

# ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

---

УДК 58.085

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

Е. В. Кучарова, Ж. М. Охлопкова, Е. Е. Антонова

## ПОЛУЧЕНИЕ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР ПОЛЫНИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*ARTEMISIA VULGARIS* L.)<sup>1</sup>

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Одним из альтернативных источников получения биологически активных веществ является культура растительных клеток *in vitro*. Целью данной работы является введение в каллусную культуру *Artemisia vulgaris* L. центрально-якутской популяции как вида с высоким содержанием различных биологически активных веществ, применяемого в народной медицине и широко распространенного на территории исследования.

*Материалы и методы.* Фитомасса *Artemisia vulgaris* L. была собрана во время экспедиций на территории Амгинского района Республики Саха (Якутия) в июне-июле 2016–2018 гг. Для введения *Artemisia vulgaris* в каллусную культуру в качестве инициальных эксплантов использованы настоящие листья стерильных растений, полученных в контролируемых условиях из семян дикорастущего растения. Культивирование проводили на питательной среде Мурасиге-Скуга с использованием двух разных вариантов регуляторов роста: 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и кинетина, 6-бензиламинопурина и  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты. Морфологический анализ клеток полученных каллусов проводили на световом микроскопе. Полученные первичные каллусы были отобраны для дальнейшей пересадки на питательной среде Мурасиге-Скуга (МС) с разными концентрациями регуляторов роста. Динамику роста сырой массы каллусов изучали в течение одного цикла (21 сут).

*Результаты.* Биомасса первичного каллуса *Artemisia vulgaris* на питательной среде Мурасиге-Скуга с добавлением 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и кинетина была светло-желтой окраски и плотной консистенции, а при добавлении 6-бензиламинопурина и  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты также была бледно-желтой окраски, но отличалась легко отделяемой рыхлой структурой. Морфологический анализ клеток полученных первичных каллусов показал преобладание клеток округло-яйцевидной формы с ярко выраженным ядром. На питательной среде с добавлением 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты,

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках научно-исследовательского проекта «Вторичные метаболиты полыней Якутии *in vivo* и *in vitro*: поиск, оптимизация и практическое приложение» учебно-научной лаборатории «Молекулярно-генетические и клеточные технологии» СВФУ (Соглашение № 6-НИП от 01.09.2017, 2-й этап работ).

© Кучарова Е. В., Охлопкова Ж. М., Антонова Е. Е., 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.

кинетина и  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты максимальное увеличение сырой массы каллуса наблюдалось на 11-е сут после пересадки. На питательной среде с добавлением 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты,  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты и 6-бензиламинопурина максимальное увеличение сырой массы каллуса наблюдалось на 14-е сут.

**Выводы.** Получены первичные каллусы *Artemisia vulgaris* L. из листовых эксплантов, взятых из стерильных растений. Оптимизирована питательная среда с регуляторами роста для получения и дальнейшего введения каллусной культуры *Artemisia vulgaris* L. На питательной среде с добавлением 2,4-Д, НУК и БАП сырая биомасса каллуса *Artemisia vulgaris* L. в три раза превышает биомассу каллуса, получаемого на питательной среде с 2,4-Д, кинетином и НУК. Полученные каллусные культуры обладали мягкой легко отделяемой рыхлой структурой бледно-желтого цвета.

**Ключевые слова:** *Artemisia vulgaris* L., каллусная культура, питательная среда МС, каллусогенез, биомасса, кривая роста.

E. V. Kucharova, Zh. M. Okhlopkova, E. E. Antonova

## OBTAINING CALLUS CULTURES OF COMMON MUGWORT (*ARTEMISIA VULGARIS* L.)

### Abstract.

**Background.** One of the alternative sources of obtaining biologically active substances is a culture of plant cells in vitro. The objective of this work is to introduce *Artemisia vulgaris* in the callus culture. The plant grows in Central Yakutia, known as a species with a high content of various biologically active substances used in traditional medicine and widely spread on a territory researched.

**Materials and methods.** The phytomass of *Artemisia vulgaris* L. was collected during the expeditions on the territory of Amga's region of the Republic of Sakha (Yakutia) in June-July 2016–2018. For introduction of *Artemisia vulgaris* L. into a callus culture, the actual leaves of sterile plants were used as explants. The plants were obtained via cultivating the seeds of a wild plant in controlled conditions. The cultivation was performed on a Murashige-Skoog nutrient medium with the use of two different growth regulators: 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and kinetin, 6-benzylaminopurine and  $\alpha$ -naphthylacetic acid. Morphological analysis of cells of the obtained calli was performed using a light microscope. The obtained primary calli were selected for further transplantation on a Murashige-Skoog nutrient medium with different concentrations of growth regulators. The growth dynamics of the callus wet mass was studied during one cycle (21 days).

**Results.** The biomass of primary callus *Artemisia vulgaris* L. in the Murashige-Skoog nutrient medium with supplementation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and kinetin was light yellow in color and had a dense consistency, and with the addition of 6-benzylaminopurine and  $\alpha$ -naphthylacetic acid, it was also pale yellow in color, but with easily separable loose structure. Morphological analysis of cells of primary callus obtained showed the predominance of round-ovoid cells with a distinct nucleus. In a nutrient medium supplemented with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, kinetin, and  $\alpha$ -naphthylacetic acid, the peak increase in callus wet mass was observed on day 11 after transplantation. On a nutrient medium supplemented with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid,  $\alpha$ -naphthylacetic acid, and 6-benzylaminopurine the peak increase in the callus wet mass was observed on the 14th day.

**Conclusions.** The primary callus of *Artemisia vulgaris* L. were obtained from leaf explants taken from sterile plants. A nutrient medium with growth regulators

was optimized to obtain callus and for a further introduction of *Artemisia vulgaris* in the callus culture. On a nutrient medium supplemented with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid,  $\alpha$ -naphthylacetic acid, and 6-benzylaminopurine callus biomass of *Artemisia vulgaris* L. is three times heavier than the biomass of callus obtained on a nutrient medium with 2,4-D, kinetin, and NAA. The obtained callus cultures had a soft, easily separable, loose structure, pale yellow in color.

**Keywords:** *Artemisia vulgaris* L., callus culture, MS nutrient medium, callogenesis, biomass, growth curve.

### Введение

*Artemisia* – крупный род травянистых и полукустарниковых растений семейства Сложноцветные (*Asteraceae*) [1]. Во флоре Центральной Якутии насчитывается 22 вида рода *Artemisia* [2]. В основном это растения степных сообществ, широко распространенные в долине Средней Лены и представляющие собой своеобразие растительного покрова Центральной Якутии [3]. Некоторые виды полыней имеют лекарственную и пищевую ценность.

Одним из широко распространенных в природе видов и применяемых в народной медицине является *Artemisia vulgaris* L. Полынь обыкновенная, чернобильник, по-якутски «уөрэ ото». Строение корневища крепкое, немного ветвистое. Стебли прямостоячие, красно-бурые, наверху разветвленные, до 1–1,5 м высотой. Листья сверху голые или слегка пушистые, темно-зеленые, снизу сероватые, паутинисто-войлочные, перисто-рассеченные на удлиненные зубчатые доли. Цветки очень мелкие, собраны в яйцевидные корзинки 2–4 мм шириной, составляющие широкое, несколько поникающее, метельчатое соцветие; обертка каждой корзинки покрыта густым войлочком; цветки красноватые, реже – желтые. Цветет в июле-августе. Местом произрастания являются пустыри, огороды, сорные места, окрестности жилья, реже – луга и берега рек. На территории Якутии полынь обыкновенная распространена повсеместно, в основном на Алдане, Центральной Якутии, Верхне-Ленске, Яно-Индигирске, на Колыме [4].

По результатам фитохимического анализа было установлено наличие в надземной части полыни обыкновенной: аскорбиновой кислоты, полисахаридов, белков, дубильных веществ, флавоноидов, кумаринов, тритерпеновых сапонинов и фенольных соединений [5, 6]. Полынь обыкновенная в якутских популяциях, согласно результатам исследования, содержала в траве флавоноиды ( $5,64 \pm 0,02$  %), дубильные вещества ( $13,7 \pm 0,5$  %), аскорбиновую кислоту ( $2,6 \pm 0,02$  мг/г) и водорастворимые полисахариды ( $4,59 \pm 0,3$  %), что также подтверждает многовековой опыт использования данного растения якутскими травниками как ценного пищевого и лекарственного растения [7].

В связи с высоким содержанием различных биологически активных веществ в траве полыни обыкновенной перед нами стояла задача получить каллусную культуру клеток данного вида растения на основе растительных материалов, собранных на территории Центральной Якутии, для дальнейшего изучения особенностей накопления биологически активных веществ в каллусной биомассе *Artemisia vulgaris* L. Растение с соцветиями и семенами было собрано нами в течение экспедиционных работ на территории Амгинского района Республики Саха (Якутия) в июне-июле 2016–2018 гг.

Целью данной работы является введение в каллусную культуру *Artemisia vulgaris* L. центрально-якутской популяции.

Для достижения данной цели мы выполняли следующие задачи:

- 1) получение стерильных растений из семян дикорастущего растения;
- 2) оптимизация питательной среды для получения каллусной культуры *Artemisia vulgaris* L.;
- 3) получение первичного каллуса и морфологический анализ клеток;
- 4) анализ динамики роста биомассы каллуса *Artemisia vulgaris* L.

### Материалы и методика

Объектом исследования является растение *Artemisia vulgaris* L., фитомасса которого была собрана в течение экспедиционных работ на территории Амгинского района Республики Саха (Якутия) в июне-июле 2016–2018 гг. Растительный материал подвергался естественной сушке, и из него были вылущены семена с сохранением семенного материала в коллекции лаборатории «Молекулярно-генетические и клеточные технологии» СВФУ.

Семена растения стерилизовали раствором перекиси водорода в течение 5 мин, 70 % этиловым спиртом в течение 1 мин с последующей многократной промывкой автоклавированной дистиллированной водой. Семена помещали на поверхность безгормональной питательной среды и культивировали в контролируемых условиях климатической камеры. Прорастание семян наблюдалось на второй день после посадки.

В качестве эксплантов для введения *Artemisia vulgaris* в культуру *in vitro* взяты первые настоящие листья стерильных растений. Экспланты также подвергали стерилизации, в условиях ламинарного бокса проводили последовательную обработку 3 % раствором перекиси водорода, 70 % этиловым спиртом, после чего растительный материал 3–4 раза промывали стерильной дистиллированной водой. Экспланты помещали на питательную среду Мура-сиге-Скуга (МС), дополненную регуляторами роста (2,4-Д, НУК, кинетин и БАП) в различных комбинациях и концентрациях (табл. 1). Стерилизацию сред, материалов и работу в асептических условиях проводили по стандартным требованиям, общепринятым в работах по культуре клеток растений [8].

Таблица 1

Состав регуляторов роста в питательной среде МС для введения листовых эксплантов в культуру клеток

| Номер эксплантов | Содержание регуляторов роста, в мг/л |         |     |     | Частота каллусообразования, в % |
|------------------|--------------------------------------|---------|-----|-----|---------------------------------|
|                  | 2,4-Д                                | Кинетин | НУК | БАП |                                 |
| 1                | 1                                    | 1       | –   | –   | >80 %                           |
| 2                | –                                    | –       | 1   | 1   | >80 %                           |

Экспланты культивировали в условиях термостатируемого помещения (25–27 °С) при относительной влажности воздуха 50–60 %. Частоту каллусообразования определяли по количеству эксплантов, давших каллус, от общего числа эксплантов. В конце пассажа проводили визуальную оценку интен-

сивности образования каллуса и его описание. Далее полученные каллусы пересаживали на питательные среды с другими концентрациями регуляторов роста и рассчитывали кривую роста по биомассе полученного материала в сыром весе. Морфологический анализ клеток полученных каллусов выполняли на световых микроскопах PrimoStar (Carl Zeiss) и Bresser Bino Researcher (PCE).

### Результаты и обсуждение

Частота каллусообразования в питательных средах с двумя разными сочетаниями регуляторов роста получилась выше 80 %. Морфологически полученные каллусные культуры в обеих средах были светло-желтоватого оттенка. Биомасса первичного каллуса, полученная на питательной среде с добавлением 2,4-Д и кинетина, была плотная (рис. 1), первичный каллус на среде с добавлением БАП и НУК отличался легко отделяемой рыхлой структурой (рис. 2).



Рис. 1. Первичные каллусы *Artemisia vulgaris* L. на питательной среде с добавлением 2,4-Д и кинетина (на 90-е сут)



Рис. 2. Первичные каллусы *Artemisia vulgaris* L. на питательной среде с добавлением БАП и НУК (на 90-е сут)

Выполненная работа подтвердила ранее полученные данные о том, что оптимальным для индукции каллусогенеза для *Artemisia vulgaris* L. является сочетание регуляторов роста БАП и НУК [9], однако в нашей работе результат получен при меньшей в 3 раза концентрации НУК. Следует также отметить, что сочетание 2,4-Д с другими регуляторами роста, как НУК и цистеин, также индуцирует образование каллуса [10], что также наблюдается при данной работе с формированием достаточно плотной массы каллусов.

Морфологическое исследование клеток полученных каллусов *Artemisia vulgaris* L. под световым микроскопом показало преобладание клеток округло-яйцевидной формы с ярко выраженным ядром (рис. 3, 4).

Полученные каллусные культуры были отобраны для дальнейшей пересадки на питательную среду МС с разными концентрациями регуляторов роста (2,4-Д, НУК, кинетин, БАП) (табл. 2). В течение одного цикла (21 сут) нами была исследована динамика роста сырой массы каллусов в четырех повторностях.

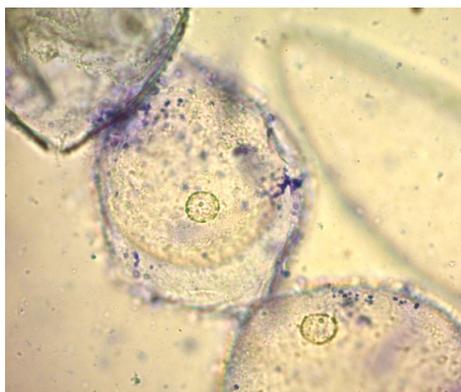


Рис. 3. Клетки первичного каллуса *Artemisia vulgaris* L., полученного на питательной среде с добавлением 2,4-Д и кинетина (ув. × 400)



Рис. 4. Клетки первичного каллуса *Artemisia vulgaris* L., полученного на питательной среде с добавлением БАП и НУК (ув. × 400)

Таблица 2

Состав регуляторов роста для получения каллусных культур *Artemisia vulgaris* L. и учет динамики роста биомассы

| Номер каллуса | Содержание регуляторов роста, в мг/л |         |     |     | Максимальный вес биомассы каллусной культуры в течение цикла, г | Разница между первичным и максимальным весом биомассы каллусной культуры, г |
|---------------|--------------------------------------|---------|-----|-----|---|---|
|               | 2,4-Д                                | Кинетин | НУК | БАП |   |   |
| 1             | 1                                    | 1       | 1   | –   | 1,0087  | 0,1678  |
| 2             | 1                                    | –       | 1   | 1   | 1,3092  | 0,6281  |

В результате полученных данных построили кривую роста в обоих вариантах использованных питательных сред (рис. 5). На питательной среде с добавлением 2,4-Д, НУК и кинетина максимальное увеличение сырой массы весом в 1,0087 г наблюдалось на 11-е сут после пересадки, разница между первичным показателем и максимальным весом биомассы равнялась 0,1678 г. С 14-х сут культивирования наблюдалось уменьшение биомассы каллуса. На втором варианте питательной среды с добавлением 2,4-Д, БАП и НУК максимальное увеличение сырой массы каллуса в 1,3092 г было достигнуто на 14-е сут после пересадки, и разница между первичным показателем и максимальным весом биомассы равнялась 0,6281 г. С 18-х сут наблюдалось уменьшение биомассы формирующегося каллуса.

В ранних исследованиях также было отмечено увеличение сырой массы каллуса *Artemisia vulgaris* L. при добавлении в питательную среду БАП в концентрации 1 мг/л, однако при этом прирост биомассы за цикл составил всего 0,278 г [11].

В целом полученные нами каллусные культуры *Artemisia vulgaris* L. отличались формированием большего веса биомассы и обладали мягкой легко отделяемой рыхлой структурой бледно-желтого цвета (рис. 6, 7).

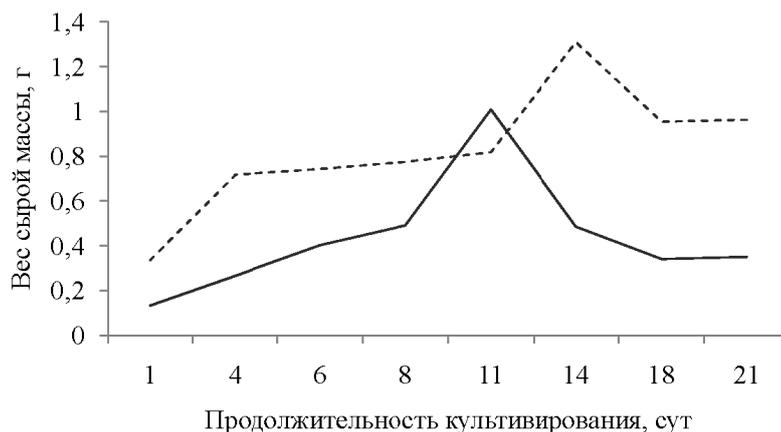


Рис. 5. Кривая роста каллуса *Artemisia vulgaris* L. на питательной среде МС с добавлением 2,4-Д, НУК и кинетина (сплошная линия) и 2,4-Д, БАП и НУК (прерывистая линия)

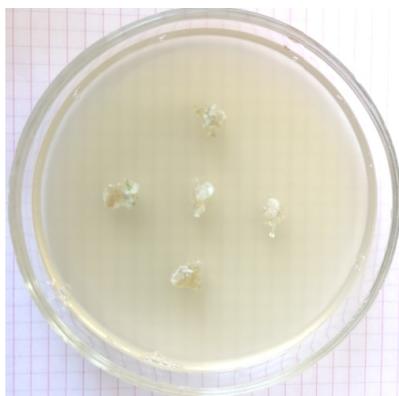


Рис. 6. Каллусная культура *Artemisia vulgaris* L. на питательной среде с добавлением 2,4-Д, НУК и кинетина

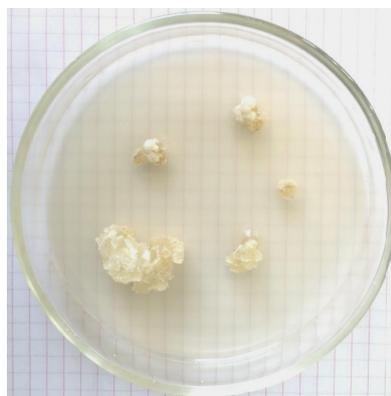


Рис. 7. Каллусная культура *Artemisia vulgaris* L. на питательной среде с добавлением 2,4-Д, БАП и НУК

### Заключение

Получены первичные каллусы *Artemisia vulgaris* L. из листовых эксплантов, взятых из стерильных растений, культивированных на основе семян дикорастущего растения. Оптимизирован гормональный состав питательной среды для получения и дальнейшего введения каллусной культуры *Artemisia vulgaris* L. Полученные первичные каллусы на питательной среде с добавлением 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и кинетина были плотными с желтоватым оттенком. На питательной среде с добавлением 6-бензиламинопурина и  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты первичные каллусы получились рыхлыми с желтоватым оттенком. В полученных первичных каллусах преобладали клетки округло-яйцевидной формы с ярко выраженным ядром.

Изучена динамика роста биомассы каллусной культуры *Artemisia vulgaris* L. Установлено, что при культивировании на питательной среде с добавлением 2,4-Д,  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты и 6-бензиламинопурина наблюда-

ется 14-суточный цикл развития каллуса *Artemisia vulgaris* L. и при этом его биомасса в 3 раза превышает биомассу каллуса, получаемого на питательной среде с 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой, кинетином и  $\alpha$ -нафтилуксусной кислотой при цикле развития в течение 11 сут.

#### **Библиографический список**

1. **Красноборов, И. М.** *Artemisia* L. – Полынь / И. М. Красноборов // Флора Сибири : в 14 т. / под ред. Л. И. Малышева, Г. А. Пешковой. – Новосибирск : Наука, 1997. – Т. 13. – 472 с.
2. **Захарова, В. И.** Разнообразие растительного мира Якутии / В. И. Захарова. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2005. – 328 с.
3. **Данилова, Н. С.** Краткий обзор полыней центральной Якутии / Н. С. Данилова, С. З. Борисова, Н. С. Иванова // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова. – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 11–17.
4. **Иванова, Н. С.** Декоративные растения Якутии : атлас-определитель / Н. С. Иванова, Н. С. Данилова, С. З. Борисова. – Москва : Фитон+, 2012. – 248 с.
5. Фитохимическая характеристика полыни обыкновенной *Artemisia vulgaris* L., произрастающей на территории Бурятии / С. В. Жигжитжапова, Т. Э. Соктоева, Л. Д. Раднаева, В. В. Тараскин, Б.-Ц. Б. Намзалов // Вестник Бурятского государственного университета. – 2012. – № S3. – С. 74–77.
6. **Govindaraj, S.** Mass propagation and essential oil analysis of *Artemisia vulgaris* / S. Govindaraj, B. D. Kumari, P. L. Cioni, G. Flamini // Journal of bioscience and bioengineering. – 2008. – Vol. 105 (3). – P. 176–183.
7. **Федоров, А. А.** Химический состав уэрэ ото (*Artemisia vulgaris* L.) как пищевого и лекарственного растения Якутии / А. А. Федоров, М. И. Ефремова, Н. К. Чирикова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-9. – С. 1981–1983.
8. **Бутенко, Р. Г.** Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе : учеб. пособие / Р. Г. Бутенко. – Москва : ФБК-ПРЕСС, 1989. – 160 с.
9. **Borzabad, R.** In vitro Plant Regeneration from Leaf Explants of *Artemisia vulgaris* L. – A Medicinal Herb / R. Borzabad, M. Sudarshana, M. Niranjana // Modern Applied Science. – 2010. – Vol. 4 (9). – DOI 10.5539/mas.v4n9p130.
10. **Kumar, S.** Effect of Amino Acids and Growth Regulators on Indirect Organogenesis in *Artemisia vulgaris* L. / S. Kumar, B. Kumari // Asian Journal of Biotechnology. – 2010. – Vol. 2 (1). – P. 37–45. – DOI 10.3923/ajbkr.2010.37.45.
11. **Hedayati, N.** Survey of Callogenesis by Two *Artemisia* Species (*Artemisia Vulgaris* and *Artemisia Deracunculus*) / N. Hedayati, R. Hosseini, B. Hedayati // Iranian Journal of Pharmaceutical Research. – 2013. – Vol. 12. – P. 684.

#### **References**

1. Krasnoborov I. M. *Flora Sibiri: v 14 t.* [Siberian flora: in 14 volumes]. Novosibirsk: Nauka, 1997, vol. 13, 472 p. [In Russian]
2. Zakharova V. I. *Raznoobrazie rastitel'nogo mira Yakutii* [The diversity of the plant world of Yakutia]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2005, 328 p. [In Russian]
3. Danilova N. S., Borisova S. Z., Ivanova N. S. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Bulletin of Noeth-Eastern Federal University in Yakutsk]. 2011, vol. 8, no. 1, pp. 11–17. [In Russian]
4. Ivanova N. S., Danilova N. S., Borisova S. Z. *Dekorativnye rasteniya Yakutii: atlas-opredelitel'* [Ornamental plants of Yakutia: atlas-determinant]. Moscow: Fiton+, 2012, 248 p. [In Russian]
5. Zhigzhitzhapova S. V., Soktoeva T. E., Radnaeva L. D., Taraskin V. V., Namzalov B.-Ts. B. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Banzarov Buryat State University]. 2012, no. S3, pp. 74–77. [In Russian]

6. Govindaraj S., Kumari B. D., Cioni P. L., Flamini G. *Journal of bioscience and bioengineering*. 2008, vol. 105 (3), pp. 176–183.
7. Fedorov A. A., Efremova M. I., Chirikova N. K. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2014, no. 11-9, pp. 1981–1983. [In Russian]
8. Butenko R. G. *Biologiya kletok vysshikh rasteniy in vitro i biotekhnologii na ikh osnove: ucheb. posobie* [Biology of cells of higher plants in vitro and biotechnology based on them: teaching aid]. Moscow: FBK-PRESS, 1989, 160 p. [In Russian]
9. Borzabad R., Sudarshana M., Niranjana M. *Modern Applied Science*. 2010, vol. 4 (9). DOI 10.5539/mas.v4n9p130.
10. Kumar S., Kumari B. *Asian Journal of Biotechnology*. 2010, vol. 2 (1), pp. 37–45. DOI 10.3923/ajbkr.2010.37.45.
11. Hedayati N., Hosseini R., Hedayati B. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 2013, vol. 12, p. 684.

