** Продолжительность жизни и факторы смертности у скальной ящерицы *Darevskia brauneri* (Sauria) по данным многолетних наблюдений на хребте Навагир / А. Ю. Целлариус, Е. Ю. Целлариус // Зоологический журнал. – 2009. – Т. 88, № 10. – С. 1276–1280.
19. **Кидов, А. А.** Возраст, рост и размножение арвинской ящерицы, *Darevskia derjugini* (Nikolsky, 1898) на северо-восточной периферии ареала / А. А. Кидов, А. Л. Тимошина, И. З. Хайрутдинов, К. А. Матушкина // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2017. – № 1 (93). – С. 18–24.
20. **Кидов, А. А.** Возрастная структура и половой диморфизм у ящерицы Браунера, *Darevskia brauneri* (Mehely, 1909) в предгорьях Северо-Западного Кавказа / А. А. Кидов, И. З. Хайрутдинов, К. А. Матушкина // Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Биология и экология. – 2018. – № 4. – С. 30–37. – DOI 10.26456/vtbio25.

### References

1. Doronin I. V. *Sistematika, filogeniya i rasprostranenie skal'nykh yashcherits nadvidovykh kompleksov Darevskia (praticola), Darevskia (caucasica) i Darevskia (saxicola): dis. kand. biol. nauk* [Systematics, phylogeny and distribution of rock lizards of supraspecific complexes of *Darevskia (praticola)*, *Darevskia (caucasica)* and *Darevskia (saxicola)*: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Saint-Petersburg: ZIN RAN, 2015, 371 p. [In Russian]
2. Orlova V. F. *Sistematika i nekotorye ekologo-morfologicheskie osobennosti lesnykh yashcherits roda Lacerta: dis. kand. biol. nauk* [Systematics and some ecological and morphological features of forest lizards of the genus *Lacerta*: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: MGU, 1975, 164 p. [In Russian]
3. Bannikov A. G., Darevskiy I. S., Ishchenko V. G., Rustamov A. K., Shcherbak N. N. *Opredelitel' zemnovodnykh i presmykayushchikhsya fauny SSSR* [Determinant to amphibian and reptile fauna of the USSR]. Moscow: Prosveshchenie, 1977, 415 p. [In Russian]
4. Tuniyev S. B., Doronin I. V., Kidov A. A., Tuniyev B. S. *Russian Journal of Herpetology*. 2011, vol. 18, no. 4, pp. 295–316. [In Russian]
5. Tuniyev S. B., Doronin I. V., Tuniyev B. S., Aghasyan A. L., Kidov A. A., Aghasyan L. A. *Russian Journal of Herpetology*. 2013, vol. 22, no. 3, pp. 223–237. [In Russian]
6. Freitas S., Vavakou A., Arakelyan M., Dvoretzki S. V., Crnobrnja-Isailvić J., Kidov A. A., Coşalniceanu D., Corti C., Lymberakis P., Harris D. J., Carretero M. A. *Systematics and Biodiversity*. 2016, vol. 10, no. 2, pp. 184–197.
7. Alekperov A. M. *Zemnovodnye i presmykayushchiesya Azerbaydzhana* [Amphibians and reptiles of Azerbaijan]. Baku: Elm, 1978, 264 p. [In Russian]
8. Kidov A. A., Pykhov S. G., Dernakov V. V. *Pratsi Ukraïns'kogo gerpetologichnogo tovaristva* [Proceedings of the Ukrainian Herpetological Society]. 2009, no. 2, pp. 21–26.
9. Kidov A. A. *Voprosy gerpetologii: Materialy Chetvertogo s"ezda Gerpetologicheskogo Obshchestva imeni A. M. Nikol'skogo (g. Kazan', 12–17 oktyabrya 2009 g.)* [Issues of herpetology: proceedings of the Fourth Congress of Herpetological Society named after A. M. Nikolsky (Kazan, September 12–17, 2009)]. Saint-Petersburg: Russkaya kollektsiya, 2011, pp. 109–112. [In Russian]
10. Bunyatova S. N., Akhmedov S. B., Dzhafarov A. R. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of Samara Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2012, vol. 14, no. 1, pp. 144–149. [In Russian]
11. Kidov A. A. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal* [Russian parasitological journal]. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 27–34. [In Russian]