---

**Кучарова Елена Валериевна**

ведущий инженер, учебно-научная лаборатория молекулярно-генетических и клеточных технологий, Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48)

E-mail: oleneek@mail.ru

**Kucharova Elena Valerievna**

Leading engineer, Educational-Scientific Laboratory of Molecular Genetic and Cellular Technologies, Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University in Yakutsk (48, Kulakovskogo street, Yakutsk, Russia)

**Охлопкова Жанна Михайловна**

кандидат биологических наук, доцент, биологическое отделение, Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48)

E-mail: zhm.okhlopkova@s-vfu.ru

**Okhlopkova Zhanna Mikhaylovna**

Candidate of biological sciences, associate professor, biological department, Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University in Yakutsk (48, Kulakovskogo street, Yakutsk, Russia)

**Антонова Елена Евгеньевна**

студентка, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48)

E-mail: jelena26.jl@gmail.com

**Antonova Elena Evgen'evna**

Student, North-Eastern Federal University in Yakutsk (48, Kulakovskogo street, Yakutsk, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Кучарова, Е. В. Получение каллусных культур полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) / Е. В. Кучарова, Ж. М. Охлопкова, Е. Е. Антонова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 3–11. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-1.

А. А. Богачев, Н. А. Гаврилова,  
Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова, Т. А. Пономарева

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТНОГО И ЖИРНО-КИСЛОТНОГО СОСТАВА СЕМЯН ЛЬНА ПОСЕВНОГО

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Лен посевной (обыкновенный) – *Linum usitatissimum* L. сем. Льновые – Linaceae, широко применяется в традиционной медицине. Основной группой биологически активных соединений (БАС) в семенах льна посевного являются жирные кислоты, в том числе линолевая, линоленовая и олеиновая. Благодаря наличию таких полиненасыщенных жирных кислот (омега кислоты) семена льна оказывают широкий спектр фармакологических эффектов: гипохолестеринемический, противовоспалительный, антиоксидантный. В настоящее время получено большое количество новых сортов льна, семена которых имеют значительные отличия. В современной медицине семена льна используются как источники полисахаридов, при этом не учитываются жирно-кислотный состав и соотношение омега-6 и омега-3 полиненасыщенных жирных кислот. В последнее десятилетие выведено большое количество новых сортов с различным аминокислотным и жирно-кислотным составом, содержание данных биологически активных соединений недостаточно изучено. В связи с этим представляется актуальным исследование жирно-кислотного состава льна посевного семян. Цель исследования – изучить компонентный и жирно-кислотный состав семян современных сортов льна посевного.

*Материалы и методы.* В качестве материала для исследования использовали образцы порошкового сырья льна шести сортов: Исток, Линола +, Северный, Брестский, Карабалыкский, Белочка. Содержание жира определяли в аппаратах Сокслета (метод обезжиренного остатка); содержание протеина – методом титрования в аппарате Кьельдаля; содержание клетчатки – по Геннебергу и Штоману в модификации ЦИНАО; содержание фосфора – путем озоления по Пиневиц в модификации Куркаева спектрофотометрическим методом при длине волны 670 нм. Изучение жирно-кислотного состава масла семян льна проводили методом газожидкостной хроматографии после предварительного перевода жирных кислот в метиловые эфиры по методике ГОСТ 31665–2012.

*Результаты.* В результате проведенного анализа было выявлено, что семена льна отличаются масличностью и содержанием протеина, суммарное количество которых варьируется в среднем от 55 до 75 % от общей массы. Максимальное количество протеина отмечено в семенах сортов Линола + (25,97 %), Белочка (25,10 %), а жирного масла – в семенах сортов Исток (46,52 %), Северный (45,17 %), Брестский (44,25 %). Были идентифицированы 16 жирных кислот и установлены их количественные доли. В одинаковых условиях выращивания содержание основных жирных кислот в семенах льна сортоспецифично по количественному соотношению полиненасыщенных жирных кислот.

В целом масло, полученное из семян льна, характеризуется высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот (75–90 %), в том числе полиненасыщенных (60–80 %). Из ненасыщенных (непредельных) жирных кислот преобладают линоленовая, линолевая, олеиновая; из предельных – пальмитиновая.

**Выводы.** Семена льна обладают высокой пищевой ценностью, обусловленной повышенным содержанием протеина и жирного масла, суммарное количество которых составляет 60–75 %. Наибольшей масличностью обладают семена сортов: Исток (46,52 %), Северный (45,17 %) и Брестский (44,25 %). Наибольшее количество клетчатки содержит сырье масличного льна сортов: Брестский (10,91 %), Карабалькский (11,60 %), Белочка (11,70 %). По содержанию пальмитиновой кислоты лидирует масло сорта Линола + (6,682 %), стеариновой – сорта Брестский (5,862 %), олеиновой – сорта Белочка (27,987 %), линолевой – сорта Исток (69,161 %), линоленовой – сорта Брестский (55,637 %).

**Ключевые слова:** семена льна, химический состав, масло, жирные кислоты.

*A. A. Bogachev, N. A. Gavrilova,  
E. E. Kurdyukov, E. F. Semenova, T. A. Ponomareva*

## COMPARATIVE STUDY OF COMPONENT AND FATTY-ACID COMPOSITION OF FLAX SEEDS

### **Abstract.**

**Background.** Flax seed – *Linum usitatissimum* L. family. Flax – *Linaceae*, widely used in traditional medicine. The main group of biologically active compounds (BAS) are fatty acids, including linoleic, linolenic and oleic. Due to the presence of polyunsaturated fatty acids (omega acids), it has a wide range of pharmacological effects: hypocholesterolemic, anti-inflammatory, and antioxidant. Currently, a large number of new flax varieties have been obtained, the seeds of which have significant differences. In modern medicine, flax seeds are used as sources of polysaccharides, while not taking into account the fatty acid composition and the ratio of  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids. In the last decade, a large number of new varieties with different amino acid and fatty acid composition have been developed, and the content of these biologically active compounds has not been sufficiently studied. In this regard, it seems relevant to study the fatty acid composition of flax seeds. Objective – to study the component and fatty-acid composition of seeds of modern varieties of flax seed.

**Materials and methods.** As a material for the study, samples of powdered raw flax of six varieties were used: Istok, linola +, Severny, Brestsky, Karabalyksky, Belochka. Fat content was determined in the Soxhlet apparatus method (skim balance); protein – titration in the Kjeldahl apparatus; fiber – to Henneberg and Shimano in the modification of TIN; phosphorus content – by combustion at Pinevich modification Kurchaeva spectrophotometrically at a wavelength of 670 nm. The study of the fatty acid composition of flax seed oil was performed by gas-liquid chromatography after preliminary conversion of fatty acids to methyl esters according to GOST 31665–2012.

**Results.** As a result of the analysis, it was found that flax seeds differ in oil content and protein content, the total number of which varies on average from 55 to 75 % of the total weight. The maximum amount of protein was found in the raw materials of Linol + (25,97 %), Belochka (25,10 %) and fatty oil – Istok (46,52 %), Severny (45,17 %), and Brest (44,25 %) varieties. Sixteen fatty acids were identified and their quantitative composition was established. Under the same growing condi-

tions, the content of basic fatty acids is varietally specific with a different ratio of polyunsaturated fatty acids. The oil is characterized by a high content of unsaturated fatty acids (75–90 %), including polyunsaturated (60–80 %). From unsaturated fatty acids, linolenic, linoleic, and oleic acids predominate; from marginal ones, palmitic.

*Conclusions.* Flax seeds have a high nutritional value due to the high content of protein and fatty oil, the total amount of which is 60–75 %. The seeds of the following varieties have the highest oil content: Istok (46,52 %), Severny (45,17 %), and Brestsky (44,25 %). The largest amount of fiber contains raw oilseed flax varieties: Brest (10,91 %), Karabalyk (11,60 %), Belochka (11,70 %). In terms of palmitic acid content, the leading fatty oil is Linola + (6,682 %), stearic – Brest (5,862 %), oleic – Belochka (27,987 %), linoleic – Istok (69,161 %), linolenic – Brest (55,637 %).

**Keywords:** flax seeds, chemical composition, oil, fatty acid.

Состав и влияние семян льна и продуктов их переработки на организм человека изучают многие ученые из разных стран. Пищевую ценность семян льна определяют жиры, витамины, минеральные вещества, пентозаны и пищевые волокна [1–6]. Однако такие биологически активные соединения, как жирные кислоты и аминокислоты, содержащиеся в семенах льна, пока недостаточно исследованы. В частности, не изучено варьирование содержания жирных кислот в масле семян льна различных сортов. Установлено, что различия в соотношении полиненасыщенных жирных кислот в масле семян льна влияют на его фармакологический эффект [7–11]. В связи с этим представляется актуальным исследование компонентного состава семян и жирно-кислотного состава масла семян льна посевного.

### **Материалы и методы**

В качестве материала для исследования использовали порошковые семена льна шести сортов: Исток, Карабалькский, Северный, Линола +, Брестский, Белочка (табл. 1). Для анализа отбирали по пять образцов каждого сорта.

Определение химического состава сырья осуществляли общепринятыми методиками: методом обезжиренного остатка в аппаратах Сокслета определяли содержание жира; методом титрования в аппарате Кьельдаля определяли содержание протеина; содержание фосфора – путем озоления по Пиневич в модификации Куркаева спектрофотометрическим методом при длине волны 670 нм; содержание клетчатки – по Геннебергу и Штоману в модификации ЦИНАО [12]. Все измерения проведены в пятикратных аналитических повторностях.

Изучение жирно-кислотного состава масла семян льна проводили методом газожидкостной хроматографии после предварительного перевода жирных кислот в метиловые эфиры по методике ГОСТ 31665–2012 [13–16] (рис. 1). Все исследования жирно-кислотного состава масла семян льна проведены в трехкратных аналитических повторностях (табл. 2).

Статистическую обработку результатов экспериментального исследования проводили с помощью пакета статистических программ Statistica 6.0 и BIOSTAT. 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  $M \pm m$ .

Таблица 1

Химический состав семян льна шести сортов, % ( $M \pm m$ )

| Сорт         | Протеин       | Фосфор       | Жирное масло  | Клетчатка     | Общая зола  | Зола, не растворимая в HCl | Влажность сырья |
|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|----------------------------|-----------------|
| Исток        | 21,21 ± 0,09  | 0,56 ± 0,05  | 46,52 ± 0,09* | 8,42 ± 0,06   | 3,95 ± 0,12 | 0,37 ± 0,04                | 6,31 ± 0,02     |
| Северный     | 20,72 ± 0,12  | 0,58 ± 0,04  | 45,17 ± 0,08* | 10,17 ± 0,05  | 3,20 ± 0,05 | 0,42 ± 0,03                | 5,71 ± 0,03     |
| Линола +     | 25,97 ± 0,04* | 0,59 ± 0,04  | 43,52 ± 0,09* | 9,21 ± 0,06   | 4,21 ± 0,05 | 0,42 ± 0,04                | 5,82 ± 0,03     |
| Брестский    | 24,67 ± 0,07* | 0,67 ± 0,05* | 44,25 ± 0,10* | 10,91 ± 0,07  | 3,86 ± 0,09 | 0,39 ± 0,05                | 5,93 ± 0,02     |
| Карабальский | 21,30 ± 0,10  | 0,55 ± 0,06  | 36,15 ± 0,11  | 11,60 ± 0,05* | 3,87 ± 0,09 | 0,40 ± 0,04                | 6,12 ± 0,04     |
| Белочка      | 25,10 ± 0,03* | 0,52 ± 0,07  | 34,50 ± 0,012 | 11,70 ± 0,08* | 4,01 ± 0,06 | 0,41 ± 0,07                | 6,10 ± 0,05     |

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

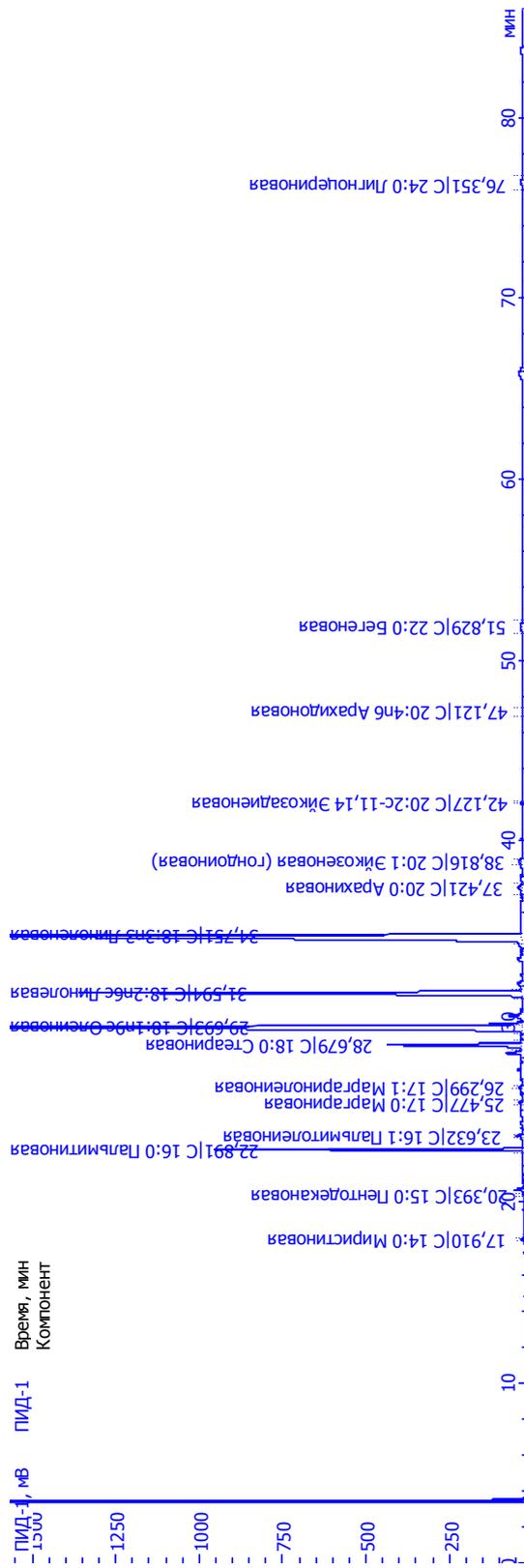


Рис. 1. Хроматограмма масла семян льна

Таблица 2

Жирно-кислотный состав масла в семенах льна, % ( $M \pm m$ )

| Название ЖК                  | Сорт           |                |                |                |                |                |  |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
|                              | Лянола +       | Исток          | Карабалькский  | Северный       | Брестский      | Белочка        |  |
| Миристиновая $C_{14}^0$      | 0,05 ± 0,014   | 0,05 ± 0,015   | 0,04 ± 0,012   | 0,04 ± 0,010   | 0,03 ± 0,012   | 0,04 ± 0,014   |  |
| Пентадекановая $C_{15}^0$    | 0,02 ± 0,012   | 0,02 ± 0,014   | 0,02 ± 0,011   | 0,02 ± 0,011   | 0,02 ± 0,012   | 0,02 ± 0,011   |  |
| Пальмитиновая $C_{16}^0$     | 6,68 ± 0,021*  | 6,55 ± 0,025*  | 5,49 ± 0,023   | 5,62 ± 0,026   | 4,93 ± 0,021   | 5,05 ± 0,028   |  |
| Стеариновая $C_{18}^0$       | 4,45 ± 0,022   | 3,99 ± 0,027   | 3,84 ± 0,021   | 4,01 ± 0,025   | 5,86 ± 0,029*  | 3,69 ± 0,012   |  |
| Пальмитолеиновая $C_{16}^1$  | 0,11 ± 0,013*  | 0,10 ± 0,012   | 0,08 ± 0,012   | 0,06 ± 0,014   | 0,06 ± 0,012   | 0,05 ± 0,011   |  |
| Мargarиновая $C_{17}^1$      | 0,07 ± 0,011   | 0,06 ± 0,011   | 0,07 ± 0,012   | 0,06 ± 0,010   | 0,07 ± 0,014   | 0,06 ± 0,012   |  |
| Мargarинолеиновая $C_{17}^1$ | 0,05 ± 0,014   | 0,04 ± 0,012   | 0,04 ± 0,010   | 0,05 ± 0,016   | 0,05 ± 0,012   | 0,04 ± 0,012   |  |
| Олеиновая $C_{18}^1$         | 17,45 ± 0,414  | 14,88 ± 0,446  | 18,71 ± 0,517  | 19,84 ± 0,562* | 17,99 ± 0,483  | 27,99 ± 0,512* |  |
| Линоленовая $C_{18}^3$       | 4,08 ± 0,034   | 4,54 ± 0,032   | 54,49 ± 0,541* | 54,03 ± 0,421* | 55,64 ± 0,141* | 48,03 ± 0,123* |  |
| Арахидиновая $C_{20}^0$      | 0,14 ± 0,012   | 0,12 ± 0,014   | 0,12 ± 0,010   | 0,13 ± 0,011   | 0,17 ± 0,011*  | 0,15 ± 0,013   |  |
| Линолевая $C_{18}^2$         | 66,36 ± 0,913* | 69,16 ± 0,962* | 14,64 ± 0,372  | 15,53 ± 0,437  | 14,78 ± 0,326  | 14,10 ± 0,218  |  |
| Гондиновая $C_{20}^1$        | 0,13 ± 0,010   | 0,13 ± 0,011   | 0,18 ± 0,022*  | 0,13 ± 0,081   | 0,14 ± 0,091   | 0,24 ± 0,151*  |  |
| Эйкозадиеиновая $C_{20}^2$   | 0,06 ± 0,012*  | 0,06 ± 0,011*  | 0,04 ± 0,013   | 0,02 ± 0,011   | 0,03 ± 0,010   | 0,03 ± 0,011   |  |
| Арахидиновая $C_{20}^4$      | 0,04 ± 0,011   | сл.            | 0,05 ± 0,014   | 0,04 ± 0,015   | 0,06 ± 0,013   | 0,05 ± 0,011   |  |
| Бегеновая $C_{22}^0$         | 0,16 ± 0,012*  | 0,15 ± 0,015*  | 0,09 ± 0,018   | 0,11 ± 0,019   | 0,09 ± 0,017   | 0,12 ± 0,018   |  |
| Лигноцериновая $C_{24}^0$    | 0,09 ± 0,021   | 0,16 ± 0,081*  | 0,09 ± 0,025   | 0,09 ± 0,019   | 0,09 ± 0,016   | 0,09 ± 0,017   |  |

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

### **Результаты и обсуждение**

Сравнительное изучение жирно-кислотного состава семян шести современных сортов льна обыкновенного как источника жирно-масличного сырья показало эффективное их использование в медицинской практике. Проведенный химический анализ показал, что семена изученных сортов льна содержат ряд биологически активных соединений, среди которых преобладают белки и жиры. Их суммарное количество составляет в среднем 64–70 % от общей массы семян (см. табл. 1). Максимальное количество протеина отмечено в семенном сырье сортов Линола + (25,97 %), Белочка (25,10 %), Брестский (24,67 %), а жирного масла – у сортов Исток (46,52 %), Северный (45,17 %), Брестский (44,25 %). Наибольшее количество клетчатки содержат семена сортов Брестский (10,91 %), Карабалыкский (11,60 %), Белочка (11,70 %).

В результате изучения жирно-кислотного состава липидов семян некоторых современных сортов льна было выявлено, что из ненасыщенных жирных кислот преобладают линоленовая и линолевая кислоты, относящиеся к омега-6 и омега-3 кислотам, а из насыщенных – пальмитиновая и стеариновая кислоты (см. рис. 1, табл. 2) [17, 18].

Одной из основных насыщенных кислот у изучаемых сортов льна является пальмитиновая кислота, участвующая в метаболизме жирных кислот. Содержание пальмитиновой кислоты варьируется от 4,93 % (Брестский) до 6,68 % (Линола +). Наибольшая вариация содержания жирных кислот наблюдалась у сортов с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, таких как линоленовая и линолевая кислоты. При этом отмечаются некоторые зависимости в содержании данных кислот. Сорта (например, Исток) с высоким содержанием линолевой кислоты (69,16 %) содержали, как правило, незначительное количество линоленовой кислоты (4,54 %). Отдельные жирные кислоты – арахидовая и гондоиновая – присутствовали в масле семян льна в незначительных количествах – до 0,24 %. Масло семян льна, содержащее значительное количество линолевой кислоты, устойчиво к быстрому окислению. И наоборот, высокое содержание линоленовой кислоты в семенах льна обуславливает низкую стойкость масла к окислению [17, 19]. Семена льна, содержащие большое количество полиненасыщенных жирных кислот, можно рекомендовать как гипохолестеринемическое средство.

### **Заключение**

1. Методом газожидкостной хроматографии был определен жирно-кислотный состав масла семян льна современных сортов, характеризующийся присутствием 16 жирных кислот. Среди них доминировали линолевая – от 14,10 до 69,16 %, линоленовая – от 4,08 до 55,64 % и олеиновая кислота – от 14,88 до 27,99 %.

2. Наличие большой доли олеиновой, линолевой и эйкозеновой кислот в масле семян льна определяет актуальность его возделывания в лекарственном растениеводстве.

### **Библиографический список**

1. **Курдюков, Е. Е.** Содержание омега-кислот в липидах семян льна / Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова // Актуальные вопросы медицины : сб. науч. тр. XVIII меж-

- регион. науч. конф. памяти акад. Н. Н. Бурденко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – С. 135, 136.
2. **Пащенко, Л. П.** Характеристика семян льна и их применение в производстве продуктов питания / Л. П. Пащенко, А. С. Прохорова, Я. Ю. Кобцева, И. А. Никитин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 7. – С. 56, 57.
  3. **Фадеева, Т. М.** Липиды лекарственного сырья льна и определение липолитической активности / Т. М. Фадеева, Е. Е. Курдюков, О. В. Понкротова // Сборник научных статей V Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых «Проблемы и перспективы развития современной медицины» (г. Гомель, 7–8 мая 2013 г.) : в 4 т. – Гомель : ГомГМУ, 2013. – Т. 4. – С. 110–112.
  4. Characteristics of high alpha-linolenic acid accumulation in seed oils / S. Rao, M. Abdel-Reheem, R. Bhella, C. McCracken, D. Hildebrand // *Lipids*. – 2008. – Vol. 43. – P. 749–755.
  5. **Nykter, M.** Quality characteristics of edible linseed oil / M. Nykter, H. R. Kymäläinen // *Agricultural and Food Science*. – 2006. – Vol. 15. – P. 402–413.
  6. **Курдюков, Е. Е.** Фармакологическое действие лекарственного растительного сырья и препаратов на основе льна / Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова // Материалы II Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны» (г. Пенза, 26–27 октября 2012 г.). – Москва : Информрегистр. Депозитарий электронных изданий, 2012. – С. 275–279.
  7. **Курдюков, Е. Е.** Определение микробиологической чистоты сырья льна и стевии / Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова // 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. Герашенко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. – С. 137–140.
  8. **Курдюков, Е. Е.** Фармакологически ценная форма льна культурного / Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова, И. Я. Моисеева // Медицинские технологии в охране здоровья здоровых, в диагностике, лечении и реабилитации больных : сб. ст. VIII науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. В. И. Струкова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – С. 110–112.
  9. О разработке биологически активной добавки к пище «Стелинол» / Е. Ф. Семенова, Т. М. Фадеева, Е. Е. Курдюков, С. Ю. Герасимова, Д. А. Кузнецова // III Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы медико-биологической и фармацевтической промышленности. Развитие инновационного и кадрового потенциала Пензенской области». – Москва : Информрегистр. Депозитарий электронных изданий, 2013. – С. 74–79.
  10. **Гусева, Д. А.** Сравнительный анализ льняного масла трех вариантов холодного отжима / Д. А. Гусева, Н. Н. Прозоровская, М. А. Санжаков, А. В. Широнин // Масложировая промышленность. – 2011. – № 3. – С. 30–32.
  11. Фармакологическая и пищевая ценность семян льна культурного *Linum usitatissimum* L. / Е. Ф. Семенова, Т. М. Фадеева, Е. В. Преснякова, Е. Е. Курдюков, О. А. Водопьянова // IV Международный студенческий научный форум 2012. – Москва : РАЕ, 2012. – С. 1–9. – URL: [www.rae.ru/forum2012](http://www.rae.ru/forum2012)
  12. Экспертиза масел, жиров и продуктов их переработки. Качество и безопасность : учеб. пособие / Е. П. Корнена, С. А. Калманович, Е. В. Мартовщук, Л. В. Терещук, В. И. Мартовщук, В. М. Поздняковский. – Новосибирск : Сибирское университетское изд-во, 2007. – 272 с. – (Экспертиза пищевых продуктов и продовольственного сырья).
  13. Хроматографический анализ жирнокислотного состава липидов – метод идентификации биологических объектов / В. Н. Леонтьев, В. В. Титок, В. П. Курченко, И. В. Федоренко, И. В. Лайковская, О. С. Игнатовец // Труды Белорусского госу-

- дарственного технологического университета. Сер. IV, Химия и технология органических веществ. – 2005. – Т. 1, № 4. – Вып. XIII. – С. 100–101.
14. ГОСТ 1129–2013. Масло подсолнечное. Техническое условие. – Москва, 2014.
15. **Шаповалова, Е. Н.** Хроматографические методы анализа / Е. Н. Шаповалова, А. В. Пирогов. – Москва : МГУ, 2010. – 109 с.
16. ГОСТ 31665–2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот. – Москва, 2012. – 8 с.
17. Состав жирных кислот семян льна (*Linum usitatissimum* L.) / А. В. Поляков, О. Ф. Чикризова, Л. В. Никитина, И. Рутковска-Краусе, М. Бискупский // Интродукция нетрадиционных и редких сельскохозяйственных растений : материалы III Междунар. науч.-производ. конф. (14–19 июня 2000 г.) / ред.: А. Ф. Блинохватов, А. Н. Кшникаткина. – Пенза, 2000. – С. 10–11.
18. **Аткинс, Р.** Жирные кислоты / Р. Аткинс // Биодобавки. Природная альтернатива лекарствам. – Москва, 2004. – С. 388–422.

### **References**

1. Kurdyukov E. E., Semenova E. F. *Aktual'nye voprosy meditsiny: sb. nauch. tr. XVIII mezhregion. nauch. konf. pamyati akad. N. N. Burdenko* [Actual issues of medicine: proceedings of XVIII Interregional scientific conference commemorating academician N. N. Burdenko]. Penza: Izd-vo PGU, 2012, pp. 135, 136. [In Russian]
2. Pashchenko L. P., Prokhorova A. S., Kobtseva Ya. Yu., Nikitin I. A. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2004, no. 7, pp. 56, 57. [In Russian]
3. Fadeeva T. M., Kurdyukov E. E., Ponkratova O. V. *Sbornik nauchnykh statey V Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem studentov i molodykh uchenykh «Problemy i perspektivy razvitiya sovremennoy meditsiny» (g. Gomel', 7–8 maya 2013 g.): v 4 t.* [Proceedings of V Republican scientific and practical conference with international participation of students and young scientists “Issues and prospects for the development of modern medicine” (Gomel, May 7–8, 2013): in 4 volumes]. Gomel: GomGMU, 2013, vol. 4, pp. 110–112. [In Russian]
4. Rao S., Abdel-Reheem M., Bhella R., McCracken C., Hildebrand D. *Lipids*. 2008, vol. 43, pp. 749–755.
5. Nykter M., Kymäläinen H. R. *Agricultural and Food Science*. 2006, vol. 15, pp. 402–413.
6. Kurdyukov E. E., Semenova E. F. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Molodezh' i nauka: modernizatsiya i innovatsionnoe razvitie strany» (g. Penza, 26–27 oktyabrya 2012 g.)* [Proceedings of II International scientific and practical conference of students and young scientists “Youth and science: modernization and innovative development of the country” (Penza, October 26–27, 2012)]. Moscow: Informregistr. Depozitariy elektronnykh izdaniy, 2012, pp. 275–279. [In Russian]
7. Kurdyukov E. E., Semenova E. F. *Aktual'nye problemy meditsinskoj 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 – 2017: proceedings of VI International scientific conference (Penza, September 14–15, 2017)]. Penza: Izd-vo PGU, 2017, pp. 137–140. [In Russian]
8. Kurdyukov E. E., Semenova E. F., Moiseeva I. Ya. *Meditsinskie tekhnologii v okhrane zdorov'ya zdorovykh, v diagnostike, lechenii i reabilitatsii bol'nykh: sb. st. VIII nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Medical technologies in the protection of health care, diagnosis, treatment and rehabilitation of patients: proceedings of VIII scientific and practical conference with international participation]. Penza: Izd-vo PGU, 2012, pp. 110–112. [In Russian]
9. Semenova E. F., Fadeeva T. M., Kurdyukov E. E., Gerasimova S. Yu., Kuznetsova D. A. *III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennye problemy*

- mediko-biologicheskoy i farmatsevticheskoy promyshlennosti. Razvitie innovatsionnogo i kadrovogo potentsiala Penzenskoy oblasti»* [III International scientific and practical conference “Modern issues of biomedical and pharmaceutical industry. Development of innovative and human potential of the Penza region”]. Moscow: Informregistr. Depozitarniy elektronnykh izdaniy, 2013, pp. 74–79. [In Russian]
10. Guseva D. A., Prozorovskaya N. N., Sanzhakov M. A., Shironin A. V. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [Oil and fat industry]. 2011, no. 3, pp. 30–32. [In Russian]
  11. Semenova E. F., Fadeeva T. M., Presnyakova E. V., Kurdyukov E. E., Vodop'yanova O. A. *IV Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy forum 2012* [IV International student scientific forum 2012]. Moscow: RAE, 2012, pp. 1–9. Available at: [www.rae.ru/forum2012](http://www.rae.ru/forum2012) [In Russian]
  12. Kornena E. P., Kalmanovich S. A., Martovshchuk E. V., Tereshchuk L. V., Martovshchuk V. I., Pozdnyakovskiy V. M. *Ekspertiza masel, zhirov i produktov ikh pererabotki. Kachestvo i bezopasnost': ucheb. posobie* [Examination of oils, fats and products of their processing. Quality and safety: teaching aid]. Novosibirsk: Sibirskoe universitetskoe izd-vo, 2007, 272 p. (Ekspertiza pishchevykh produktov i prodovol'stvennogo syr'ya). [In Russian]
  13. Leont'ev V. N., Titok V. V., Kurchenko V. P., Fedorenko I. V., Laykovskaya I. V., Ignatovets O. S. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. IV, Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv* [Proceedings of Belorussian State Technological University. Series IV, Chemistry and technology of organic substances]. 2005, vol. 1, no. 4, iss. XIII, pp. 100–101. [In Russian]
  14. *GOST 1129–2013. Maslo podsolnechnoe. Tekhnicheskoe uslovie* [Sunflower-seed oil. Technical condition]. Moscow, 2014. [In Russian]
  15. Shapovalova E. N., Pirogov A. V. *Khromatograficheskie metody analiza* [Chromatographic analysis methods]. Moscow: MGU, 2010, 109 p. [In Russian]
  16. *GOST 31665–2012. Masla rastitel'nye i zhiry zhivotnye. Poluchenie metilovykh efirov zhirnykh kislot* [State Standard 31665–2012. Vegetable oils and animal fats. Obtaining methyl esters of fatty acids]. Moscow, 2012, 8 p. [In Russian]
  17. Polyakov A. B., Chikrizova O. F., Nikitina L. V., Rutkovska-Krause I., Biskupskiy M. *Introduktsiya netraditsionnykh i redkikh sel'skokhozyaystvennykh rasteniy: materialy III Mezhdunar. nauch.-proizvod. konf. (14–19 iyunya 2000 g.)* [Introduction of unconventional and rare agricultural plants: proceedings of III International scientific and manufacturing conference (June 14–19, 2000)]. Penza, 2000, pp. 10–11. [In Russian]
  18. Atkins R. *Biodobavki. Prirodnaya al'ternativa lekarstvam* [Supplements. Natural alternative to medication]. Moscow, 2004, pp. 388–422. [In Russian]

---

**Богачев Андрей Александрович**

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

E-mail: [Skromnyy94@bk.ru](mailto:Skromnyy94@bk.ru)

**Bogachev Andrey Aleksandrovich**

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

**Гаврилова Наталья Александровна**

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

E-mail: [Natashagavril121314@icloud.com](mailto:Natashagavril121314@icloud.com)

**Gavrilova Natal'ya Aleksandrovna**

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

***Курдюков Евгений Евгеньевич***

кандидат фармацевтических наук,  
старший преподаватель, 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,  
senior lecturer, sub-department of general  
and clinical pharmacology, Penza State  
University (40, Krasnaya street, Penza,  
Russia)

***Семенова Елена Федоровна***

кандидат биологических наук,  
профессор, старший научный сотрудник,  
кафедра общей и клинической  
фармакологии, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: sef1957@mail.ru

***Semenova Elena Fedorovna***

Candidate of biological sciences, professor,  
senior staff scientist, sub-department of  
general and clinical pharmacology, Penza  
State University (40, Krasnaya street,  
Penza, Russia)

***Пономарева Татьяна Андреевна***

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

E-mail: tanecha2016@gmail.com

***Ponomareva Tat'yana Andreevna***

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

---

**Образец цитирования:**

Сравнительное изучение компонентного и жирно-кислотного состава семян льна посевного / А. А. Богачев, Н. А. Гаврилова, Е. Е. Курдюков, Е. Ф. Семенова, Т. А. Пономарева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 12–22. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-2.

УДК 591.557:599.322.2

DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-3

С. В. Титов, А. А. Кузьмин, М. Д. Симаков, Н. А. Картавов

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГИБРИДИЗАЦИИ КРАПЧАТОГО (*SPERMOPHILUS SUSLICUS* GÜLD.) И БОЛЬШОГО (*SPERMOPHILUS MAJOR* PALL.) СУСЛИКОВ В ШИРОКОЙ ЗОНЕ СИМПАТРИИ<sup>1</sup>

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Исследования гибридных зон и гибридных популяций животных в пространстве и времени являются одной из актуальных задач эволюционной биологии и зоологии. Применение в исследованиях гибридных зон и популяций молекулярно-генетических и биоакустических маркеров позволяет не только точно выявить гибридное происхождение особи, но проследить ее дальнейшую популяционную судьбу. Целью исследования было изучение современного состояния зоны симпатрии большого и крапчатого сусликов в Поволжье и выявление межвидовых гибридов в контактных поселениях по комплексу молекулярно-генетических маркеров и по параметрам акустических сигналов.

*Материалы и методы.* На территории Ульяновской области обследовано 35 поселений большого суслика, 27 – крапчатого, 6 – совместных (характеризующихся разобщением видов по микростациям), 3 – смешанных (без разобщения) поселений и 1 бывшее гибридное поселение в Чувашской Республике. В контактных поселениях ( $n = 9$ ) отловлено и помечено 217 особей обоих видов и возможных межвидовых гибридов. Молекулярно-генетические исследования проводили с целью точного определения видовой принадлежности отловленных в контактных поселениях особей и выявления гибридов по пяти маркерам (D-loop, Hox b5, p53, Zfx, SmcY). Биоакустический анализ проводили по записи предупреждающих об опасности сигналов сусликов, архивированных в формате \*WAV с частотой дискретизации 48 kHz и разрядностью 16 Bit. Частотные и интервальные параметры сигналов получены с помощью программ *Avisoft-Sonograph*. Проанализировано 148 сигналов взрослых больших ( $n = 11$ , 71 сигнал), крапчатых ( $n = 11$ , 61 сигнал) сусликов и 3 предполагаемых межвидовых гибридов (19 сигналов). Статистическая обработка данных проведена в программе STATISTICA 10.0.

*Результаты.* По состоянию на 2019 г. зона симпатрии большого и крапчатого сусликов претерпела значительные количественные и структурные перестройки. Из 72 обнаруженных в ее границах поселений 62 (86 %) являются од-

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-04-00687 а.

© Титов С. В., Кузьмин А. А., Симаков М. Д., Картавов Н. 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.

новидовыми (*S. major* – 35, 48,5 %; *S. suslicus* – 27, 37,5 %) и 10 контактными (14 %). Анализ генетической структуры 10 современных контактных поселений большого и крапчатого сусликов по молекулярным маркерам показал, что в 6 совместных поселениях были обнаружены только особи контактирующих видов. В отличие от совместных в 3 смешанных поселениях были зарегистрированы и гибридные особи. Проведенный пошаговый дискриминантный анализ выборок показателей звуковых сигналов больших ( $n = 11$ , 69 сигналов), крапчатых ( $n = 11$ , 56 сигналов) сусликов и межвидовых гибридов ( $n = 3$ , 18 сигналов) показал промежуточный характер наследования акустических признаков родительских видов у гибридных особей.

**Выводы.** Выявлена определенная связь состава контактных поселений и численности особей в них с фактами обнаружения в них гибридных особей. В случае депрессивной численности или полного отсутствия одного из контактирующих видов доля гибридных особей может достигать 75 % уровня. При высокой численности контактирующих видов в условиях отсутствия между ними микростационального разобщения в поселении могут быть зарегистрированы гибридные особи, являющиеся результатами спорадической гибридизации.

**Ключевые слова:** крапчатый суслик, большой суслик, межвидовая гибридизация, зона симпатрии, молекулярно-генетический анализ, биоакустический анализ, гибриды.

*S. V. Titov, A. A. Kuz'min, M. D. Simakov, N. A. Kartavov*

**NEW DATA ABOUT HYBRIDIZATION  
OF SPECKLED (*SPERMOPHILUS SUSLICUS* GÜLD.),  
AND RUSSET (*SPERMOPHILUS MAJOR* PALL.)  
GROUND SQUIRRELS IN A WIDE ZONE OF SYMPATRY**

**Abstract.**

**Background.** Studies of hybrid zones and animal populations of hybrids in space and time is an actual problem of evolution biology and zoology. Using of molecular markers and bioacoustics in study of hybrid zones and populations helps to reveal not only hybrid origin of individual but also its destiny in population. Goals of work were to study modern distribution and sympatry zone's state of Speckled and Russet Ground squirrels in Volga Region and to reveal interspecific hybrids in contact colonies basing on complex of molecular markers and parameters of acoustic signals.

**Materials and methods.** On the territory of Ulyanovsk region 72 colonies were surveyed, including 35 colonies of Russet Ground Squirrel, 27 colonies of Speckled Ground Squirrel, 6 combined colonies with specific separation on microstations, 3 mixed colonies without separation and 1 former hybrid colony in Chuvashiya. In a contact colonies ( $n = 9$ ) 217 samples were collected. Molecular genetic analysis was conducted on 5 markers (D-loop, Hoxb5, p53, Zfx, SmcY) for determination of individuals' origin. Bioacoustics analysis was based on records of warning signals, processed in \*WAV-format with 48 kHz discretization frequency and 16-bit depth. Frequency and interval parameters were obtain with *Avisoft-Sonograph* software. 148 signals of adult Russet ( $n = 11$ , 71 signals) and Speckled Ground squirrels ( $n = 11$ , 61 signals) and possible interspecific hybrids ( $n = 3$ , 19 signals) were processed. Statistical analysis of obtained data were perform in STATISTICA 10.0.

**Results.** Modern state of Russet and Speckled Ground squirrels' zone of sympatry quantitatively and structurally differs from previous. Among 72 observed colo-

nies 62 (86 %) are monospecific (*S. major* – 35, 48,5 %; *S. suslicus* – 27, 37,5 %) and only 10 are contact (14 %). Genetic structure analysis of 10 modern contact colonies showed that in 6 combined colonies only individuals of contact species were revealed. Unlike of those in 3 mixed colonies hybrids were registered. Stepwise discriminant analysis of acoustic signals' parameters united in three groups (Russet ( $n = 11$ , 69 signals) and Speckled ( $n = 11$ , 56 signals) Ground squirrels and their hybrids ( $n = 3$ , 18 signals)) revealed intermediate type of inheritance of parental acoustic signs by hybrids.

**Conclusions.** Definite relation between composition and individuals' number of contact colonies and facts of hybrids foundation in them was revealed. When individuals' number is depressed or even one of parental species totally absent share of hybrids can reach 75 %. When number of both species is high and there is no separation on microstations hybrids in such colonies were found very rare and probably were result of sporadic hybridization.

**Keywords:** speckled ground squirrel, russet ground squirrel, interspecific hybridization, zone of sympathy, molecular genetic analysis, bioacoustic analysis, hybrids.

Исследования гибридных зон и гибридных популяций животных в пространстве и времени являются одной из актуальных задач эволюционной биологии и зоологии [1–3]. Применение в исследованиях гибридных зон и популяций молекулярно-генетических и биоакустических маркеров позволяет не только точно выявить гибридное происхождение особи, но проследить ее дальнейшую популяционную судьбу в части возвратных скрещиваний с родительскими видами [4–7]. Такие исследования, прежде всего, актуальны для понимания механизма и последствий процесса естественной межвидовой гибридизации [8–10].

Несмотря на успешное в течение последних 30 лет изучение современных гибридных зон сусликов (Rodentia, Sciuridae, Spermophilus) в Поволжье, в частности гибридизации большого (*Spermophilus major* Pall.) и крапчатого (*S. suslicus* Guld.), слежение за зонами контакта и гибридными популяциями, а также выявление новых точек встречи видов и гибридных особей в одновидовых популяциях остаются перспективными научными задачами фундаментальных исследований межвидовой гибридизации [11–13].

В конце прошлого века в результате расселения большого суслика на правобережье Волги [14] возникла зона симпатрии этого вида с аборигенным крапчатым сусликом [15, 16]. В результате обследования зоны контакта (около 8000 км маршрута) этих видов на 2009 г. были обнаружены 105 поселений *S. suslicus*, 74 – *S. major* и 3 контактных поселения симпатрических видов [12, 15]. В обширной зоне симпатрии были выявлены узкие зоны гибридизации этих видов, в которых регистрировались межвидовые гибриды *S. major* × *S. suslicus*. При этом гибридизация этих видов, кроме одного случая формирования гибридной популяции (пос. Молодежный, Чувашская Республика), имела спорадический характер [12].

Целью исследования было изучение современного состояния зоны симпатрии большого и крапчатого сусликов в Поволжье и выявление межвидовых гибридов в контактных поселениях по комплексу молекулярно-генетических маркеров и по параметрам акустических сигналов.

Материалы и методы

Исследования зоны симпатрии большого и крапчатого сусликов проводили в ходе проведения полевых работ по изучению естественной гибридизации сусликов Поволжья в 2017–2019 гг. На территории Ульяновской области было обследовано 35 поселений большого суслика, 27 – крапчатого, 6 – совместных (характеризующихся разобшением видов по микростациям), 3 – смешанных (без разобшения) поселений и 1 бывшее гибридное поселение в Чувашской Республике (пос. Молодежный, Цивильский район) (рис. 1,а).

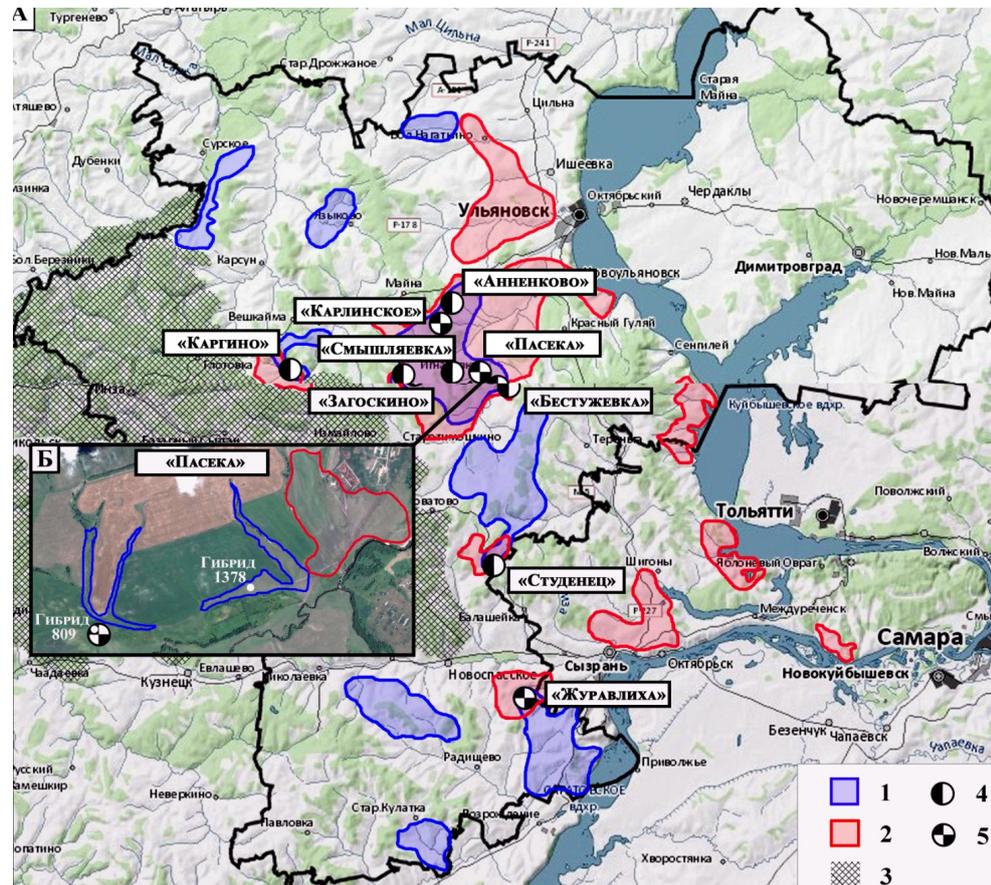


Рис. 1. Зона симпатрии большого и крапчатого сусликов на территории Ульяновской области (а) по данным на 2018–2019 гг. и карта-схема окрестностей смешанного поселения «Пасека» (б): 1 – метапопуляции крапчатого суслика; 2 – метапопуляции большого суслика; 3 – лесные массивы; 4 – совместные поселения; 5 – смешанные поселения. Названия контактных поселений приведены на карте

В контактных поселениях ( $n = 9$ ) было отловлено и помечено 217 особей обоих видов и возможных межвидовых гибридов. Молекулярно-генетические исследования были связаны с проведением анализа митохондриальной и ядерной ДНК с целью точного определения видовой принадлежности отловленных в контактных поселениях особей и выявления гибридов. Для отслеживания отцовских линий в качестве молекулярно-генетических

маркеров использовали ген *SmcY* (male-specific histocompatibility antigen), впервые протестированный нами для видов рода *Spermophilus* [17]. Анализ материнских линий проводили на основе анализа контрольного региона мтДНК (control region – D-loop), а также анализа видоспецифичности X-хромосомы – ген *ZfX* [17, 18]. Для диагностики гибридного происхождения особей и изучения генетической структуры поселений в качестве ядерных маркеров использовали видоспецифические ген *p53* и псевдоген *p53* [17–19]. Однако вследствие фактического отсутствия псевдогена *p53* у крапчатого суслика (видоспецифический признак – «0»-аллель) и трудности интерпретации подобных генетических данных от использования этого маркера в исследованиях пары гибридизирующих видов *S. major* × *S. suslicus* мы отказались и использовали апробированный нами маркер – *Hox b5* (homeobox-containing gene) [20].

ДНК выделяли из образцов ткани, зафиксированных после биопсии в этаноле (96 %) по общепринятой хлороформ-фенольной методике [21]. Полимеразную цепную реакцию (PCR) проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержащей 50 мМ Трис-НСl (рН 8,9), 20 мМ сульфата аммония, 20 мкМ ЭДТА, 170 мкг/мл бычьего сывороточного альбумина (BSA), смесь дезоксинуклеозидтрифосфатов (200 мкМ каждого из них), 2 мМ хлористого магния, 0,6 мкМ каждого из праймеров, 0,1–0,2 мкг ДНК и 2 ед. акт. Таq-полимеразы.

В биоакустическом анализе использовали записи предупреждающих об опасности сигналов сусликов, полученные с использованием портативного цифрового стереомагнитофона “Marantz PMD 670” и микрофона “SONY ECM737” непосредственно из живоловок после отлова зверьков. Звуки были записаны в формате \*WAV с частотой дискретизации 48 kHz и разрядностью 16 Bit. Частотные (начальная –  $F_{\text{нач}}$ , максимальная –  $F_{\text{макс}}$ , минимальная –  $F_{\text{мин}}$  и конечная частота –  $F_{\text{кон}}$ , кГц) и интервальный (длительность –  $D$ , мс) параметры сигналов получены с помощью программ *Avisoft-Sonograph*. Параметры звуковых сигналов снимали на спектрограммах (окно Хеннинга) с FFT длиной 256 kHz, 100 % рамкой, в режиме FeatTop (плоская вершина) и временным разрешением 50 % частотным перекрыванием.