12. Kidov A. A. *Sovremennaya gerpetologiya* [Modern herpetology]. 2018, vol. 18, no. 3–4, pp. 118–124. DOI 10.18500/1814-6090-2018-18-3-4-118-124. [In Russian]
13. Smirina E. M. *Rukovodstvo po izucheniyu zemnovodnykh i presmykayushchikhsya* [Amphibian and reptile study guide]. Kiev, 1989, pp. 144–153. [In Russian]
14. Kidov A. A., Timoshina A. L., Khayrutdinov I. Z., Matushkina K. A. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki* [Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural sciences]. 2016, no. 4, pp. 17–25. [In Russian]
15. Kidov A. A., Ivanov A. A., Gorikov A. A., Trofimets A. V., Nemyko E. A. *Gornye ekosistemy i ikh komponenty: materialy VII Vseros. konf. (g. Nal'chik, 15–20 sentyabrya 2019 g.)* [Mountain ecosystems and their components: proceedings of the VII All-Russian conference (Nalchik, September 15–20, 2019)]. Nal'chik, 2019, pp. 193, 194. [In Russian]
16. Orlova V. F., Smirina E. M. *Voprosy gerpetologii: materialy Pyatoy Vsesoyuz. gerp. konf. (g. Ashkhabad, 22–24 sentyabrya 1981 g.)* [Herpetology Issues: proceedings of the Fifth All-Union herpetological conference (Ashgabat, September 22–24, 1981)]. Leningrad: Nauka, 1981, pp. 30, 31. [In Russian]
17. Arakelyan M. S. *Skeletokhronologicheskoe issledovanie skal'nykh yashcherits Armenii i nekotorye voprosy ikh ekologii: dis. kand. biol. nauk* [Skeleton chronological study of rock lizards of Armenia and some issues of their ecology: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Saint-Petersburg: Zoologicheskii institut RAN, 2001, 164 p. [In Russian]
18. Tsellarius A. Yu., Tsellarius E. Yu. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological journal]. 2009, vol. 88, no. 10, pp. 1276–1280. [In Russian]
19. Kidov A. A., Timoshina A. L., Khayrutdinov I. Z., Matushkina K. A. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni I. Ya. Yakovleva* [Bulletin of I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University]. 2017, no. 1 (93), pp. 18–24. [In Russian]
20. Kidov A. A., Khayrutdinov I. Z., Matushkina K. A. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and ecology]. 2018, no. 4, pp. 30–37. DOI 10.26456/vtbio25. [In Russian]

---

***Кидов Артем Александрович***

кандидат биологических наук, доцент,  
кафедра зоологии, Российский  
государственный аграрный университет –  
МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия,  
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: kidov\_a@mail.ru

***Kidov Artem Aleksandrovich***

Candidate of biological sciences, associate  
professor, sub-department of zoology,  
Russian State Agrarian University – Moscow  
Timiryazev Agricultural Academy  
(49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

***Хайрутдинов Илдар Зиннурович***

кандидат биологических наук, доцент,  
кафедра биоресурсов и аквакультуры,  
Институт фундаментальной медицины  
и биологии, Казанский (Приволжский)  
федеральный университет (Россия,  
г. Казань, ул. Кремлевская, 18)

E-mail: ildar.hairutdinov@kpfu.ru

***Khayrutdinov Il'dar Zinnurovich***

Candidate of biological sciences, associate  
professor, sub-department of biological  
resources and aquaculture, Institute  
of Fundamental Medicine and Biology,  
Kazan (Volga region) Federal University  
(18 Kremlyovskaya street, Kazan, Russia)

**Иванов Андрей Алексеевич**

студент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: andrew.01121899@gmail.com

**Ivanov Andrey Alekseevich**

Student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

**Кидова Елена Александровна**

инженер, кафедра зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: nemyko\_e@mail.ru

**Kidova Elena Aleksandrovna**

Engineer, sub-department of zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Кидов, А. А. К изучению особенностей роста в онтогенезе и возрастной структуры популяции гирканской луговой ящерицы, *Darevskia praticola hircanica* (Reptilia, Lacertidae) в типовом локалитете (урочище Гадазыгахи, Тальшские горы) / А. А. Кидов, И. З. Хайрутдинов, А. А. Иванов, Е. А. Кидова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 111–119. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-10.

### **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./факс (841-2) 36-84-87; E-mail: [VolgaVuz@mail.ru](mailto:VolgaVuz@mail.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.