Всего проанализировано 144 предупреждающих об опасности сигналов взрослых больших ( $n = 11$ , 69 сигнал), крапчатых ( $n = 11$ , 56 сигнал) сусликов и 3 предполагаемых межвидовых гибридов (18 сигналов) из смешанного поселения «Пасека» и близь расположенных одновидовых поселений (см. рис. 1,б).

Для статистической обработки результатов, имеющих нормальное распределение, использовали стандартные статистические параметры (среднее арифметическое,  $M$ ; ошибка среднего,  $m$ ; стандартное квадратичное отклонение,  $SD$ ). При парном сравнении средних показателей использовали параметрический  $t$ -критерий Стьюдента. При поиске дифференцирующих различий между двумя и более группами по комплексу признаков – пошаговый дискриминантный анализ. Для всех статистических тестов был установлен уровень значимости  $p < 0,05$ . Статистическая обработка данных проведена в программе STATISTICA 10.0.

### Результаты и обсуждение

Исследование зоны симпатрии большого и крапчатого суслика на территории Ульяновской области показало, что по состоянию на 2019 г. она пре-

терпела значительные количественные и структурные перестройки. Из 72 обнаруженных в ее границах поселений 62 (86 %) являются одновидовыми (*S. major* – 35, 48,5 %; *S. suslicus* – 27, 37,5 %) и 10 – контактными (14 %). Поселения «Анненково», «Бестужевка», «Загоскино», «Каргино», «Смышляевка» и «Студенец» ( $n = 6$ , 8 %) оказались совместными (с разобшением видов по микростациям биотопа местообитания) (рис. 1,а). Поселения «Журавлиха», «Карлинское», «Гимово» и «Пасека» ( $n = 4$ , 6 %) по своей пространственной структуре являлись смешанными (без разобшения видов). В целом отмечается значительная фрагментация ареалов родительских видов и заметно формирование метапопуляционной структуры. Высокая миграционная активность большого суслика и постепенное восстановление поселений крапчатого суслика после депрессии численности в сохранившихся биотопах местообитаний большого суслика и степного сурка создают предпосылки для увеличения доли контактных поселений *S. major* и *S. suslicus*, что становится очевидным при сравнении полученных данных с данными 1999 и 2011 гг. По состоянию на 1999 г. в зоне симпатрии большого и крапчатого сусликов было известно только 3 контактных поселения (1,6 %) из 182 обнаруженных в зоне симпатрии [15]. В дальнейшем на территории Ульяновской области, как и во всем Поволжье, наблюдалась масштабная депрессия численности сусликов, в результате которой по состоянию на 2011 г. в зоне симпатрии были зарегистрированы только 56 (95 %) одновидовых и 3 (5 %) контактных поселения [11, 12]. Кроме этого, существовавшее более 30 лет (1990–2013) гибридное поселение «Цивильск» (Чувашская Республика, Цивильский район, пос. Молодежный) по итогам обследования зоны симпатрии в 2019 г. прекратило свое существование и не имеет шанса для восстановления. Деградируемый вследствие прекращения выпаса скота биотоп, в котором располагалось это поселение, в 2019 г. был распахан под поле зерновых культур. Таким образом, в качестве перспективных мест исследования контакта большого и крапчатого суслика в зоне симпатрии следует признать контактные поселения этих видов на территории Ульяновской области.

Общей чертой всех обнаруженных контактных поселений большого и крапчатого сусликов была низкая численность особей в них. Исключение составляет лишь поселение «Карлинское», где численность зверьков достигает высоких показателей: *S. major* – до 10 ос/га, *S. suslicus* – до 20 ос/га.

Анализ генетической структуры 10 современных контактных поселений большого и крапчатого сусликов по молекулярным маркерам показал, что в 6 совместных поселениях были обнаружены только особи контактирующих видов (*m:m/s:s*, %): «Анненково» ( $n = 13$ ) – 62:0:38, «Бестужевка» ( $n = 18$ ) – 89:0:11, «Загоскино» ( $n = 9$ ) – 67:0:33, «Каргино» ( $n = 11$ ) – 82:0:18, «Смышляевка» ( $n = 12$ ) – 75:0:25 и «Студенец» ( $n = 5$ ) – 60:0:40. В отличие от совместных в смешанных поселениях были зарегистрированы и гибридные особи: «Журавлиха» ( $n = 5$ ) – 40:0:60, «Карлинское» ( $n = 160$ ) – 64:2:34, «Гимово» ( $n = 4$ ) – 25:75:0 и «Пасека» ( $n = 12$ ) – 67:17:16. При этом заметна определенная связь состава контактных поселений и численности особей в них с фактами обнаружения в них гибридных особей. В случае депрессивной численности или полного отсутствия одного из контактирующих видов (поселения «Пасека» и «Гимово») доля гибридных особей может достигать высокого уровня (до 75 %), что может служить основанием признания такого поселения гибридным. Кроме того, даже при высокой численности контакти-

рующих видов в условиях отсутствия между ними микростационального разобщения в поселении могут быть зарегистрированы гибридные особи, являющиеся результатами спорадической гибридизации. Этот вывод подтверждает поимка гибридной самки № 1378 близ смешанного поселения «Пасека» в 2019 г. (рис. 1,б). Гибридная особь была обнаружена на депрессивном участке ленточного поселения крапчатого суслика, расположенного на нераспаханном степном краю возделываемых сельскохозяйственных угодий. Самка имела генотип, указывающий на ее происхождение в результате прямого скрещивания самки *S. major* (*m*) и самца *S. suslicus* (*s*), т.е. она, вероятно, является гибридом первого поколения (F1): мтДНК (D-loop) – B2 (*m*); яДНК – НОХ 5 b5 (*m/s*), p53 (*m/s*), ZfX (*m/s*). Аналогичные данные по характеру гибридизации в контактных поселениях большого и крапчатого сусликов нами были получены ранее по результатам слежения за зоной симпатрии этих видов до 2009 г. [12], что подтверждает выявленные закономерности прохождения межвидовой гибридизации колониальных видов млекопитающих в широкой зоне симпатрии.

Для выявления характера наследования у гибридов признаков родительских видов был проведен стандартный статистический и дискриминантный анализы параметров звуковых сигналов особей, отловленных и изученных в смешанном поселении «Пасека» и соседних одновидовых популяциях. В анализ была включена выборка криков трех гибридных особей, отловленных в этой точке контакта двух видов сусликов: самка № 483, добытая в совместном поселении видов «Смышляевка» в 2008 г.; самка № 809, пойманная в смешанном поселении «Пасека» в 2011 г.; самка № 1378, отловленная близ последнего контактного поселения в 2019 г. Все гибридные особи имели митотипы, характерные для *S. major* в этой части ареала (C1, C1, B2 соответственно), что указывает на первичное скрещивание самок большого суслика с самцами крапчатого, как одного из основных видов межвидовых контактов, выявленного нами ранее при исследовании зоны симпатрии [11, 12].

Предупреждающие об опасности сигналы гибридных особей *S. major* × *S. suslicus* отличаются от криков родительских видов *S. major* и *S. suslicus* только по частотным показателям ( $t = 8,45 \div 16,10$ ,  $p < 0,0001$ ), по длительности сигналов различий не было обнаружено ( $t = 0,58$  и  $1,62$ ,  $p = 0,563$  и  $0,110$  соответственно) (табл. 1). При этом характерная только для большого суслика частотная модуляция  $H_{\text{мод}}$  (2,64 кГц) хотя и уменьшается в 2 раза, но сохраняется и у гибридных особей (1,66 кГц) (рис. 2).

Таблица 1

Частотные и интервальный показатели ( $M \pm m$ ) предупреждающих об опасности криков больших (*S. major*) и крапчатых (*S. suslicus*) сусликов и их межвидовых гибридов (*S. major* × *S. suslicus*)

| Группа особей,<br>$n_{\text{ос.}}/n_{\text{кр.}}$ | $F_{\text{нач.}}$ ,<br>кГц | $F_{\text{макс.}}$ ,<br>кГц | $F_{\text{мин.}}$ ,<br>кГц | $F_{\text{кон.}}$ ,<br>кГц | $D$ ,<br>мс |
|---|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|
| <i>S. major</i> , 11/69                           | 4,11 ± 0,38                | 6,49 ± 0,36                 | 3,85 ± 0,44                | 3,93 ± 0,47                | 344 ± 82    |
| <i>S. suslicus</i> , 11/56                        | 8,26 ± 0,37                | 8,78 ± 0,22                 | 8,16 ± 0,35                | 8,37 ± 0,37                | 300 ± 58    |
| <i>S. major</i> × <i>S. Suslicus</i> ,<br>3/19    | 6,42 ± 0,96                | 7,79 ± 0,79                 | 6,13 ± 0,86                | 6,32 ± 0,92                | 331 ± 102   |

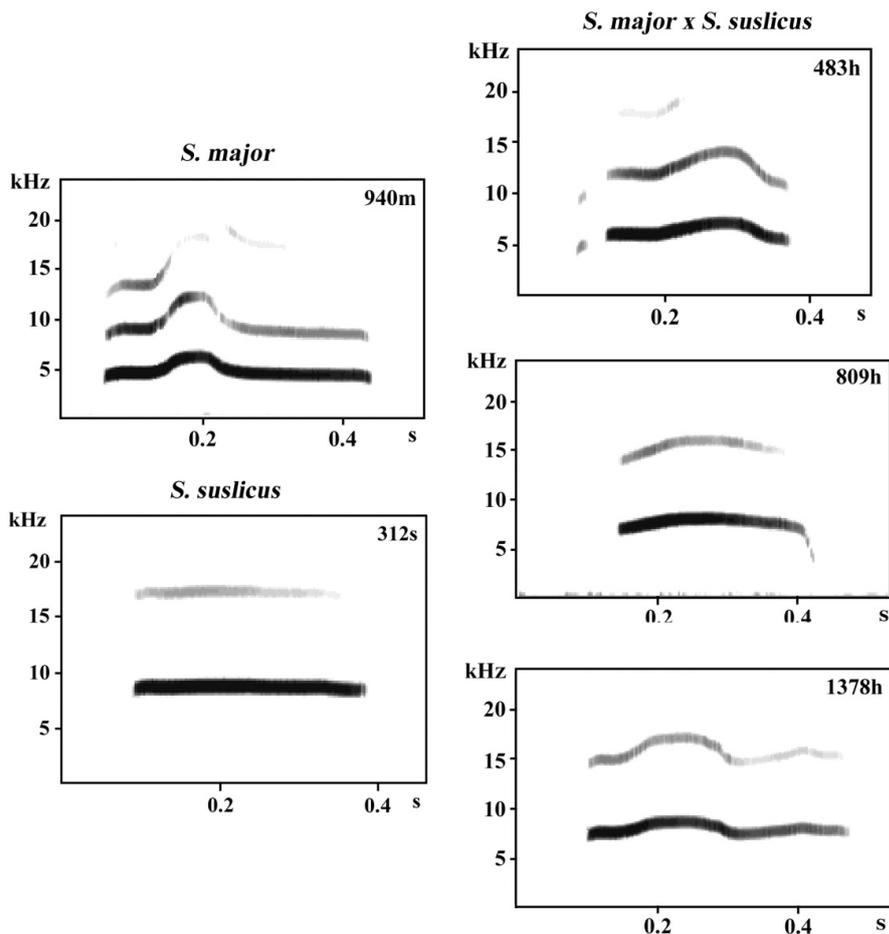


Рис. 2. Сонограммы предупреждающих об опасности криков больших (*S. major*), крапчатых (*S. suslicus*) сусликов и межвидовых гибридов (*S. major* × *S. suslicus*)

Проведенный пошаговый дискриминантный анализ выборок показателей звуковых сигналов больших ( $n = 11$ , 69 сигналов), крапчатых ( $n = 11$ , 56 сигналов) сусликов и межвидовых гибридов ( $n = 3$ , 18 сигналов) показал промежуточный характер наследования акустических признаков родительских видов у гибридных особей (рис. 3).

По результатам дискриминантного анализа видовых выборок предупреждающих об опасности сигналов и выборок параметров криков гибридных особей первая дискриминантная функция (DF1, соб.ч. – 39,21,  $\chi^2 = 604,7$ ,  $df = 20$ ,  $p < 0,0000$ ) описывает 97,7 % общей дисперсии. По оси этой функции факторные нагрузки выявлены только для частотных показателей звукового сигнала – начальной,  $F_{\text{нач}}$  (0,873); максимальной,  $F_{\text{макс}}$  (0,756); минимальной,  $F_{\text{мин}}$  (0,595) и конечной,  $F_{\text{кон}}$  (0,810) частоте. Поэтому центры эллипсов рассеивания располагаются в пространстве этой функции по мере увеличения этих биоакустических показателей. При этом зону максимальных значений по этой оси занимает эллипс рассеивания параметров звуковых сигналов крапчатых сусликов (*S. suslicus*), зону минимальных значений – эллипс рассеивания показателей звуковых сигналов больших сусликов (*S. major*),

а среднее положение – эллипсы рассеивания параметров звуковых сигналов гибридов (*S. major* × *S. suslicus*). При этом эллипсы рассеивания показателей звуковых сигналов гибридных самок № 809 и 1378, отловленных в смешанном поселении «Пасека», располагаются ближе к эллипсу рассеивания параметров звуковых сигналов крапчатых сусликов. В отличие от этого эллипс рассеивания показателей звуковых сигналов гибридной самки № 483, отловленной в соседнем совместном поселении «Смышляевка», довольно сильно сближен с эллипсом рассеивания параметров звуковых сигналов больших сусликов.

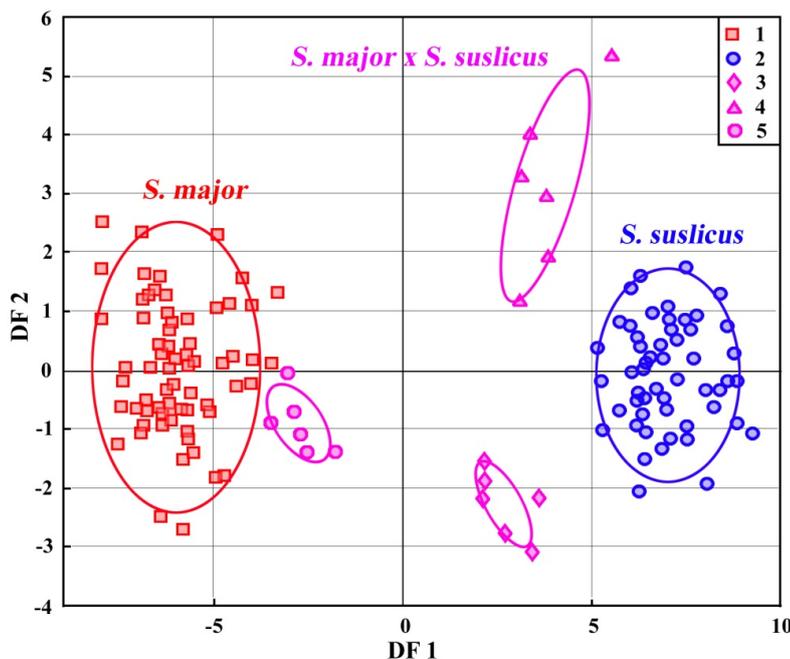


Рис. 3. Результаты пошагового дискриминантного анализа выборок акустических параметров предупреждающих об опасности криков больших (1), крапчатых (2) сусликов и межвидовых гибридов (3 – самка № 809, 4 – самка № 1378, 5 – самка № 483)

Вторая дискриминантная функция (DF2, соб.ч. – 0,68,  $\chi^2 = 98,58$ ,  $df = 12$ ,  $p < 0,0000$ ) описывает только 1,8 % общей дисперсии, а по ее оси максимальные факторные нагрузки выявлены для максимальной ( $F_{\text{макс}}$ ) частоты – 0,447 и длительности ( $D$ ) звукового сигнала – 0,495. Расположение центроидов эллипсов рассеивания анализируемых выборок параметров звуковых сигналов по этой оси имеет иной характер. В зоне средних значений располагаются центроиды эллипсов рассеивания видовых выборок и гибридной особи № 483, тогда как в зоне минимальных значений фиксируется центроид эллипса рассеивания гибридной особи № 809, а в области максимальных значений – центроид эллипса рассеивания гибридной особи № 1378.

Полученные результаты дискриминантного анализа позволяют несколько по-иному взглянуть на историю происхождения гибридных особей, предсказанную генетическим анализом. По данным анализа звуковых сигна-

лов среди трех гибридных особей мы не находим гибридов первого поколения (F1), которые по логике должны были бы занимать среднее положение в пространстве первой дискриминантной функции (97,7 % общей дисперсии) относительно видовых выборок. Две гибридные особи (№ 809 и 1378) по параметрам звуковых сигналов ближе к крапчатым сусликам, тогда как третий гибрид (№ 483) очень близок *S. major*. Вероятно, эта особенность звуковых сигналов указывает на происхождение этих гибридных особей в результате возвратных скрещиваний гибридов первого поколения в первом случае с особями родительского вида *S. suslicus*, а во втором – с особями родительского вида *S. major*. Объяснением выявленных различий в наследовании признаков родительских видов изученными гибридными особями может служить и предположение, что наследование акустических признаков при гибридизации имеет не усредняющий, а какой-то иной характер. Поэтому изучение этого вопроса требует дополнительных исследований, выходящих за рамки данной статьи.

Таким образом, результаты проведенных исследований современного состояния зоны симпатрии большого и крапчатого сусликов в Поволжье свидетельствуют о значительных перестройках ее структуры. Несмотря на то, что единственное гибридное поселение этих видов исчезло после более чем 30-летнего своего существования, степень контактности видов в зоне значительно увеличилась (с 5 до 14 % по количеству смешанных и совместных поселений). Вследствие постепенного восстановления численности и числа локальных поселений крапчатым сусликом и продолжающегося расселения большого суслика в зоне их симпатрического обитания с определенным постоянством возникают новые точки межвидовых контактов. При условии низкой численности и состояния половой депривации в контактных поселениях создаются условия для межвидового скрещивания, что было показано при обнаружении гибридных особей в них. Поэтому исследования таких новых точек совместного обитания этой пары симпатрических видов следует считать перспективными и потенциально результативными для задач изучения гибридизации *S. major* и *S. suslicus* в Поволжье.

#### **Библиографический список**

1. **Hewitt, G. M.** Hybrid zones – natural laboratories for evolutionary studies / G. M. Hewitt // Trends Ecol. Evol. – 1988. – № 3 (7). – P. 158–167.
2. **Barton, N. H.** Adaptation, speciation and hybrid zones / N. H. Barton, G. M. Hewitt // Nature. – 1989. – Vol. 341 (6242). – P. 497–503.
3. **Hewitt, G. M.** Speciation, hybrid zones and phylogeography – or seeing genes in space and time / G. M. Hewitt // Mol. Ecol. – 2001. – № 10. – P. 537–549.
4. **Queller, D. C.** Microsatellites and kinship / D. C. Queller, J. E. Strassmann, C. R. Hughes // Trends Ecol. Evol. – 1993. – № 8 (8). – P. 285–288.
5. **Рысков, А. П.** Мультилокусный ДНК-фингерпринтинг в генетико-популяционных исследованиях биоразнообразия / А. П. Рысков // Молекулярная биология. – 1999. – Т. 33, № 6. – С. 880–892.
6. **Sunnucks, P.** Efficient genetic markers for population biology / P. Sunnucks // Trends Ecol. Evol. – 2000. – Vol. 15, № 5. – P. 199–203.
7. **Funk, D. J.** Species-level paraphyly and polyphyly: Frequency, causes, and consequences, with insights from animal mitochondrial DNA / D. J. Funk, K. E. Omland // Annu Rev. Ecol. Ev. Syst. – 2003. – Vol. 34. – P. 397–423.

8. **Harrison, R. G.** Hybrid zones: windows on the evolutionary process / R. G. Harrison // *Ox. Surv. Ev. Biol.* – 1990. – № 7. – P. 69–128.
9. **Barton, N. H.** The role of hybridization in evolution / N. H. Barton // *Mol. Ecol.* – 2001. – № 10. – P. 551–568.
10. **Howard, D. J.** Evolution in hybrid zones / D. J. Howard, S. C. Britch, W. E. Braswell, J. L. Marschall // *The Evolution of Population Biology* / ed. by R. K. Singh, M. K. Uyenoyama. – Cambridge University Press, 2004. – P. 297–314.
11. **Кузьмин, А. А.** Зона гибридизации большого (*Spermophilus major* Pall., 1778) и крапчатого (*S. suslicus* Güld., 1770) сусликов: экологические, поведенческие и генетические особенности : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Кузьмин А. А. – Москва : МГУ, 2009. – 24 с.
12. **Титов, С. В.** Популяционные и генетические механизмы межвидовой гибридизации млекопитающих (на примере рода *Spermophilus*) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Титов С. В. – Москва : МГУ, 2009. – 48 с.
13. Динамика ареалов и современное состояние поселений наземных белых в прибрежных районах Поволжья / С. В. Титов, А. А. Кузьмин, Р. В. Наумов, О. А. Ермаков, С. С. Закс, О. В. Чернышова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. – 124 с.
14. **Ермаков, О. А.** Динамика границы ареала большого суслика *Spermophilus major* (Rodentia, Sciuridae) в Поволжье / О. А. Ермаков, С. В. Титов // *Зоологический журнал.* – 2000. – Т. 79, № 4. – С. 503–509.
15. **Титов, С. В.** Взаимоотношения крапчатого и большого сусликов в недавно возникшей зоне симпатрии : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Титов С. В. – Москва : МГУ, 1999. – 24 с.
16. **Титов, С. В.** Современное распространение и изменение численности крапчатого суслика в восточной части ареала / С. В. Титов // *Зоологический журнал.* – 2001. – Т. 80, № 2. – С. 230–235.
17. Поиск видоспецифических маркеров в Y-хромосоме и их использование при изучении гибридизации сусликов (*Spermophilus*: Rodentia, Sciuridae) / О. А. Ермаков, В. Л. Сурин, С. В. Титов, С. С. Зборовский, Н. А. Формозов // *Генетика.* – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 538–548.
18. Изучение гибридизации четырех видов сусликов (*Spermophilus*: Rodentia, Sciuridae) молекулярно-генетическими методами / О. А. Ермаков, В. Л. Сурин, С. В. Титов, А. Ф. Тагиев, А. В. Лукьяненко, Н. А. Формозов // *Генетика.* – 2002. – Т. 38, № 7. – С. 950–964.
19. Молекулярно-генетическая и биоакустическая диагностика больших (*Spermophilus major* Pallas, 1778) и желтых (*S. fulvus* Lichtenstein, 1823) сусликов из совместного поселения / С. В. Титов, О. А. Ермаков, В. Л. Сурин, Н. А. Формозов, М. В. Касаткин, С. А. Шилова, А. А. Шмыров // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический.* – 2005. – Т. 110, вып. 4. – С. 72–77.
20. **Титов, С. В.** Апробация нового маркера ядерной ДНК для исследований гибридизации крапчатого (*Spermophilus suslicus* Güld.) и большого сусликов / С. В. Титов, А. А. Кузьмин, С. С. Закс, О. В. Чернышова // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки.* – 2018. – № 4 (24). – С. 72–79.
21. **Sambrook, J.** Molecular cloning: A laboratory Manual / J. Sambrook, E. F. Fritsch, T. Maniatis. – New York : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. – P. 58–64.

### References

1. Hewitt G. M. *Trends Ecol. Evol.* 1988, no. 3 (7), pp. 158–167.
2. Barton N. H., Hewitt G. M. *Nature.* 1989, vol. 341 (6242), pp. 497–503.

3. Hewitt G. M. *Mol. Ecol.* 2001, no. 10, pp. 537–549.
4. Queller D. C., Strassmann J. E., Hughes C. R. *Trends Ecol. Evol.* 1993, no. 8 (8), pp. 285–288.
5. Ryskov A. P. *Molekulyarnaya biologiya* [Molecular biology]. 1999, vol. 33, no. 6, pp. 880–892. [In Russian]
6. Sunnucks P. *Trends Ecol. Evol.* 2000, vol. 15, no. 5, pp. 199–203.
7. Funk D. J., Omland K. E. *Annu Rev. Ecol. Ev. Syst.* 2003, vol. 34, pp. 397–423.
8. Harrison R. G. *Ox. surv. Ev. Biol.* 1990, no. 7, pp. 69–128.
9. Barton N. H. *Mol. Ecol.* 2001, no. 10, pp. 551–568.
10. Howard D. J., Britch S. C., Braswell W. E., Marschall J. L. *The Evolution of Population Biology*. Cambridge University Press, 2004, pp. 297–314.
11. Kuz'min A. A. *Zona gibridizatsii bol'shogo (Spermophilus major Pall., 1778) i krapchatogo (S. suslicus Güld., 1770) suslikov: ekologicheskie, povedencheskie i geneticheskie osobennosti: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Hybridization zone of russet (*Spermophilus major* Pall., 1778) and speckled (*S. suslicus* Güld., 1770) ground squirrels: ecological, behavioral and genetic features: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: MGU, 2009, 24 p. [In Russian]
12. Titov S. V. *Populyatsionnye i geneticheskie mekhanizmy mezhvidovoy gibridizatsii mlekopitayushchikh (na primere roda Spermophilus): avtoref. dis. d-ra biol. nauk* [Population and genetic mechanisms of interspecific hybridization of mammals (on the example of *Spermophilus*): author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow: MGU, 2009, 48 p. [In Russian]
13. Titov S. V., Kuz'min A. A., Naumov R. V., Ermakov O. A., Zaks S. S., Chernyshova O. V. *Dinamika arealov i sovremennoe sostoyanie poseleniy nazemnykh belich'ikh v pravoberezhnykh rayonakh Povolzh'ya* [The dynamics of habitats and the current state of terrestrial squirrel settlements in the right-bank regions of the Volga region]. Penza: Izd-vo PGU, 2015, 124 p. [In Russian]
14. Ermakov O. A., Titov S. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 2000, vol. 79, no. 4, pp. 503–509. [In Russian]
15. Titov S. V. *Vzaimootnosheniya krapchatogo i bol'shogo suslikov v nedavno voznikshey zone simpatrii: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Relations between speckled and large ground squirrels in the newly emerged zone of sympatry: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: MGU, 1999, 24 p. [In Russian]
16. Titov S. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 2001, vol. 80, no. 2, pp. 230–235. [In Russian]
17. Ermakov O. A., Surin V. L., Titov S. V., Zborovskiy S. S., Formozov N. A. *Genetika* [Genetics]. 2006, vol. 42, no. 4, pp. 538–548. [In Russian]
18. Ermakov O. A., Surin V. L., Titov S. V., Tagiev A. F., Luk'yanenko A. V., Formozov N. A. *Genetika* [Genetics]. 2002, vol. 38, no. 7, pp. 950–964. [In Russian]
19. Titov S. V., Ermakov O. A., Surin V. L., Formozov N. A., Kasatkin M. V., Shilova S. A., Shmyrov A. A. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskij* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Unit of biology]. 2005, vol. 110, iss. 4, pp. 72–77. [In Russian]
20. Titov S. V., Kuz'min A. A., Zaks S. S., Chernyshova O. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2018, no. 4 (24), pp. 72–79. [In Russian]
21. Sambrook J., Fritsch E. F., Maniatis T. *Molecular cloning: A laboratory Manual*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989, pp. 58–64.

**Титов Сергей Витальевич**

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

E-mail: svtitov@yandex.ru

**Titov Sergey Vital'evich**

Doctor of biological sciences, professor,  
head of the sub-department of zoology and  
ecology, dean of the faculty of physical,  
mathematical and natural sciences, Penza  
State University (40, Krasnaya street, Penza,  
Russia)

**Кузьмин Антон Алексеевич**

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

E-mail: kuzmin-puh@yandex.com

**Kuz'min Anton Alekseevich**

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

**Симаков Максим Дмитриевич**

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

E-mail: maksimakov@bk.ru

**Simakov Maksim Dmitrievich**

Master degree student, Penza State  
University (40, Krasnaya street, Penza,  
Russia)

**Картавов Никита Александрович**

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

E-mail: maksimakov@bk.ru

**Kartavov Nikita Aleksandrovich**

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

**Образец цитирования:**

Титов, С. В. Новые данные о гибридизации крапчатого (*Spermophilus suslicus* Güld.) и большого (*Spermophilus major* Pall.) сусликов в широкой зоне симпатрии / С. В. Титов, А. А. Кузьмин, М. Д. Симаков, Н. А. Картавов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 23–35. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-3.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛНОРАЦИОННЫХ КОРМОВ ДЛЯ РЫБ В ЗООКУЛЬТУРЕ ЖАБ РОДА *BUFOTES* (AMPHIBIA, ANURA, BUFONIDAE)

### Аннотация.

**Актуальность и цели.** Актуальной проблемой зоокультуры земноводных является разработка рационального кормления личинок. Последние годы для этой цели начали использовать комбикорма для рыб. Одним из кормов, показавшим высокую эффективность для личинок амфибий, является “Tetra Marine Flakes” (производитель – Tetra GmbH, Германия). Цель этого исследования – оценка использования полнорационных кормов для аквариумных рыб при выращивании личинок зеленых жаб рода *Bufo*.

**Материалы и методы.** Эксперимент проводили на личинках *B. batourae*, *B. boulengeri*, *B. latastii* и *B. perrini*. По 40 экземпляров личинок каждого вида в двукратной повторности помещали в аквариумы объемом 40 л. Корм животным предлагали ежедневно. Стартовая порция корма для каждого аквариума составила 0,050 г. В зависимости от активности питания, суточную дозу корма увеличивали независимо для каждой группы личинок. Выращивание личинок длилось до выхода всех молодых жаб из воды.

**Результаты.** Размерно-весовые показатели молоди всех четырех видов жаб были в пределах изменчивости, отмеченной ранее в природе и в искусственных условиях. Выживаемость личинок до метаморфоза составляла в разных группах 42,5–100 %. Минимальная длительность личиночного развития равнялась 37–72 сут, а максимальная – 99–218 сут. На выращивание одной молодой жабы до метаморфоза затрачивали от 1,167 до 2,579 г корма.

**Выводы.** Комбикорм “Tetra Marine Flakes” для аквариумных рыб может быть успешно применен для личинок зеленых жаб. Это будет способствовать упрощению кормления в лабораторных условиях и позволит получить высокие показатели роста и развития личинок.

**Ключевые слова:** *Bufo batourae*, *Bufo boulengeri*, *Bufo latastii*, *Bufo perrini*, личиночное развитие, кормление личинок, кормление земноводных, корма для рыб.

К. А. Матушкина, А. А. Кидов, А. А. Серякова

## THE USE OF COMPLETE FEED FOR FISH IN ZOOCULTURE OF *BUFOTES* TOADS (AMPHIBIA, ANURA, BUFONIDAE)

### Abstract.

**Background.** The actual problem of amphibian zooculture is the development of rational feeding of larvae. In recent years, for this purpose began to use feed for fish.

---

© Матушкина К. А., Кидов А. А., Серякова А. 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.

One of the feeds that have shown high efficiency for amphibian larvae is “Tetra Marine Flakes” (Tetra GmbH, Germany). The purpose of this study is to evaluate the use of complete feed for aquarium fish in the growing of green toads’ larvae of the genus *Bufotes*.

*Materials and methods.* The experiment was carried out on the larvae of *B. baturae*, *B. boulengeri*, *B. latastii* and *B. perrini*. 40 exemplars of larvae of each species were placed in aquariums with a volume of 40 liters. Food for animals was offered daily. The starting portion of food for each aquarium was 0,050 g. Depending on the feeding activity, the daily feed dose was increased independently for each group of larvae. Growing of larvae lasted until all young toads emerged from the water.

*Results.* The size and weight characteristics of juveniles of all four species were within the range of variability noted earlier in nature and in artificial conditions. The survival rate of larvae before metamorphosis was 42,5–100 % in different groups. The minimum duration of larval development was 37–72 days, and the maximum – 99–218 days. On growing of one young toad before metamorphosis was spent from 1,167 to 2,579 g of a food.

*Conclusions.* Complete feed “Tetra Marine Flakes” for aquarium fish can be successfully applied to larvae of green toads. This will facilitate feeding in the laboratory and will allow obtaining high parameters of growth and development of larvae.

**Keywords:** *Bufotes baturae*, *Bufotes boulengeri*, *Bufotes latastii*, *Bufotes perrini*, larval development, larval feeding, amphibians feeding, fish foods.

### Введение

К настоящему времени накоплен существенный опыт по разведению в искусственных условиях редких, исчезающих и узкоареальных хвостатых [1–5] и бесхвостых [6–10] земноводных. В нашей стране, несмотря на широкую представленность исследований в этой области, большинство работ содержат лишь результаты первых случаев размножения земноводных [11–15]. Почти лишенной внимания остается проблема оптимизации кормления культивируемых земноводных [16–18], в том числе их личинок [19].

Традиционно в качестве основного корма для личинок бесхвостых земноводных рекомендовано использовать обработанные кипятком листья шпината и крапивы. Также ряд авторов склоняются к необходимости белковых подкормок [20]. Целью данной работы была оценка использования полнорационных кормов для аквариумных рыб при выращивании личинок зеленых жаб рода *Bufotes* Rafinesque, 1815.

### Материалы и методы

Исследования проводили в лабораторном кабинете зоокультуры кафедры зоологии РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева (г. Москва) в 2017–2018 гг.

Материалом для исследований послужили разведенные в лаборатории личинки жаб следующих видов: батурская жаба *B. baturae* (Stöck, Schmid, Steinlein et Grosse, 1999) (Таджикистан); североафриканская, или магрибская жаба, *B. boulengeri* (Lataste, 1879) (Египет), жаба Латаста, или ладахская жаба, *B. latastii* (Boulenger, 1882) (Индия); жаба Перрини, *B. perrini* Мазера, Litvinchuk, Jablonski et Dufresnes, 2019 (младший синоним – туранская жаба, *B. turanensis* (Hemmer, Schmidtler et Böhme, 1978)) (Казахстан). Названия таксонов приведены согласно последней ревизии рода [21].

Инкубацию полученных яиц и выдерживание предличинок до перехода на экзогенное питание осуществляли по стандартным методикам [12, 13] в пластиковых контейнерах размером  $57 \times 39 \times 28$  см с уровнем воды 20 см.

Личинок по 40 экземпляров высаживали в емкости полезным объемом 40 л. Каждый из 4 задействованных в исследованиях видов выращивали в двукратной повторности. Таким образом, всего в эксперименте было использовано 320 личинок.

В качестве единственного корма использовали полнорационный корм для морских аквариумных рыб марки “*Tetra Marine Flakes*” (производитель – *Tetra GmbH*, Германия), успешно зарекомендовавший себя ранее [19]. По данным производителя, в состав этого корма входят: рыба, побочные рыбные продукты, растительные продукты, экстракты растительного белка, дрожжи, зерновые культуры, масла и жиры, водоросли, минеральные вещества, мясо морских креветок, фукус, спирулина. Пищевая ценность (на 100 г продукта), заявленная производителем: белки – 46,0; жиры – 8,5; углеводы – 2,0; витамин *A* – 1092 мкг; витамин *E* – 15 мг. Энергетическая ценность – 1130 кДж на 100 г.

Корм животным в обеих группах задавали ежедневно. Стартовая порция составила 0,050 г. Далее, по мере поедаемости, суточную дозу корма увеличивали независимо для каждой группы.

Эксперимент длился до выхода всех молодых жаб на сушу. Для каждой группы учитывали следующие показатели: общая масса молоди в начале эксперимента; общая масса затраченного на выращивание корма, выживаемость молоди, минимальная и максимальная длительность личиночного развития (первый и последний случай выхода молоди на сушу), длина тела и масса молоди после прохождения метаморфоза. После окончания личиночного развития рассчитывали общий прирост массы, затраты корма на одну особь, кормовой коэффициент (затраты корма на единицу массы прироста), а также стоимость выращивания одной личинки из расчета средней рыночной стоимости корма.

Температура в период проведения исследований варьировала в пределах от 16 до 24 °С (рис. 1).



Рис. 1. Температурный режим в период проведения эксперимента

Взвешивание кормов и молоди осуществляли на электронных весах марки *Massa K BK-300* (Россия) с погрешностью 0,005 г. Длину тела (*L*) молоди, выходящей на метаморфоз, измеряли штангенциркулем с погрешностью 0,1 мм.

Для статистической обработки полученного материала использовали пакет программ *Microsoft Office Excel 7.0* и *Statistica 8.0*.

### Результаты

Продолжительность личиночного развития батурской жабы при выращивании с использованием полнорационного корма для рыб варьировала в пределах от 1,3–3,6 мес (табл. 1). Личинки этого вида за период выращивания демонстрировали высокие показатели выживаемости. Размерно-весовые характеристики прошедших метаморфоз животных характеризовались очень высокой вариабельностью (табл. 2). Затраты корма на одну личинку составили в среднем 1,4 г (17 руб. 50 коп. в денежном эквиваленте) (табл. 3).

Таблица 1

Длительность развития и выживаемость личинок

| Вид                    | Повторность     | Выживаемость до метаморфоза, % | Длительность личиночного развития, сут |            |
|------------------------|-----------------|--------------------------------|--|------------|
|                        |                 |                                | min                                    | max        |
| <i>Bufo baturae</i>    | 1               | 100                            | 39                                     | 108        |
|                        | 2               | 92,5                           | 37                                     | 105        |
|                        | <b>Среднее:</b> | <b>96,3</b>                    | <b>38</b>                              | <b>107</b> |
| <i>Bufo boulengeri</i> | 1               | 55                             | 48                                     | 218        |
|                        | 2               | 42,5                           | 40                                     | 214        |
|                        | <b>Среднее:</b> | <b>48,8</b>                    | <b>44</b>                              | <b>216</b> |
| <i>Bufo latastii</i>   | 1               | 82,5                           | 68                                     | 123        |
|                        | 2               | 62,5                           | 72                                     | 178        |
|                        | <b>Среднее:</b> | <b>72,5</b>                    | <b>70</b>                              | <b>151</b> |
| <i>Bufo perrini</i>    | 1               | 32,5                           | 48                                     | 99         |
|                        | 2               | 50                             | 58                                     | 111        |
|                        | <b>Среднее:</b> | <b>41,3</b>                    | <b>53</b>                              | <b>105</b> |

Таблица 2

Размерно-весовые показатели молоди после прохождения метаморфоза

| Вид                 | Повторность    | $\overline{M} \pm m (\sigma)$<br>min–max                          |  |
|---------------------|----------------|---|--|
|                     |                | длина тела, мм  | масса тела, г  |
| 1                   | 2              | 3   | 4  |
| <i>Bufo baturae</i> | 1              | $12,37 \pm 0,230 (1,24)$<br>10,30–15,50                           | $0,39 \pm 0,018 (0,98)$<br>0,23–0,58                           |
|                     | 2              | $13,51 \pm 0,190 (1,100)$<br>11,80–16,1                           | $0,45 \pm 0,270 (1,540)$<br>0,26–0,84                          |
|                     | <b>Среднее</b> | <b><math>12,98 \pm 0,160 (1,290)</math></b><br><b>10,30–16,01</b> | <b><math>0,43 \pm 0,017 (1,330)</math></b><br><b>0,23–0,84</b> |

| 1                          | 2       | 3   | 4  |
|----------------------------|---------|---|--|
| <i>Bufoetes boulengeri</i> | 1       | $14,80 \pm 0,470 (1,800)$<br>12,90–19,00                          | $0,57 \pm 0,05 (1,950)$<br>0,36–0,93                           |
|                            | 2       | $13,30 \pm 0,470 (1,480)$<br>10,70–16,50                          | $0,54 \pm 0,053 (1,69)$<br>0,22–0,85                           |
|                            | Среднее | <b><math>14,19 \pm 0,360 (1,810)</math></b><br><b>10,70–19,00</b> | <b><math>0,56 \pm 0,036 (1,820)</math></b><br><b>0,22–0,93</b> |
| <i>Bufoetes latastii</i>   | 1       | $13,57 \pm 0,270 (1,070)$<br>12,30–15,80                          | $0,55 \pm 0,023 (0,910)$<br>0,39–0,74                          |
|                            | 2       | $13,55 \pm 0,320 (1,060)$<br>12,40–15,70                          | $0,49 \pm 0,029 (0,970)$<br>0,32–0,65                          |
|                            | Среднее | <b><math>13,56 \pm 0,200 (1,050)</math></b><br><b>12,30–15,80</b> | <b><math>0,53 \pm 0,018 (0,960)</math></b><br><b>0,32–0,74</b> |
| <i>Bufoetes perrini</i>    | 1       | $13,77 \pm 0,360 (0,870)$<br>13,10–15,50                          | $0,42 \pm 0,028 (0,69)$<br>0,32–0,51                           |
|                            | 2       | $12,89 \pm 0,240 (0,930)$<br>10,90–14,30                          | $0,44 \pm 0,018 (0,710)$<br>0,35–0,61                          |
|                            | Среднее | <b><math>13,16 \pm 0,210 (0,98)</math></b><br><b>10,90–15,50</b>  | <b><math>0,44 \pm 0,015 (0,69)</math></b><br><b>0,32–0,61</b>  |

Таблица 3

## Эффективность использования кормов личинками

| Вид                        | Повторность | Средняя масса 1 особи, г |                   | Прирост биомассы на 1 особь, г | Затраты корма на 1 особь, г | Кормовой коэффициент |
|----------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|
|                            |             | в начале эксперимента    | после метаморфоза |                                |                             |                      |
| <i>Bufoetes baturae</i>    | 1           | 0,023                    | 0,395             | 0,372                          | 1,167                       | 3,137                |
|                            | 2           | 0,022                    | 0,454             | 0,432                          | 1,676                       | 3,879                |
|                            | среднее     | <b>0,022</b>             | <b>0,426</b>      | <b>0,404</b>                   | <b>1,422</b>                | <b>3,573</b>         |
| <i>Bufoetes boulengeri</i> | 1           | 0,023                    | 0,569             | 0,546                          | 2,138                       | 3,916                |
|                            | 2           | 0,026                    | 0,541             | 0,515                          | 2,579                       | 5,008                |
|                            | среднее     | <b>0,024</b>             | <b>0,557</b>      | <b>0,533</b>                   | <b>2,359</b>                | <b>4,426</b>         |
| <i>Bufoetes latastii</i>   | 1           | 0,0065                   | 0,553             | 0,547                          | 1,542                       | 2,819                |
|                            | 2           | 0,0052                   | 0,493             | 0,487                          | 2,096                       | 4,303                |
|                            | среднее     | <b>0,0059</b>            | <b>0,528</b>      | <b>0,522</b>                   | <b>1,819</b>                | <b>3,485</b>         |
| <i>Bufoetes perrini</i>    | 1           | 0,0086                   | 0,421             | 0,412                          | 1,371                       | 3,328                |
|                            | 2           | 0,0088                   | 0,444             | 0,435                          | 1,438                       | 3,306                |
|                            | среднее     | <b>0,0087</b>            | <b>0,437</b>      | <b>0,428</b>                   | <b>1,405</b>                | <b>3,282</b>         |

Личиночное развитие магрибской жабы в эксперименте длилось от 1,5 до 7,2 мес. Отмечалась низкая выживаемость – на сушу вышли менее половины животных. Затраты корма на выращивание одной личинки до метамор-

фоза составили в среднем 2,3 г (28 руб. 75 коп. в денежном эквиваленте) (см. табл. 3).

Личиночное развитие жаб Латаста продолжалось от 2,3 до 5,0 мес. (см. табл. 1). Длина тела и масса молоди жаб после выхода на сушу характеризовалась сходными значениями в обеих повторностях, а также большой вариабельностью внутри каждой группы (см. табл. 2). Затраты корма на выращивание одного метаморфа составили в среднем 1,8 г (22 руб. 50 коп. в денежном эквиваленте).

Жабы Перрини до метаморфоза развивались 1,8–3,5 мес. Личинки этого вида в эксперименте демонстрировали самую низкую выживаемость: метаморфоз прошли менее половины жаб. Затраты корма на одну личинку составили в среднем 1,4 г (17 руб. 50 коп. в денежном эквиваленте) (см. табл. 3).

Относительно низкая выживаемость магрибской жабы и жабы Перрини была обусловлена, вероятно, относительно низкой температурой выращивания для этих теплолюбивых, преимущественно равнинных видов [22]. Горные холодоустойчивые виды – батурская жаба и жаба Латаста, приспособленные к понижениям температуры [23, 24], демонстрировали низкую элиминацию личинок.

В целом же личинки всех четырех видов зеленых жаб, задействованных в эксперименте, имели длительность развития, а также размерно-весовые показатели молоди в пределах отмеченной изменчивости в природе и в искусственных условиях [12, 13, 15]. Таким образом, концентрированные корма для аквариумных рыб могут успешно применяться при выращивании личинок зеленых жаб. Это будет способствовать упрощению и стандартизации процесса кормления в лабораторных условиях и позволит получить стабильные показатели роста и развития.

#### Библиографический список

1. **Сербинова, И. А.** Содержание, разведение и реинтродукция малоазиатского тритона (*Triturus vittatus*) / И. А. Сербинова, Б. С. Туниев // I Всесоюзное совещание по проблемам зоокультуры. – Москва, 1986. – С. 147–150.
2. **Утешев, В. К.** Первый опыт размножения тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) с использованием оплодотворения икры уринальной спермой / В. К. Утешев, А. А. Кидов, С. А. Каурова, Н. В. Шишова // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, № 6-1. – С. 3090–3092.
3. **Кидов, А. А.** Первые результаты лабораторного размножения и реинтродукция тритона Карелина *Triturus karelinii* Strauch, 1870, тальшской популяции / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, К. А. Африн // Вестник Бурятского государственного университета. – 2015. – № 4-1. – С. 81–89.
4. 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 <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-1-11>.
5. **Кидов, А. А.** Размножение тритона Ланца, *Lissotriton lantzi* (Wolterstorff, 1914) (Salamandridae, Amphibia) в искусственных условиях / А. А. Кидов, Е. А. Немыко // Современная герпетология. – 2018. – Т. 18, № 3-4. – С. 125–134. – DOI <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2018-18-3-4-125-134>.

6. **Maruska, E. J.** Amphibians: review of zoo breeding programmes / E. J. Maruska // International Zoo Yearbook. – 1986. – Vol. 24–25. – P. 56–65.
7. **Johnson, R. R.** Model programs for reproduction and management: ex situ and in situ conservation of toads of the family Bufonidae / R. R. Johnson // Captive Management and Conservation of Amphibians and Reptiles: Contributions to Herpetology. – 1994. – Vol. 11. – P. 243–254.
8. 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 : ИЭМЭЖ имени А. Н. Северцова АН СССР, 1990. – С. 82–89.
9. Лабораторное разведение серых жаб Кавказа (*Bufo eichwaldi* и *B. verrucosissimus*) без применения гормональной стимуляции / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, К. А. Африн, С. А. Блинова, А. Л. Тимошина, Е. Г. Коврина // Современная герпетология. – 2014. – Т. 14, № 1-2. – С. 19–26.
10. The first captive breeding of the Eichwald's toad (*Bufo eichwaldi*) / A. A. Kidov, K. A. Matushkina, V. K. Uteshev, A. L. Timoshina, E. G. Kovrina // Russian Journal of Herpetology. – 2014. – Vol. 21, № 1. – P. 40–46.
11. Размножение гирканской лягушки (*Rana macrocnemis pseudodalmatina* Eiselt et Schmidtler, 1971) в лабораторных условиях / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, С. А. Блинова, К. А. Африн, Е. Г. Коврина, А. А. Бакшеева // Современная герпетология. – 2015. – Т. 15, № 3-4. – С. 109–113.
12. Первый случай размножения жабы Латаста, *Bufoes latastii* (Boulenger, 1882) в лабораторных условиях / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, С. Н. Литвинчук, С. А. Блинова, К. А. Африн, Е. Г. Коврина // Современная герпетология. – 2016. – Т. 16, № 1-2. – С. 20–26.
13. **Матушкина, К. А.** Первые результаты лабораторного размножения батурской жабы, *Bufoes baturae* Stoeck, Schmid, Steinlein et Grosse, 1999 / К. А. Матушкина, А. А. Кидов, С. Н. Литвинчук // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2017. – Т. 22, № 5-1. – С. 955–959.
14. **Кидов, А. А.** Лабораторное размножение кубинской жабы (*Peltophryne Empusa* Core, 1862) / А. А. Кидов, К. А. Матушкина, С. А. Блинова, К. А. Африн // Современная герпетология. – 2017. – Т. 17, № 1-2. – С. 36–43.
15. **Матушкина, К. А.** Размножение и гибридизация магрибской жабы, *Bufoes boulengeri* (Lataste, 1879) в лабораторных условиях / К. А. Матушкина, А. А. Кидов, А. В. Шульга // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2019. – № 2 (26). – С. 129–136. – DOI <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-2-13>.
16. Техническая окупаемость живых кормов и рост у молоди жабы Латаста, *Bufoes latastii* (Boulenger, 1882) в искусственных условиях / Л. С. Дроздова, А. А. Кидов, К. А. Матушкина, П. И. Корниенков, Н. А. Кудрявцева, М. М. Пашина, К. А. Африн, С. А. Блинова // Вестник Московского государственного областного университета. Сер.: Естественные науки. – 2015. – № 3. – С. 25–32.
17. **Кидов, А. А.** Применение различных живых кормов в выращивании тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) после метаморфоза / А. А. Кидов, Л. С. Дроздова, К. А. Матушкина, М. М. Пашина // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2017. – Т. 22, № 5-1. – С. 911–916.
18. **Кидов, А. А.** Влияние различных живых кормов на зимовку жабы Латаста, *Bufoes latastii* (Boulenger, 1882) в зоокультуре / А. А. Кидов, Л. С. Дроздова, К. А. Матушкина // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2018. – № 1 (97). – С. 3–9.
19. **Матушкина, К. А.** Выращивание личинок узкоареальных триплоидных жаб, *Bufoes baturae* (Stöck, Schmid, Steinlein et Grosse, 1999) с применением полнора-

- ционных кормов для аквариумных рыб / К. А. Матушкина, А. А. Кидов, А. А. Серякова // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2017. – Т. 22, № 5-1. – С. 960–964.
20. **Кудрявцев, С. В.** Террариум и его обитатели / С. В. Кудрявцев, В. Е. Фролов, А. В. Королев. – Москва : Лесная промышленность, 1991. – 268 с.
21. Fifteen shades of green: The evolution of *Bufo* toads revisited / C. Dufresnes, G. Maza, D. Jablonski, R. Caliani Oliveira, T. Wenseleers, D. A. Shabanov, M. Auer, R. Ernst, C. Koch, H. E. Ramirez-Chaves, K. Patrick Mulder, E. Simonov, A. Tiutenko, D. Kryvokhyzha, P. Louis Wennekes, O. I. Zinenko, O. V. Korshunov, A. M. Al-Johany, E. A. Peregontsev, R. Masroor, C. Betto-Colliard, M. Denoël, L. J. Borkin, D. V. Skorinov, R. A. Pasyukova, L. F. Mazanaeva, J. M. Rosanov, S. Dubey, S. Litvinchuk // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. – 2019. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106615>.
22. **Schleich, H. H.** Amphibians and Reptiles of North Africa / H. H. Schleich, W. Kästle, K. Kabisch. – Koenigstein : Koeltz Sci. Books, 1996. – 630 p.
23. **Khan, M. S.** Amphibians and Reptiles of Pakistan / M. S. Khan. – Malabar : Krieger Publishing Company, 2006. – 311 с.
24. **Litvinchuk, S. N.** Distribution of the endemic of Western Himalaya – the Lataste's toad, *Bufo latastii* (Boulenger, 1882) / S. N. Litvinchuk, D. V. Skorinov, G. O. Maza, L. J. Borkin // *Alytes*. – 2018. – Vol. 36, № 1-4. – P. 314–327.

### References

- Serbinova I. A., Tuniev B. S. *I Vsesoyuznoe soveshchanie po problemam zookul'tury* [All-Union conference on zooculture issues]. Moscow, 1986, pp. 147–150. [In Russian]
- Uteshev V. K., Kidov A. A., Kaurova S. A., Shishova N. V. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Tambov University. Series: Natural and engineering sciences]. 2013, vol. 18, no. 6-1, pp. 3090–3092. [In Russian]
- Kidov A. A., Matushkina K. A., Afrin K. A. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Banzarov Buryat State University]. 2015, no. 4-1, pp. 81–89. [In Russian]
- Mazanaeva L. F., Kidov A. A., Dzhamirzoev G. S., Askenderov A. D., Nemyko E. A., Shimanskaya E. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2019, no. 1 (25), pp. 102–112. DOI <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-1-11>. [In Russian]
- Kidov A. A., Nemyko E. A. *Sovremennaya gerpetologiya* [Modern herpetology]. 2018, vol. 18, no. 3-4, pp. 125–134. DOI <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2018-18-3-4-125-134>. [In Russian]
- Maruska E. J. *International Zoo Yearbook*. 1986, vol. 24–25, pp. 56–65.
- Johnson R. R. *Captive Management and Conservation of Amphibians and Reptiles: Contributions to Herpetology*. 1994, vol. 11, pp. 243–254.
- Serbinova I. A., Shubravyy O. I., Uteshev V. K., Agasyan A. L., Goncharov B. F. *Zookul'tura amfibiyy: sb. nauch. tr.* [Amphibian zoo culture: collected papers]. Moscow: IEMEZh imeni A. N. Severtsova AN SSSR, 1990, pp. 82–89. [In Russian]
- Kidov A. A., Matushkina K. A., Afrin K. A., Blinova S. A., Timoshina A. L., Kovrina E. G. *Sovremennaya gerpetologiya* [Modern herpetology]. 2014, vol. 14, no. 1-2, pp. 19–26. [In Russian]
- Kidov A. A., Matushkina K. A., Uteshev V. K., Timoshina A. L., Kovrina E. G. *Russian Journal of Herpetology*. 2014, vol. 21, no. 1, pp. 40–46.
- Kidov A. A., Matushkina K. A., Blinova S. A., Afrin K. A., Kovrina E. G., Baksheeva A. A. *Sovremennaya gerpetologiya* [Modern herpetology]. 2015, vol. 15, no. 3-4, pp. 109–113. [In Russian]

12. Kidov A. A., Matushkina K. A., Litvinchuk S. N., Blinova S. A., Afrin K. A., Kovrina E. G. *Sovremennaya gerpetologiya* [Modern herpetology]. 2016, vol. 16, no. 1-2, pp. 20–26. [In Russian]
13. Matushkina K. A., Kidov A. A., Litvinchuk S. N. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Tambov University. Series: Natural and engineering sciences]. 2017, vol. 22, no. 5-1, pp. 955–959. [In Russian]
14. Kidov A. A., Matushkina K. A., Blinova S. A., Afrin K. A. *Sovremennaya gerpetologiya* [Modern herpetology]. 2017, vol. 17, no. 1-2, pp. 36–43. [In Russian]
15. Matushkina K. A., Kidov A. A., Shul'ga A. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2019, no. 2 (26), pp. 129–136. DOI <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-2-13>. [In Russian]
16. Drozdova L. S., Kidov A. A., Matushkina K. A., Kornienkov P. I., Kudryavtseva N. A., Pashina M. M., Afrin K. A., Blinova S. A. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki* [Bulletin of Moscow Region State University. Series: Natural sciences]. 2015, no. 3, pp. 25–32. [In Russian]
17. Kidov A. A., Drozdova L. S., Matushkina K. A., Pashina M. M. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Tambov University. Series: Natural and engineering sciences]. 2017, vol. 22, no. 5-1, pp. 911–916. [In Russian]
18. Kidov A. A., Drozdova L. S., Matushkina K. A. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni I. Ya. Yakovleva* [Bulletin of Yakovlev Chuvash State Pedagogical University.]. 2018, no. 1 (97), pp. 3–9. [In Russian]
19. Matushkina K. A., Kidov A. A., Seryakova A. A. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Tambov University. Series: Natural and engineering sciences]. 2017, vol. 22, no. 5-1, pp. 960–964. [In Russian]
20. Kudryavtsev S. V., Frolov V. E., Korolev A. V. *Terrarium i ego obitateli* [Terrarium and its inhabitants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1991, 268 p. [In Russian]
21. Dufresnes C., Mazepa G., Jablonski D., Caliar Oliveira R., Wenseleers T., Shabanov D. A., Auer M., Ernst R., Koch C., Ramirez-Chaves H. E., Patrick Mulder K., Simonov E., Tiutenko A., Kryvokhyzha D., Louis Wennekes P., Zinenko O. I., Korshunov O. V., Al-Johany A. M., Peregontsev E. A., Masroor R., Betto-Colliard C., Denoël M., Borkin L. J., Skorinov D. V., Pasyukova R. A., Mazanaeva L. F., Rosanov J. M., Dubey S., Litvinchuk S. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106615>.
22. Schleich H. H., Kästle W., Kabisch K. *Amphibians and Reptiles of North Africa*. Koenigstein: Koeltz Sci. Books, 1996, 630 p.
23. Khan M. S. *Amphibians and Reptiles of Pakistan*. Malabar: Krieger Publishing Company, 2006, 311 p.
24. Litvinchuk S. N., Skorinov D. V., Mazepa G. O., Borkin L. J. *Alytes*. 2018, vol. 36, no. 1-4, pp. 314–327.

---

**Матушкина Ксения Андреевна**

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

**Matushkina Kseniya Andreevna**

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

**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)

**Серякова Александра Андреевна**

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

E-mail: kidov\_a@mail.ru

**Seryakova Aleksandra Andreevna**

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

---

**Образец цитирования:**

Матушкина, К. А. Применение полнорационных кормов для рыб в зоокультуре жаб рода *Bufo* (Amphibia, Anura, Bufonidae) / К. А. Матушкина, А. А. Кидов, А. А. Серякова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 36–45. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-4.

УДК 574:633.2.03(470.0)

DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-5

*А. В. Кошкин, А. Н. Никольский, Д. В. Бочкарев, В. Д. Бочкарев*

## **ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КАК ФАКТОР ДИНАМИКИ БИОЦЕНОТИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЛУГОВ**

### **Аннотация.**

*Актуальность и цели.* Растительность природных экосистем на всех уровнях (отдельных видов, ценопопуляций, растительных сообществ и др.) испытывает постоянно растущее антропогенное давление. К настоящему моменту процесс обеднения местной флоры, не проявляющийся до конца XIX в., заметно усилился в XX в., интенсивно прогрессирует. Ценоморфный анализ позволяет разграничивать элементы флоры по их связи с экологическими условиями среды в целом. Определение долевого участия биоценоморф в сложении фитоценозов позволяет судить об их приуроченности к определенному экотопу и устойчивости как отдельных видов, так и фитоценоза в целом. К актуальным вопросам экологии следует отнести анализ динамики ценоморфного состава фитоценозов, показателей обилия ценоморф, их долевого участия в структуре растительного сообщества.

*Материалы и методы.* Приведен ценоморфный анализ флор лугов различных типов по результатам исследований Торбеевского района Республики Мордовия, проведенных профессором И. И. Спрыгиным (1929–1933), и собственных экспедиционных исследований (2013–2016).

*Результаты и выводы.* Проведенные исследования показали, что в связи с прекращением антропогенного воздействия отмечалось изменение ценоморфного состава лугов всех изучаемых категорий, как по количеству видов, так и плотности их популяции. Отмечалось существенное снижение числа видов и обилия пратантов. Увеличился спектр рудеральных видов. В луговых сообществах отмечены бодяк щетинистый, одуванчик лекарственный, осот полевой, вьюнок полевой, мелкопестник однолетний и др. Также в фитоценозах значительно увеличилась доля сильвантов, не встречавшихся при систематическом использовании лугов в начале 30-х гг. XX в. Изменение экологических условий, связанное с наметившимся потеплением климата, снижением уровня выпадения осадков в период вегетации, слабой интенсивностью разлива рек, способствовало снижению числа и обилия видов палюдантов.

**Ключевые слова:** луга, ценоморфы, антропогенная нагрузка, динамика.

---

© Кошкин А. В., Никольский А. Н., Бочкарев Д. В., Бочкарев В. 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.

A. V. Koshkin, A. N. Nikol'skiy, D. V. Bochkarev, V. D. Bochkarev

## THE CHANGE OF ECOLOGICAL CONDITIONS AS A FACTOR OF THE BIOCENOTIC COMPOSITION'S DYNAMICS OF MEADOWS' VEGETATION

### Abstract.

*Background.* The vegetation of natural ecosystems at all levels (individual species, populations, plant communities, flora, etc.) is experiencing constantly growing anthropogenic pressure. Currently, intensively progresses, significantly increasing in the XX century. To date, the process of depletion of the local flora, which does not manifest itself until the end of the nineteenth century, has noticeably intensified in the twentieth century, it is rapidly progressing. A coenomorphs analysis makes it possible to distinguish flora elements by their connection with the environmental conditions of the environment as a whole. The determination of the share of coenomorphs in the addition of phytocenoses makes it possible to judge their relevance to a particular ecotope and the stability of both individual species and the phytocenosis as a whole. The analysis of the dynamics of the cenomorphic composition of phytocenoses, indicators of the abundance of cenomorphs, their share in the structure of the plant community should be attributed to current environmental issues.

*Materials and methods.* A coenomorphs analysis of the flora of meadows of various types is given based on the results of studies of the Torbeevsky district of the Republic of Mordovia, compiled by Professor I. I. Sprygin (1929–1933) and his own expeditionary research (2013–2016).

*Results and conclusions.* Studies have shown that due to the cessation of anthropogenic impact, there has been a change in the coenomorphs composition of the meadows of all the categories studied, both in terms of the number of species and the density of their populations. There was a significant decrease in the number of species and the abundance of fellows. The range of ruderal species has increased. *Cirsium setosum*, *Taraxacum officinale*, *Sonchus arvensis*, *Convolvulus arvensis*, *Erigeron annuus*, etc. are noted in meadow communities. Also in the phytocenoses, the proportion of nemoral that are not found in the systematic use of meadows in the early 30s of the twentieth century has increased significantly. Changes in environmental conditions are associated with the loss of climate, a decrease in the level of precipitation during the growing season, a weak intensity of differences in the number and abundance of freshmeadow species.

**Keywords:** meadows, coenomorphs, anthropogenic load, dynamics.

### Введение

Луговые экосистемы являются одним из важнейших компонентов биосферы. По общей площади в мире лугопастбищные экосистемы занимают порядка 4 млрд 200 млн га. Луговые растения во многом определяют видовое разнообразие флоры регионов, формируют самые многообразные растительные сообщества, состав и структура которых определяются конкретными экологическими нишами, возникшими в ходе исторического развития территории, характеризующиеся определенными микроклиматическими, эдафическими, гидрологическими и другими условиями внешней среды [1, 2]. Видовой спектр травянистых растений, слагающих отдельные фитоценозы, в значительной степени зависит от числа экологических ниш в экотопе и экологических предпочтений видов [3]. В то же время происхождение лугов

неотделимо от истории становления и развития человечества, так как подавляющее их большинство появилось в результате вырубки лесов, сенокосения и пастьбы скота [4]. Ю. В. Титов [5] высказывал мнение о том, что только сенокосное использование и рациональный выпас скота являются факторами существования лугов и их организации.

Исследователи приводят данные о том, что луговые растительные сообщества способны бесконечно долго сохранять видовой состав синузий, при значительных погодичных колебаниях продуктивности, связанных с изменением погодных условий при стабильном уровне воздействия антропогенных факторов [6, 7].

Одной из фундаментальных экологических проблем в современных условиях является изучение экзогенной динамики видового разнообразия естественных фитоценозов, вызванных автогенной сукцессией. В последние годы в силу ряда причин отмечается резкое снижение уровня антропогенного влияния на луговые фитоценозы и наблюдается проявление автогенных (восстановительных) сукцессий, связанных с прекращением выпаса и сенокосения. При этом типичные луговые виды (пратанты) вытесняются лесными (сильвантами) и сорными растениями (рудерантами) [8, 9].

Ранее нами было выявлено существенное изменение флористического состава и продуктивности лугов различных типов юга Нечерноземной зоны в последние 70 лет [10, 11]. В данной статье приводятся результаты исследований динамики ценоморфного состава растительности при изменении условий формирования луговых фитоценозов, связанных с ослаблением уровня антропогенного воздействия. Ценоморфный анализ позволяет разграничивать элементы флоры по их связи с экологическими условиями среды в целом. Определение долевого участия биоценоморф в сложении фитоценозов позволяет судить об их приуроченности к экотопу и устойчивости в нем как отдельных видов, так и фитоценоза в целом.

### **Материалы и методы**

В качестве материалов для анализа был взят список видов из отчета флористического состава лугов различных типов Торбеевского района Республики Мордовия, составленный геоботаником профессором И. И. Спрыгиным (1929–1933) [12]. Собственные экспедиционные исследования этих растительных сообществ проводились в 2013–2016 гг. Первый период исследований характеризовался активной антропогенной нагрузкой вследствие активного хозяйственного использования изучаемых луговых сообществ. Собственные исследования проводились в условиях снижения антропогенного влияния, отсутствия систематического сенокосения и выпаса скота на исследуемых угодьях.

Объекты исследования по длительности затопления (поемности) подразделяли на краткопоемные (затопление менее чем на 15 дней, долгопоемные (затопление от 15 до 30 дней), низинные (затопление более 30 дней) и суходольные (не затапливаемые) луга. Для определения флористического состава были выделены стационарные площадки прямоугольной формы площадью 100 м<sup>2</sup>. Плотность популяции отдельных видов определяли на учетных площадках, расположенных по углам и в центре стационарных уча-

стков в первой декаде июля. Биомассу определяли на этих же площадках путем скашивания и дальнейшего высушивания образцов до воздушно-сухого состояния. Повторность опыта – 4-кратная. Погодные условия вегетационного периода оценивались по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК) как отношение суммы осадков к сумме активных температур. За период исследований условия вегетации изменялись от слабозасушливых (ГТК = 0,75) до влажных (ГТК = 1,46). Анализ ценоморфного состава проводился по Н. М. Матвееву [13]. За основу анализа была взята классификация ценоморф А. Л. Бельгарта [14] с дополнениями М. А. Альбицкой [15] и В. В. Тарасова [16].

При характеристике биоценоморфного состава флорокомплексов выделяли моноценозы, включающие одну биоценоморфу, псевдомоноценозы, включающие одну биоценоморфу с небольшим количеством видов из других ценоморф и амфиценозы – растительные группировки, состоящие из различных ценоморф [17].

### Результаты и обсуждение

Исследовавший в 1930-х гг. луга Торбеевского района И. И. Спрыгин отмечал их высокое разнообразие по количеству выделяемых ассоциаций травянистой растительности. Так, на суходольных лугах им было выделено 7 ассоциаций, в том числе мятликсовая, кострцово-мятликсовая, щучковая и др. На поемных лугах было выделено 12 ассоциаций, в том числе кострцово-мятликсовая, полевиочно-мятликсовая, лисохвостная, осоковая, разнотравная и др.

Проведенный анализ растительности лугов в условиях стабильного уровня антропогенного воздействия в начале 30-х гг. XX в. показал, что биоценотический состав был представлен 8 цено типами, преобладающих по числу видов и показателям обилия пратанты.

На краткопоемных лугах по числу видов доминировали пратанты (луговики) – 29 представителей, 52 % от всех выявленных видов (табл. 1).

Среди представителей этой группы наибольшие по обилию популяции образовывали кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) и др. На второй позиции находились пратант-рудеранты (сорно-луговые) – 13 видов, 23 % от всех определенных. Доля степантов (степняков) и палюдантов (болотников) в структуре биоценоморфного состава была незначительной – от 1 до 5 видов. Так, из степантов можно отметить тонконог гребенчатый (*Koeleria cristata* (L.) Pers.), из палюдантов – полевицу побегообразующую (*Agrostis stolonifera* L.). Демэкологический анализ показал, что доминирующими по числу растений на единице площади и биомассе на краткопоемных лугах были пратанты 83 и 86 % соответственно. Доля палюдантов, степантов, пратант-рудерантов была незначительной и составляла от 2 до 8 % от числа и от 5 до 7 % по биомассе. Таким образом, краткопоемные луга при систематическом использовании представляли псевдомоноценозы, где доминировали пратанты с небольшой (менее 20 %) примесью других биоценоморф.

## Ценоморфный состав растений лугов при разном уровне антропогенного воздействия в XX – начале XXI в.

| Группы ценоморф                            | При систематическом использовании |               |                |               | В условиях отсутствия антропогенного воздействия |               |                |               |
|--|-----------------------------------|---------------|----------------|---------------|--|---------------|----------------|---------------|
|  | Кратко-поемный                    | Долго-поемный | Кратко-поемный | Долго-поемный | Кратко-поемный                                   | Долго-поемный | Кратко-поемный | Долго-поемный |
| Число видов                                |                                   |               |                |               |  |               |                |               |
| Палюдант                                   | 5                                 | 8             | 13             | –             | 7  | 6             |                | 7             |
| Пратант                                    | 29                                | 27            | 20             | 21            | 21   | 15            | 21             | 21            |
| Пратант-рудерант                           | 13                                | 11            | 7              | 11            | 10   | 4             | 11             | 10            |
| Рудерант                                   | 4                                 | 3             | 1              | 14            | 2  | 2             | 14             | 2             |
| Сильвант-рудерант                          | 1                                 | 1             |                | 4             | 1  | –             | 4              | 1             |
| Сильвант                                   | –                                 | –             | 1              | 5             | 4  | 3             | 5              | 4             |
| Степант-рудерант                           | –                                 | –             | –              | 2             | –  | –             | 2              | –             |
| Степант                                    | 4                                 | 3             | –              | 6             | –  | –             | 6              | –             |
| Плотность популяции, шт/м <sup>2</sup>     |                                   |               |                |               |  |               |                |               |
| Палюдант                                   | 26                                |               | 104            | –             | 6  | 20            |                | 6             |
| Пратант                                    | 498                               | 495           | 367            | 454           | 332  | 246           | 454            | 332           |
| Пратант-рудерант                           | 44                                | 29            | 1              | 12            | 7  | 4             | 12             | 7             |
| Рудерант                                   | 0                                 | 1             | 10             | 19            | –  | –             | 19             | –             |
| Сильвант-рудерант                          | –                                 | –             | –              | –             | 1  | –             | –              | 1             |
| Сильвант                                   | –                                 | –             | 5              | 10            | 8  | 15            | 10             | 8             |
| Степант-рудерант                           | –                                 | –             | –              | 2             | –  | –             | 2              | –             |
| Степант                                    | 12                                | 2             | –              | –             | –  | –             | –              | –             |
| Воздушно-сухая биомасса, гр/м <sup>2</sup> |                                   |               |                |               |  |               |                |               |
| Палюдант                                   | 12                                | 0             | 46             | –             | 7,6  | 21,1          | 0              | 7,6           |
| Пратант                                    | 193                               | 197           | 105            | 159,7         | 150,5  | 115,8         | 159,7          | 150,5         |
| Пратант-рудерант                           | 16                                | 9             | 2              | 6,8           | 2,9  | 2,5           | 6,8            | 2,9           |
| Рудерант                                   |                                   | 2             | 1              | 13            | –  | –             | 13             | –             |
| Сильвант-рудерант                          | –                                 | –             | –              | 1,7           | –  | –             | 1,7            | –             |
| Сильвант                                   | –                                 | –             | 7              | 8,4           | 13,9   | 13,8          | 8,4            | 13,9          |
| Степант-рудерант                           | –                                 | –             | –              | 2,4           | –  | –             | 2,4            | –             |
| Степант                                    | 11                                | 11            | –              | –             | –  | –             | –              | –             |

На долгопоемных лугах основу биоценоморфного спектра составляли пратанты – 27 представителей (51 % от всех отмеченных), также значительной была доля пратант-рудерантов 11 видов (21 % от всех отмеченных). На данной категории угодий было отмечено 8 видов палюдантов: полевица побегоносная, манник плавающий (*Glyceria fluitans* (L.) R. Br.) и др. Участие рудерантов, сивльвант-рудерантов и сивльвантов было минимальным от 2 до 9 % от всех зафиксированных видов. Определение популяционных показателей биоценоморф выявило, что доминирующими как по численности, так и по биомассе 94 и 90 % были виды пратанты, что также говорит о том, что растительные сообщества долгопоемных лугов являлись псевдомоноценозами.

На низинных лугах было также выявлено значительное количество пратантов – 20 видов (48 %) и палюдантов – 13 видов (31 %). Среди палюдантов часто встречались полевица побегоносная, осоки черная (*Carex nigra* (L.) Reichard) и заостренная (*C. acutiformis* Ehrh.).

Число видов пратант-рудерантов, рудерантов и сивльвантов было незначительным – от 3 до 4 видов. Демэкологический анализ выявил, что 75 % от числа растений в фитоценозах и 65 % от биомассы приходилось на долю пратантов, на долю палюдантов 21 и 29 % соответственно, таким образом, низинные луга представляли собой амфиценозы.

На суходольных лугах также доминирующей по числу отмеченных видов была группа пратантов – 38 видов (48 %). Значительную долю занимали пратант-рудеранты и рудеранты – 20 и 28 % из всех выявленных. Так, к наиболее часто встречающимся пратант-рудерантам относились пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), подорожник средний (*Plantago media* L.), щавель густой (*Rumex confertus* Willd.), к рудерантам – пикульник обыкновенный (*Galeopsis tetrahit* L.), скерда кровельная (*Crepis tectorum* L.), хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.).

Долевое участие других биоценоморф было незначительным. Анализ популяционных показателей выявил, что 92 % от числа растений и 91 % от биомассы растений занимали пратанты, что также говорит о том, что данные категории угодий являлись псевдомоноценозами.

По результатам собственных исследований было выделено 3 ассоциации на суходольных лугах – кострцево-разнотравная, мятликово-разнотравная и разнотравная ассоциации. На поемных участках изучаемых травянистых сообществ нами было выделено 7 ассоциации, в том числе полевицная, мятликовая, овсяницева и щучковая.

В современных условиях при отсутствии антропогенной нагрузки на протяжении 10–15 лет, биоценоморфный состав включал 8 ценоморф, но их участие, как по видовому составу, так и обилию претерпело значительное изменение.

На краткочасных лугах доля видов пратантов снизилась по сравнению с первым периодом обследований на 19 % – до 21 вида, что составило 33 % от всех отмеченных. Значительно расширилось число рудерантов с 4 до 14, сивльвант-рудерантов – с 1 до 4 видов. Появились неотмеченные И. И. Спрыгиным сивльванты (5 видов), среди которых репешок обыкновенный (*Agri-monia eupatoria* L.), земляника зеленая (*Fragaria viridis* (Duchesne) Weston), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), колокольчик круглолистный

(*Campanula rotundifolia* L.). Полностью выпали из сообщества виды палюданты.

Демэкологический анализ показал, что рудеранты стали занимать до 4 % от общего числа и до 7 % от биомассы растений краткопоемных лугов, сивьванты 2 и 7 % соответственно. Участие других биоценоморф в формировании популяционных показателей осталось на том же уровне.

На долгопоемных лугах было выявлено, что число видов пратантов уменьшилось с 27 до 21. Выпали из сообщества степанты: люцерна серповидная (*Medicago falcata* L.), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.), тонконог гребенчатый. Появились ранее не отмечавшиеся сивьванты: осока волосистая (*Carex pilosa* Scop.), осока дернистая (*Carex cespitosa* L.). Число видов палюдантов, пратант-рудерантов и рудерантов осталось на прежнем уровне.

Анализ популяционных показателей выявил, что в фитоценозах значительно снизилось число растений пратант-рудерантов, при этом увеличилась доля сивьвантов до 2 % от общего числа растений и до 8 % их биомассы, также увеличились показатели обилия палюдантов за счет таких видов, как хвощ речной (*Equisetum fluviatile* L.), подмаренник болотный (*Galium palustre* L.), осока пузырчатая (*Carex vesicaria* L.) и др.

При снижении антропогенного воздействия и возрастании конкуренции со стороны доминантов растительных сообществ на низинных лугах были отмечены следующие изменения: число видов палюдантов снизилось с 13 до 6, не отмечались полевица побегоносная, манник плавающий, кипрей болотный (*Epilobium palustre* L.) и др. Количество пратантов снизилось с 20 до 15 видов, пратант-рудерантов – с 7 до 4. В фитоценозе появились ранее не отмеченные сивьванты – осоки дернистая и волосистая.

Демэкологический анализ выявил, что в настоящее время доля палюдантов снизилась на 14 % по числу растений на единице площади и на 15 % по биомассе. Возросло долевое участие пратантов в фитоценозах (до 86 % от числа и до 76 % от биомассы растений) на единицу площади. В формировании популяционных показателей увеличилась доля ранее не отмечавшихся сивьвантов, до 5 % от числа и 9 % от биомассы растений на единицу площади.

На суходольных лугах также произошли существенные изменения, число палюдантов снизилось с 6 до 1, пратантов – с 38 до 22. Состав пратант-рудерантов увеличился с 12 до 16 видов, рудерантов – с 7 до 22 видов.

Из растений группы пратант-рудерантов получили широкое распространение цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.), клевер пашенный (*Trifolium arvense* L.), молочай прутьевидный (*Euphorbia virgata* Waldst. & Kit.), второй группы – бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Besser), осот полевой (*Sonchus arvensis* L.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), мелколестник однолетний (*Erigeron annuus* (L.) Pers.). Расширился спектр сивьвантов – с 3 до 5 видов и сивьвант-рудерантов – с 4 до 6 видов. Анализ популяционных показателей выявил, что в отсутствии антропогенного воздействия доля растений пратантов, по сравнению с исследованиями И. И. Спрыгина, снизилась с 92 до 79 % от общего числа и с 91 до 73 % от биомассы растений. Пратант-рудеранты стали занимать до 16 % от числа и биомассы растений на единице площади, сивьванты – до 4 и 6 % соответственно. Таким образом,

данные категории угодий при отсутствии антропогенного воздействия из псевдомоноценозов перешли в амфиценозы, для которых характерно отсутствие ассоциированности между видовыми биоценопопуляциями.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что изменение уровня антропогенной нагрузки, связанное с прекращением выпаса скота и сенокошением, привело к автогенной сукцессии луговых фитоценозов и, как следствие, трансформации биоценоморфного состава как по видовой структуре, так и показателям обилия. Отмечалось существенное снижение доли пратантов в фитоценозах. Экологические ниши, характерные для пратантов, стали занимать рудеральные виды: бодяк щетинистый, одуванчик лекарственный, осот полевой, вьюнок полевой, мелкопестник однолетний и др. В фитоценозах в результате начала автогенной сукцессии стали произрастать силванты, не встречавшиеся при систематическом использовании лугов в начале 30-х гг. XX в.

### Библиографический список

1. **Иванов, А. Л.** Флора Предкавказья и ее генезис / А. Л. Иванов. – Ставрополь : Изд-во СГУ, 1998. – 204 с.
2. **Камелин, Р. В.** Флорогенетический анализ естественной флоры горной Средней Азии / Р. В. Камелин. – Ленинград : Наука, 1973. – 355 с.
3. **Демидова, А. Н.** Комплексный подход к анализу флоры / А. Н. Демидова, Н. Г. Прилепский // Вестник Московского университета. Сер. 16, Биология. – 2014. – № 2. – С. 46–53.
4. **Миркин, Б. М.** Экология естественных и сеяных лугов / Б. М. Миркин. – Москва : Знание, 1991. – № 8. – 64 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сельское хозяйство).
5. **Титов, Ю. В.** Динамика травяной растительности поймы реки Хопер / Ю. В. Титов, Е. В. Печенюк. – Ленинград : Изд-во Ботанического ин-та, 1990. – 140 с.
6. **Ермакова, И. М.** Динамичность и устойчивость видовых популяций на естественных лугах Калужской области / И. М. Ермакова, Н. С. Сугоркина // Динамика ценопопуляций растений. – Москва : Наука, 1985. – С. 63–82.
7. **Куркин, К. А.** Опыт мониторинга пойменных лугов. Динамики устойчивости фитоценозов / К. А. Куркин // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 1997. – Т. 102, вып. 3. – С. 37–44.
8. **Бобровская, Н. И.** Трансформация луговых степей под влиянием климато-генных и антропогенных факторов / Н. И. Бобровская, Т. И. Казанцева // Наука в центральной России. – 2012. – № 2. – С. 222–227.
9. **Горнов, А. В.** Влияние разных режимов сенокошения на флористическое разнообразие (на примере Неруссо-Деснянского Полесья) / А. В. Горнов, О. И. Евстигнеев // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы : материалы Всерос. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, 20–24 сентября 2011 г.) : в 2 т. – 2011. – Т. 2. – С. 168–170.
10. **Никольский, А. Н.** Видовой состав лугов различных типов при разном уровне антропогенного воздействия в XX – начале XXI века / А. Н. Никольский, А. В. Кошкин, Д. В. Бочкарев, А. С. Великанов // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. С. А. Лапшина. – Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2017. – С. 10–19.

11. Продуктивность и качество сена природных кормовых угодий при изменении экологических факторов в XX – начале XXI века / А. В. Кошкин, А. Н. Никольский, Д. В. Бочкарев, Н. В. Смолин, В. Д. Бочкарев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 2. – С. 35–40.
12. Государственный архив Пензенской области (ГАПО). ФР-28-37 (Личный фонд И. И. Спрыгина).
13. **Матвеев, Н. М.** Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны) / Н. М. Матвеев. – Самара : Изд-во Самарского ун-та, 2006. – 311 с.
14. **Бельгард, А. Л.** Лесная растительность юго-востока УССР / А. Л. Бельгард. – Киев : Изд-во Киевского ун-та, 1950. – 264 с.
15. **Альбицкая, М. А.** Основные закономерности формирования травяного покрова в искусственных лесах степной зоны УССР / М. А. Альбицкая // Искусственные леса степной зоны Украины. – Харьков : Изд-во Харьковского ун-та, 1960. – С. 155–208.
16. **Тарасов, В. В.** К вопросу о биоэкологической паспортизации сорных растений лесных культур Днепропетровской области / В. В. Тарасов // Биогеоэкологические особенности лесов Присамарья и их охрана : сб. науч. тр. Комплексной экспедиции / отв. ред. А. П. Травлеев. – Днепропетровск : Изд-во Днепропетровского ун-та, 1981. – С. 122–139.
17. **Бельгард, А. Л.** Степное лесоведение / А. Л. Бельгард. – Москва : Лесная промышленность, 1971. – 321 с.

#### **References**

1. Ivanov A. L. *Flora Predkavkaz'ya i ee genesis* [Flora of Ciscaucasia and its genesis]. Stavropol: Izd-vo SGU, 1998, 204 p. [In Russian]
2. Kamelin R. V. *Florogeneticheskiy analiz estestvennoy flory gornoy Sredney Azii* [Phlorogenetic analysis of the natural flora of the mountainous Central Asia]. Leningrad: Nauka, 1973, 355 p. [In Russian]
3. Demidova A. N., Prilepskiy N. G. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 16, Biologiya* [Bulletin of Moscow University. Series 16, Biology]. 2014, no. 2, pp. 46–53. [In Russian]
4. Mirkin B. M. *Ekologiya estestvennykh i seyanykh lugov* [Ecology of natural and sown meadows]. Moscow: Znanie, 1991, no. 8, 64 p. (Novoe v zhizni, nauke, tekhnike. Sel'skoe khozyaystvo). [In Russian]
5. Titov Yu. V., Pechenyuk E. V. *Dinamika travyanoy rastitel'nosti poymy reki Khooper* [Dynamics of grass vegetation of the Khooper river floodplain]. Leningrad: Izd-vo Botanicheskogo in-ta, 1990, 140 p. [In Russian]
6. Ermakova I. M., Sugorkina N. S. *Dinamika tsenopopulyatsiy rasteniy* [Dynamics of coenopopulation of plants]. Moscow: Nauka, 1985, pp. 63–82. [In Russian]
7. Kurkin K. A. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskii* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Unit of biology]. 1997, vol. 102, iss. 3, pp. 37–44. [In Russian]
8. Bobrovskaya N. I., Kazantseva T. I. *Nauka v tsentral'noy Rossii* [Science in Central Russia]. 2012, no. 2, pp. 222–227. [In Russian]
9. Gornov A. V., Evstigneev O. I. *Otechestvennaya geobotanika: osnovnye vekhi i perspektivy: materialy Vseros. nauch. konf. (g. Sankt-Peterburg, 20–24 sentyabrya 2011 g.): v 2 t.* [Russian geobotany: milestones and prospects: proceedings of All-Russian scientific conference (Saint Petersburg, September 20–24, 2011)]. 2011, vol. 2, pp. 168–170. [In Russian]
10. Nikol'skiy A. N., Koshkin A. V., Bochkarev D. V., Velikanov A. S. *Resursosbergayushchie ekologicheski bezopasnye tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii: materialy XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch.*

- pamyati prof. S. A. Lapshina* [Resource-saving environmentally friendly technologies for the production and processing of agricultural products: proceedings of XIII International scientific and practical conference]. Saransk: Izd-vo Mordovskogo un-ta, 2017, pp. 10–19. [In Russian]
11. Koshkin A. V., Nikol'skiy A. N., Bochkarev D. V., Smolin N. V., Bochkarev V. D. *Problemy agrokhimii i ekologii* [Issues of agricultural chemistry and ecology]. 2018, no. 2, pp. 35–40. [In Russian]
  12. *Gosudarstvennyy arkhiv Penzenskoy oblasti (GAPO)* [State Archive of Penza region]. FR-28-37 (Lichnyy fond I. I. Sprygina). [In Russian]
  13. Matveev N. M. *Bioekologicheskyy analiz flory i rastitel'nosti (na primere lesostepnoy i stepnoy zony)* [Bioecological analysis of flora and vegetation (on the example of forest-steppe and steppe zones)]. Samara: Izd-vo Samarskogo un-ta, 2006, 311 p. [In Russian]
  14. Bel'gard A. L. *Lesnaya rastitel'nost' yugo-vostoka USSR* [Forest vegetation of the southeast of the Ukrainian SSR]. Kiev: Izd-vo Kievskogo un-ta, 1950, 264 p. [In Russian]
  15. Al'bitskaya M. A. *Iskustvennyye lesa stepnoy zony Ukrainy* [Artificial forests of the steppe zone of Ukraine]. Kharkov: Izd-vo Khar'kovskogo un-ta, 1960, pp. 155–208. [In Russian]
  16. Tarasov V. V. *Biogeotsenologicheskie osobennosti lesov Prissamar'ya i ikh okhrana: sb. nauch. tr. Kompleksnoy ekspeditsii* [Biogeocenological features of the forests of the Preamamar and their protection: collected papers of Comprehensive expedition]. Dnepropetrovsk: Izd-vo Dnepropetrovskogo un-ta, 1981, pp. 122–139. [In Russian]
  17. Bel'gard A. L. *Stepnoe lesovedenie* [Steppe forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1971, 321 p. [In Russian]

---

**Кошкин Андрей Владимирович**

аспирант, Национальный  
исследовательский Мордовский  
государственный университет  
имени Н. П. Огарёва (Россия,  
г. Саранск, ул. Большевистская, 68)

E-mail: kafedra\_paz@agro.mrsu.ru

**Koshkin Andrey Vladimirovich**

Postgraduate student, Ogarev Mordovia  
State University (68, Bolshevistskaya street,  
Saransk, Russia)

**Никольский Александр Николаевич**

кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент, кафедра агрономии  
и ландшафтной архитектуры,  
Национальный исследовательский  
Мордовский государственный  
университет имени Н. П. Огарёва (Россия,  
г. Саранск, ул. Большевистская, 68)

E-mail: alnik1986@gmail.com

**Nikol'skiy Aleksandr Nikolaevich**

Candidate of agricultural sciences, associate  
professor, sub-department of agronomics  
and landscape architecture, Ogarev  
Mordovia State University  
(68, Bolshevistskaya street,  
Saransk, Russia)

**Бочкарев Дмитрий Владимирович**

доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор, кафедра агрономии  
и ландшафтной архитектуры,  
Национальный исследовательский  
Мордовский государственный  
университет имени Н. П. Огарёва (Россия,  
г. Саранск, ул. Большевистская, 68)

E-mail: kafedra\_paz@agro.mrsu.ru

**Bochkarev Dmitriy Vladimirovich**

Doctor of agricultural sciences, professor,  
sub-department of agronomics and  
landscape architecture, Ogarev Mordovia  
State University (68, Bolshevistskaya street,  
Saransk, Russia)

**Бочкарев Владимир Дмитриевич**  
студент, Национальный  
исследовательский Мордовский  
государственный университет  
имени Н. П. Огарёва (Россия,  
г. Саранск, ул. Большевистская, 68)  
E-mail: kafedra\_paz@agro.mrsu.ru

**Bochkarev Vladimir Dmitrievich**  
Student, Ogarev Mordovia State University  
(68, Bolshevistskaya street, Saransk,  
Russia)

---

**Образец цитирования:**

Кошкин, А. В. Изменение экологических условий как фактор динамики биоценотического состава растительности лугов / А. В. Кошкин, А. Н. Никольский, Д. В. Бочкарев, В. Д. Бочкарев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 46–56. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-5.

Е. Г. Куликова, Ю. В. Корягин,  
А. А. Блинохватов, Н. В. Корягина, Ю. В. Блинохватова

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТА ТЕХНОГЕНЕЗА НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* В условиях возрастающего антропогенного воздействия на природу увеличиваются техногенные потоки различных загрязняющих веществ, усиливается их давление на все компоненты биосферы, что служит экологически опасным фактором химической природы. Проблема загрязнения городов в настоящее время крайне актуальна. Целью исследований являлось изучение влияния предприятия ПАО «Пензмаш» на состояние почвенного покрова прилегающих территорий. В задачи исследований входило изучить ежегодные объемы образования загрязняющих веществ на предприятии; определить основные химические показатели почв и содержание тяжелых металлов в радиусе 100 м от объекта и сравнить с их образцами из лесопарковой зоны г. Пенза.

*Материалы и методы.* Исследования проводились на прилегающей к ПАО «Пензмаш» территории. Точками отбора проб являлись следующие участки: берег р. Суры, детская площадка, территория ПАО «Пензмаш». Для сравнения полученных данных использовались образцы, отобранные на территории лесного массива в лесопарковой зоне г. Пенза. Отбор образцов проводился тростевым почвенным буром из горизонта 0–10 см. Лабораторные исследования почвенных образцов проводили в ФГБУ ГЦАС «Пензенский» по аккредитованным методикам: ГОСТ 26927, ГОСТ 26930, ГОСТ 26932, ГОСТ 26933, ГОСТ 30178, ГОСТ 30538, ГОСТ Р 51301, ГОСТ Р 51766, ГОСТ Р 51962.

*Результаты.* Предприятие ежегодно планирует увеличивать количество выбросов в атмосферу с 69,01 в 2017 г. до 72,66 т/год в 2020 г. в рамках предельно допустимого выброса – 74,80521 т/год. В годовом нормативе образования отходов предприятия на 90,3 %, в лимите размещения отходов – на 85,2 % преобладают отходы V класса опасности. Нормативы на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду в составе сточных и (или) дренажных вод, не превышающих допустимые концентрации на выпуске, составляют 26,07694 т/год. Анализ основных химических показателей почв обследуемых прилегающих территорий показал, что все они имеют нейтральную или близкую к нейтральной реакцию среды. Анализ содержания тяжелых металлов в почвах показал значительное загрязнение территории предприятия: содержание свинца (I класс опасности) превышает ориентировочно допустимые концентрации на 13,0 мг/кг, никеля (II класс опасности) – на 5,3 мг/кг, цинка (III класс опасности) – на 24,6 мг/кг почвы. Содержание тяжелых металлов на прилегающих к предприятию территориях было в 1,1–2,57 раза выше, чем в лесопарковой зоне, но в пределах ориентировочной допустимой концентрации.

*Выводы.* Мониторинг выбросов ПАО «Пензмаш» вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и в сточные и (или) дренажные воды позволит

снизить их концентрацию до ориентировочной допустимых значений. Регулярная замена очистных фильтров, уловителей вредных (загрязняющих) веществ поможет снизить техногенную нагрузку предприятия на почвенный покров прилегающих к объекту территорий.

**Ключевые слова:** загрязняющие вещества, литейное производство, техногенная нагрузка, окружающая среда, городские почвы, тяжелые металлы.

*E. G. Kulikova, Yu. V. Koryagin,  
A. A. Blinokhvatov, N. V. Koryagina, Yu. V. Blinokhvatova*

## **INVESTIGATING THE IMPACT OF A TECHNOGENIC FACILITY ON THE SOIL COVER OF ADJACENT TERRITORIES**

### **Abstract.**

*Background.* Under the conditions of increasing anthropogenic impact on nature, technogenic flows of various pollutants increase, their pressure on all components of the biosphere increases, which serves as an environmentally dangerous factor of a chemical nature. The problem of urban pollution is currently extremely relevant. The purpose of the research was to study the impact of the company PJSC “Penzmash” on the state of the soil cover of adjacent territories. The objectives of the research were to study the annual volume of formation of polluting substances at the enterprise; to determine the main chemical indicators of soils and the content of heavy metals within a radius of 100 m from the object and compare them with samples from the forest Park zone of Penza.

*Materialis and methods.* The research was carried out on the territory adjacent to PJSC “Penzmash”. The sampling points were the following sections: the bank of the Sura river, a playground, and the territory of PJSC “Penzmash”. To compare the data obtained, we used samples taken on the territory of the forest area in the forest Park zone of Penza. The selection of images was carried out with a reed soil drill from the horizon of 0–10 cm. Laboratory studies of soil samples were carried out in the Federal state budgetary institution “Penza-ski” according to accredited methods: GOST 26927, GOST 26930, GOST 26932, GOST 26933, GOST 30178, GOST 30538, GOST R 51301, GOST R 51766, GOST R 51962.

*Results.* The enterprise annually plans to increase the amount of air emissions from 69,01 in 2017 to 72,66 t/year in 2020 within the maximum permissible emission – 74,80521 t/year. In the annual waste generation standard of the enterprise by 90,3 %, in the limit for waste disposal – 85,2 % is dominated by hazard class V waste. The standards for the discharge of pollutants into the environment as part of wastewater and (or) drainage water not exceeding the permissible concentration at the outlet are 26,07694 t/year. An analysis of the main chemical indicators of the soils of the examined adjacent territories showed that all of them have a neutral or close to neutral reaction of the environment. Analysis of the content of heavy metals in soils showed significant contamination of the enterprise: lead content (hazard class I) exceeds the estimated permissible concentration by 13,0 mg/kg, nickel (hazard class II) by 5,3 mg/kg, zinc (hazard class III) – on 24,6 mg/kg of soil. The content of heavy metals in the territories adjacent to the enterprise was 1,1–2,57 times higher than in the forest park zone, but within the approximate permissible concentration.

*Conclusions.* Monitoring of emissions of PJSC “Penzmash” of harmful (polluting) substances into the air and into waste and (or) drainage water will reduce their concentration to approximate acceptable values. Regular replacement of treatment

filters, traps of harmful (polluting) substances will help to reduce the technogenic load of the enterprise on the soil cover of the territories adjacent to the facility.

**Keywords:** pollutants, foundry, industrial load, environment, urban soils, heavy metals.

### Введение

Технологические процессы предприятий черной и цветной металлургии, не обеспеченные надежными средствами очистки газовых выбросов и сточных вод, являются источником тяжелых металлов, что может привести к их накоплению в почве и растениях на прилегающих территориях, что в свою очередь может негативно отразиться на здоровье населения.

Почвы города Пензы характеризуются довольно значительной емкостью поглощения. В составе обменных катионов до 70 % преобладает кальций. Свойства почв города создают предпосылки для закрепления и накопления в них тяжелых металлов (ТМ), поступающих на поверхность с выбросами автотранспорта и промышленных предприятий [1, 2].

### Материалы и методы

Исследования проводились на прилегающей к ПАО «Пензмаш» территории в 2016–2017 гг. [3]. Точками отбора проб являлись следующие участки: берег р. Суры, детская площадка, территория ПАО «Пензмаш». Для сравнения полученных данных использовались образцы, отобранные на территории лесного массива в лесопарковой зоне г. Пензы. Отбор образцов проводился тростевым почвенным буром из горизонта 0–10 см [4].

Лабораторные исследования почвенных образцов проводили в ФГБУ ГЦАС «Пензенский» по аккредитованным методикам: ГОСТ 26927, ГОСТ 26930, ГОСТ 26932, ГОСТ 26933, ГОСТ 30178, ГОСТ 30538, ГОСТ Р 51301, ГОСТ Р 51766, ГОСТ Р 51962.

### Результаты и обсуждение

На ПАО «Пензмаш» осуществляется литейное производство, которое подразделяется на чугунолитейное, литье под давлением и цветное литье. Плавка чугуна происходит в вагранках, цветных металлов в печах барабанного типа [3, 5]. Выпуск продукции на предприятии сопровождается выбросом загрязняющих веществ в окружающую среду.

ПАО «Пензмаш» имеет разрешение на предельно допустимый выброс (ПДВ), который был установлен с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха в соответствии с п. 1 ст. 14. ФЗ от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» Федеральной службой по надзору в сфере природопользования при условии не превышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов в объеме 74,80521 т/год (табл. 1).

Анализируя табл. 1, можно отметить, что предприятие ежегодно планирует увеличивать количество выбросов в атмосферу с 69,01 в 2017 г. до 72,66 т/год в 2020 г. в пределах ПДВ – 74,80521 т/год [3].

Таблица 1

Объем вредных (загрязняющих веществ), разрешенных к выбросу  
ПАО «Пензмаш» в атмосферу, т/год

| Планируемый предельно допустимый выброс (ПДВ)<br>по годам |         |         |         | Предельно допустимый<br>выброс (ПДВ) |
|---|---------|---------|---------|--------------------------------------|
| 2017 г.   | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. |                                      |
| 69,01   | 71,778  | 72,498  | 72,666  | 74,80521                             |

ПАО «Пензмаш» имеет утвержденные нормативы образования отходов и лимиты на их размещение на полигоне ТБО г. Пензы (табл. 2).

Таблица 2

Нормативы образования отходов ПАО «Пензмаш»  
и лимиты на их размещение

| Класс опасности<br>отходов | Годовой норматив<br>образования отходов, т/год | Лимит размещения отходов, т |               |
|----------------------------|--|-----------------------------|---------------|
|                            |  | 2015–2016 гг.               | 2017–2018 гг. |
| I класс                    | 0,583  | –                           | –             |
| II класс                   | 0,688  | –                           | –             |
| III класс                  | 86,401   | 22,599                      | 22,599        |
| IV класс                   | 249,092  | 175,893                     | 175,893       |
| V класс                    | 3147,874                                       | 1139,218                    | 1139,218      |
| Итого<br>по предприятию    | 3484,638                                       | 1337,71                     | 1337,71       |

Анализируя данные, можно сказать, что в годовом нормативе образования отходов предприятия на 90,3 %, в лимите размещения отходов на 85,2 % преобладают отходы V класса опасности.

ПАО «Пензмаш» имеет утвержденные нормативы на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду в составе сточных и (или) дренажных вод, не превышающих допустимые концентрации на выпуске, который составляет 26,07694 т/год (табл. 3).

Несомненно, что такое количество загрязняющих веществ, образующихся на предприятии, которое в северной части граничит с рекой Сурой, с южной и юго-восточной – с жилой застройкой, влияет на близлежащие территории.

Анализ почвенного покрова и растительных ассоциаций обследуемых территорий показал, что они отличались различной удаленностью от объекта техногенной нагрузки, растительностью и почвенной характеристикой (табл. 4).

Анализ основных химических показателей почв обследуемых территорий (табл. 5) показал, что все они имеют нейтральную или близкую к нейтральной реакцию среды, что является нетипичной особенностью для почв Пензенской области, имеющих преимущественно слабо- или среднекислую реакцию среды, что может являться косвенным показателем загрязнения почвы тяжелыми металлами [6, 7].

Таблица 3

Перечень и количество загрязняющих веществ,  
разрешенных ПАО «Пензмаш» к сбросу в составе  
сточных и (или) дренажных вод (2015–2020 гг.)

| Наименование загрязняющего вещества | Допустимая концентрация загрязняющего вещества на выпуске сточных и (или) дренажных вод в пределах норматива допустимого сброса, мг/м <sup>3</sup> | Разрешенный сброс загрязняющих веществ в пределах норматива допустимого сброса, т/год |
|-------------------------------------|--|---|
| 1. Взвешенные вещества              | 21,9   | 1,458   |
| 2. Сухой остаток                    | 309,5  | 20,6  |
| 3. БПК <sub>полн.</sub>             | 3  | 0,206   |
| 4. Натрий                           | 63,5   | 0,954   |
| 5. Хлориды                          | 9,6  | 0,639   |
| 6. Сульфаты                         | 29   | 1,931   |
| 7. Азот нитратов                    | 0,24   | 0,0016  |
| 8. Фосфаты                          | 0,2  | 0,0013  |
| 9. Калий                            | 3,2  | 0,213   |
| 10. Железо общее                    | 0,1  | 0,0067  |
| 11. Азот аммонийный                 | 0,39   | 0,026   |
| 12. Азот нитритов                   | 0,02   | 0,0013  |
| 13. Хром <sup>3</sup>               | 0,0085   | 0,0006  |
| 14. Медь                            | 0,001  | 0,00007   |
| 15. Цинк                            | 0,01   | 0,0007  |
| 16. Кобальт                         | 0,0012   | 0,00008   |
| 17. Свинец                          | 0,005  | 0,0003  |
| 18. СПАВ                            | 0,1  | 0,0067  |
| 19. Марганец                        | 0,01   | 0,0007  |
| 20. Кадмий                          | 0,0003   | 0,00002   |
| 21. Никель                          | 0,006  | 0,0004  |
| 22. Нефтепродукты                   | 0,05   | 0,0033  |
| 23. Фенолы                          | 0,001  | 0,00007   |
| Итого                               |  | 26,07694  |

Степень обеспеченности почв гумусом колеблется от низкой до повышенной, что объясняется почвенной разностью обследуемых территорий или нарушением структуры почвенного профиля. Степень обеспеченности почв азотом низкая, а фосфором и калием – очень высокая, что также может являться косвенным показателем загрязнения почвы [8–10].

Анализ содержания тяжелых металлов в почвах показал значительное загрязнение территории предприятия. Содержание свинца (I класс опасности) превышает ориентировочно допустимые концентрации на 13,0 мг/кг, никеля (II класс опасности) – на 5,3 мг/кг, цинка (III класс опасности) – на 24,6 мг/кг почвы (табл. 6).

Характеристика почвенного покрова  
и растительных ассоциаций обследуемых территорий

| Точки отбора проб        | Расстояние до объекта техногенеза, м | Тип почвы                               | Растительная ассоциация                         |
|--------------------------|--------------------------------------|---|---|
| Лес (контроль)           | 4000                                 | Светло-серая лесная супесчанная почва   | Смешанный елово-осиновый лес                    |
| Детская площадка         | 100                                  | Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый | Злаковая травянистая                            |
| Берег р. Суры            | 10                                   | Светло-серая лесная супесчанная почва   | Разнотравье, древесная береговая растительность |
| Территория ПАО «Пензмаш» | 0                                    | Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый | Злаковая травянистая                            |

Таблица 5

Основные химические показатели почв обследуемых территорий

| Точки отбора проб        | Обменная кислотность (pH <sub>KCl</sub> ) | Сумма поглощенных оснований (S) | Гидролитическая кислотность (Hг) | Степень насыщенности основаниями (V), % | Содержание гумуса (C <sub>орг.</sub> ), % | Азот (N) | Подвижный фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | Обменный калий (K <sub>2</sub> O) |
|--------------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|---|---|----------|---|-----------------------------------|
|                          |   | мг-экв/100 г почвы              |                                  |   |   |          |   |                                   |
| Лес (контроль)           | 6,0                                       | 39,1                            | 0,54                             | 75                                      | 4,9                                       | 98,0     | 535   | 580                               |
| Детская площадка         | 6,8                                       | 37,1                            | 0,78                             | 83                                      | 6,4                                       | 78       | 728   | 305                               |
| Берег р. Суры            | 6,9                                       | 29,5                            | 0,66                             | 81                                      | 2,3                                       | 87       | 115   | 535                               |
| Территория ПАО «Пензмаш» | 7,0                                       | 44,1                            | 0,87                             | 92                                      | 4,1                                       | 77       | 165   | 110                               |

Таблица 6

Содержание тяжелых металлов  
в почвах обследуемых территорий, мг/кг

| Точки отбора проб                             | Zn   | Mn   | Pb   | Ni   |
|---|------|------|------|------|
| Лес (контроль)                                | 42,0 | 294  | 11,5 | 10,1 |
| Детская площадка                              | 71,0 | 360  | 29,6 | 11,1 |
| Берег р. Суры                                 | 51,2 | 345  | 24,0 | 12,8 |
| Территория ПАО «Пензмаш»                      | 79,6 | 369  | 45,0 | 25,3 |
| Ориентировочная допустимая концентрация (ОДК) | 55,0 | 1500 | 32,0 | 20,0 |

Содержание тяжелых металлов на прилегающих к предприятию территориях было в 1,1–2,57 раза выше, чем в лесопарковой зоне, но в пределах ориентировочной допустимой концентрации, за исключением цинка на территории детской площадки (на 16,0 мг/кг почвы выше ОДК), которая расположена недалеко от железной дороги, что и является возможной причиной превышения.

### Заключение

Мониторинг выбросов ПАО «Пензмаш» вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и сточные и (или) дренажные воды позволит снизить их концентрацию до ориентировочной допустимой. Регулярная замена очистных фильтров уловителей вредных (загрязняющих) веществ поможет снизить техногенную нагрузку предприятия на почвенный покров прилегающих к объекту территорий.

### Библиографический список

1. Глобальные биогеохимические циклы : учеб. пособие / Е. В. Надежкина, С. А. Сашенкова, Е. Г. Куликова, В. А. Иванова, Т. Б. Лебедева, Н. В. Корягина, С. М. Надежкин, С. Ю. Шаркова. – Пенза : РИО ПГСХА, 2005. – Ч. I. – 130 с.
2. **Чекаев, Н. П.** Физико-химические свойства почв : учеб. пособие / Н. П. Чекаев, А. Н. Арефьев, Е. Е. Кузина, В. Н. Эркаев. – Пенза : РИО ПГСХА, 2016. – 222 с.
3. Годовой отчет публичного акционерного общества «Пензмаш» по итогам работы за 2017–2018 годы. – URL: [www.penzmash.ru](http://www.penzmash.ru)
4. **Куликова, Е. Г.** Экология : учеб. пособие для практических занятий / Е. Г. Куликова. – Пенза : РИО ПГАУ, 2019. – 160 с.
5. **Куликова, Е. Г.** Влияние ОАО «Пензмаш» на экологическую ситуацию г. Пензы / Е. Г. Куликова // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии : XV Междунар. науч.-практ. конф. : сб. ст. / под общ. ред. В. А. Селезнева, И. А. Лушкина. – Пенза : РИО ПГСХА, 2013. – С. 47–50.
6. Глобальные биогеохимические циклы : учеб. пособие / Е. В. Надежкина, С. А. Сашенкова, Т. Б. Лебедева, В. А. Иванова, Н. В. Корягина, Е. Г. Куликова, С. Ю. Шаркова, С. М. Надежкин. – Пенза : РИО ПГСХА, 2009. – Ч. II. – 120 с.
7. Качество жизни населения и экология : монография / С. А. Сашенкова, Х. М. Ахмадуллина, У. З. Ахмадуллин, Т. Р. Кабиров, Е. С. Васильев, Е. А. Волкова, Г. М. Галиджян, О. В. Гончарова, Л. В. Гуркина, В. И. Иванов, И. А. Воронова, Д. М. Иванов, Е. Д. Иванов, Т. Н. Клейменова, Т. А. Соколова, Н. В. Хватыш, Ю. В. Корягин, Н. В. Корягина, Е. Г. Куликова, А. А. Галиуллин ; под общ. ред. С. А. Сашенковой, Г. В. Ильиной. – Пенза : РИО ПГАУ, 2018. – 189 с.
8. **Куликова, Е. Г.** Изучение фитотоксичности почв городских экосистем / Е. Г. Куликова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. – Пенза : ПГТА, 2011. – С. 88–91.
9. **Куликова, Е. Г.** Тяжелые металлы в городской среде / Е. Г. Куликова // Образование, наука, практика: инновационный аспект : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА». – Пенза : РИО ПГСХА, 2011. – С. 32–34.
10. Оценка степени деградации почв на земельных участках сельскохозяйственного назначения в результате антропогенного воздействия / Н. П. Чекаев, Ю. В. Блинохватова, А. Ю. Кузнецов, Т. А. Власова, Н. В. Корягина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2018. – № 4 (24). – С. 51–61.

### References

1. Nadezhkina E. V., Sashenkova S. A., Kulikova E. G., Ivanova V. A., Lebedeva T. B., Koryagina N. V., Nadezhkin S. M., Sharkova S. Yu. *Global'nye biogeokhimicheskie tsikly: ucheb. posobie* [Global biogeochemical cycles: teaching aid]. Penza: RIO PGSKhA, 2005, part I, 130 p. [In Russian]
2. Chekaev N. P., Arefev A. N., Kuzina E. E., Erkaev V. N. *Fiziko-khimicheskie svoystva pochv: ucheb. posobie* [Physico-chemical properties of soils: teaching aid]. Penza: RIO PGSKhA, 2016, 222 p. [In Russian]
3. *Godovoy otchet publichnogo aktsionernogo obshchestva «Penzmash» po itogam raboty za 2017–2018 gody* [The annual report of the public joint-stock company “Penzmash” based on the results of work for 2017–2018]. Available at: [www.penzmash.ru](http://www.penzmash.ru) [In Russian]
4. Kulikova E. G. *Ekologiya: ucheb. posobie dlya prakticheskikh zanyatiy* [Ecology: teaching aid for practical lessons]. Penza: RIO PGAU, 2019, 160 p. [In Russian]
5. Kulikova E. G. *Goroda Rossii: problemy stroitel'stva, inzhenernogo obespecheniya, blagoustroystva i ekologii: XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: sb. st.* [Cities of Russia: problems of construction, engineering support, improvement and ecology: proceedings of XV International scientific and practical conference]. Penza: RIO PGSKhA, 2013, pp. 47–50. [In Russian]
6. Nadezhkina E. V., Sashenkova S. A., Lebedeva T. B., Ivanova V. A., Koryagina N. V., Kulikova E. G., Sharkova S. Yu., Nadezhkin S. M. *Global'nye biogeokhimicheskie tsikly: ucheb. posobie* [Global biogeochemical cycles: teaching aid]. Penza: RIO PGSKhA, 2009, part II, 120 p. [In Russian]
7. Sashenkova S. A., Akhmadullina Kh. M., Akhmadullin U. Z., Kabirov T. R., Vasil'ev E. S., Volkova E. A., Galidzhyan G. M., Goncharova O. V., Gurkina L. V., Ivanov V. I., Voronova I. A., Ivanov D. M., Ivanov E. D., Kleymenova T. N., Sokolova T. A., Khvatysh N. V., Koryagin Yu. V., Koryagina N. V., Kulikova E. G., Galiullin A. A. *Kachestvo zhizni naseleniya i ekologiya: monografiya* [Quality of life and ecology: monograph]. Penza: RIO PGAU, 2018, 189 p. [In Russian]
8. Kulikova E. G. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego* [XXI century: results of the past and problems of the present]. Penza: PGTA, 2011, pp. 88–91. [In Russian]
9. Kulikova E. G. *Obrazovanie, nauka, praktika: innovatsionnyy aspekt: sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 60-letiyu FGBOU VPO «Penzenskaya GSKhA»* [Education, science, practice: innovative aspect: proceedings of the International scientific and practical conference devoted to the 60<sup>th</sup> anniversary of Penza State Agrarian University]. Penza: RIO PGSKhA, 2011, pp. 32–34. [In Russian]
10. Chekaev N. P., Blinokhvatova Yu. V., Kuznetsov A. Yu., Vlasova T. A., Koryagina N. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2018, no. 4 (24), pp. 51–61. [In Russian]

---

#### **Куликова Евгения Геннадьевна**

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

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

#### **Kulikova Evgeniya Gennad'evna**

Candidate of biological sciences, associate  
professor, sub-department of plant breeding,  
seed production and biology, Penza State  
Agrarian University (30, Botanicheskaya  
street, Penza, Russia)

**Корягин Юрий Викторович**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра селекции, семеноводства и биологии растений, Пензенский государственный аграрный университет (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: liza.tania@mail.ru

**Блинохватов Антон Александрович**

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой пищевых производств, Пензенский государственный технологический университет (Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1А / 11)

E-mail: julechka83@inbox.ru

**Корягина Наталья Викторовна**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра селекции, семеноводства и биологии растений, Пензенский государственный аграрный университет (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: liza.tania@mail.ru

**Блинохватова Юлия Владимировна**

кандидат биологических наук, доцент, кафедра почвоведения, агрохимии и химии, Пензенский государственный аграрный университет (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: julechka83@inbox.ru

**Koryagin Yuriy Viktorovich**

Candidate of agricultural sciences, associate professor, sub-department of plant breeding, seed production and biology, Penza State Agrarian University (30, Botanicheskaya street, Penza Russia)

**Blinokhvatov Anton Aleksandrovich**

Candidate of agricultural sciences, head of the sub-department of food production, Penza State Technological University (1A / 11, Baydukova lane / Gagarina street, Penza, Russia)

**Koryagina Natal'ya Viktorovna**

Candidate of agricultural sciences, associate professor, sub-department of plant breeding, seed production and biology, Penza State Agrarian University (30, Botanicheskaya street, Penza, Russia)

**Blinokhvatova Yuliya Vladimirovna**

Candidate of biological sciences, associate professor, sub-department of soil science, agrochemistry and chemistry, Penza State Agrarian University (30, Botanicheskaya street, Penza, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Изучение влияния объекта техногенеза на почвенный покров прилегающих территорий / Е. Г. Куликова, Ю. В. Корягин, А. А. Блинохватов, Н. В. Корягина, Ю. В. Блинохватова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 57–65. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-6.

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

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Оценка продуктивности компонентов кормовой базы ихтиофауны в настоящее время имеет большое значение в связи с развитием аквакультуры и поиском дополнительных запасов водных биологических ресурсов во внутренних пресноводных водоемах страны. Цель исследования – изучить сезонную динамику развития зоопланктона для определения рыбопродуктивности по данному показателю одного из участков р. Суры.

*Материалы и методы.* Пробы зоопланктона отбирали в так называемом Городском водохранилище на трех точках выбранной станции в середине каждого месяца безледного периода с апреля по ноябрь 2014–2015 гг. Расчеты рыбопродукции проводились с учетом коэффициентов, адаптированных к Приволжскому региону. Сравнительный анализ с соседними водоемами проводился по результатам исследований авторов.

*Результаты.* За период исследований выявлено 87 видов и форм зоопланктона (в 2014 г. – 64, в 2015 г. – 65). Соотношение числа видов таксономических групп организмов (коловраток, ветвистоусых и веслоногих ракообразных) по годам было схожим. Ежемесячные изменения видового состава в разные годы в среднем оказались близки – 63 и 64 %. Изменения видового состава зоопланктона по годам составили 51 %. По численности доминировали коловратки и ветвистоусые ракообразные, по биомассе – ветвистоусые. В среднем, численность зоопланктона по месяцам различалась в 16–18 раз, биомасса – в 10–29 раз. Средняя биомасса за 2014 г. (4,544 г/м<sup>3</sup>) в три раза превысила таковую в 2015 г. (1,429 г/м<sup>3</sup>), что характерно для водохранилищ региона. Более высокие показатели 2014 г. объясняются более высокой средней температурой воды и стабильным гидрологическим режимом.

*Выводы.* Исследуемый участок р. Суры при значительных ежемесячных и годовых колебаниях биомассы зоопланктона отличается высокой рыбопродуктивностью по данному показателю и является перспективным рыбохозяйственным водным объектом для зарыбления ценными рыбами – планктофагами в более крупных объемах, чем ранее. Максимальные значения биомассы зоопланктона отмечаются в июне-июле, минимальные – в апреле. Поэтому при отборе проб для оценки продуктивности следует учитывать сезонные изменения данного параметра.

**Ключевые слова:** зоопланктон, мониторинг, Городское водохранилище, биомасса, рыбопродукция.

## MONITORING THE PRODUCTIVITY OF ZOOPLANKTON IN THE REGULATED SURGE OF THE SURA RIVER IN PENZA REGION

### Abstract.

*Background.* Evaluation of the productivity of the components of the food base of ichthyofauna is currently of great importance in connection with the development of aquaculture and the search for additional reserves of aquatic biological resources in the country's internal freshwater bodies. The purpose of the work is to study the seasonal dynamics of the development of zooplankton to determine fish productivity by this indicator of one of the sections of the river. Surahs.

*Material and methods.* Samples of the zooplankton were collected in the studied reservoir at three points of the selected station in the middle of each month in the ice-free period from April to November 2014–2015. Calculations of fish products were carried out taking into account the coefficients adapted to the Volga region. A comparative analysis with neighboring water bodies was carried out according to the results of research by the authors.

*Results.* During the research period, 87 species and forms of zooplankton were identified (64 in 2014, 65 in 2015). The ratio of the number of species of taxonomic groups of organisms (Rotifera, Cladocera, and Copepoda) was similar for years. The monthly changes in species diversity in different years on average were almost equal – 63 and 64 %. Changes in species diversity of zooplankton over the years amounted to 51 %. In numbers Rotifera and Cladocera dominated, in terms of biomass, Cladocera dominated. On average, the monthly abundance of zooplankton varied by 16–18 times, and biomass by 10–29 times. The average biomass for the 2014 (4,544 g/m<sup>3</sup>) was three times higher than that in 2015 (1,429 g/m<sup>3</sup>), which is typical for the reservoirs in the region. Higher indicators in 2014 are explained by a higher average water temperature and a stable hydrological regime.

*Conclusions.* The studied reservoir with significant monthly and annual fluctuations in zooplankton biomass is characterized by high fish productivity in this indicator and is a promising fishery water body for stocking valuable fish – planktophages in larger volumes than before. The maximum biomass of zooplankton is observed in June–July, the minimum – in April. Therefore, when sampling to evaluate productivity, seasonal variations should be taken into account.

**Keywords:** zooplankton community, monitoring, urban reservoir, biomass, fish products.

Оценка продуктивности компонентов кормовой базы ихтиофауны в настоящее время имеет большое значения в связи с развитием аквакультуры и поиском дополнительных запасов водных биологических ресурсов во внутренних пресноводных водоемах страны. В Пензенской области только три водоема важного рыбохозяйственного значения с целью повышения выхода рыбопродукции за счет федеральных субвенций и компенсационных средств зарыблялись ценными видами рыб. Это Сурское (Пензенское) водохранилище, озеро Затон и зарегулированный участок реки Суры на территории г. Пензы. Последний водный объект, образованный русловой переливной плотиной, своей морфометрией, низкими скоростями течения и соответственно более высокими температурами воды, резкими искусственными колебаниями уровня, сложившейся ихтиофауной кардинально отличается от есте-

ственного участка реки Суры и фактически является водохранилищем, в дальнейшем как «Городское водохранилище» [1–3]. Подобных небольших русловых водоподъемных водохранилищ достаточно много на средних и малых реках Приволжья [3].

Для зарыбления Городского водохранилища в 2010 г. была проведена научно-исследовательская работа «Разработка рыбоводно-биологического обоснования по зарыблению зарегулированного участка р. Суры от Сурского гидроузла до плотины ТЭЦ-1 на 2011–2015 годы». Исследования на данном участке по продуктивности основных кормовых компонентов рыб – зоопланктону и макрозообентосу – проводились в октябре. По результатам вышеприведенной работы Городское водохранилище несколько раз зарыблялось ценными видами рыб – сазаном, карпом, белым толстолобиком, белым амуром. Данные виды рыб впоследствии встречались в уловах рыболовов-любителей с навесками до 7 кг (толстолобик), заметно чище от микроводорослей и погруженной водной растительности стал и сам водоем. Однако, на наш взгляд, рекомендуемый объем зарыбляемой молоди был занижен. С целью объективной оценки продуктивности кормовой базы Городского водохранилища нами был проведен мониторинг продуктивности зоопланктона в 2014–2015 гг.

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

#### **Материалы и методы**

Протяженность участка р. Суры от плотины Сурского гидроузла до плотины ТЭЦ-1 составляет 20 км. Подпор воды от плотины по основному руслу распространяется на 13 км, именно этот участок реки и является Городским водохранилищем [2, 3]. Ширина основного русла реки Суры ниже Сурского гидроузла колеблется от 95 до 105 м, ширина водохранилища – от 100 до 220 м, в приплотинной зоне – до 240 м. Глубина в водохранилище – 1,5–8,0 м, скорость течения – 0–0,02 м/с.

Станция отбора проб располагалась на правом берегу водоема, в 20 м выше места впадения р. Пенза на противоположном берегу, в 6 км от плотины ТЭЦ-1. Биотоп – типичный для водоема. Участок берега высотой 0,5–1,5 м, достаточно открытый, поросший высшей прибрежной растительностью, между одиночными зарослями крупного кустарника. Дно песчаное, местами закоряжено. В летний период хорошо развита погруженная водная растительность, преимущественно элодея. В осенний период дно устлано опавшей листвой, весной – замусорено осенней листвой и древесным мусором. Периодически происходят резкие колебания уровня воды на 0,2–1,0 м. Глубина на участке отбора проб в прибрежной зоне – 0,6–1,0 м, скорость течения в основном – 0,01–0,02 м/с.

Отбор проб проводили в середине каждого месяца безледного периода с апреля по ноябрь в 2014–2015 гг. (за исключением июля). Пробы зоопланктона отбирали на трех точках выбранной станции (у коряги, у прибрежной растительности и на открытом участке) путем процеживания 30 л поверхностной воды через сеть Апштейна в пластмассовые емкости и фиксировали 4 % раствором формалина. Обработку проб проводили в соответствии с об-

щепринятыми в гидробиологии методиками [4, 5], для идентификации видов руководствовались пособиями [6–8]. Всего отобрано 45 проб. В результате обработки и анализа полученного материала определены структурные параметры зоопланктонного сообщества: число видов ( $S$ ), численность ( $N$ ), биомасса ( $B$ ), доминантный состав (%).

Изменения видового состава зоопланктона по месяцам и годам в процентах рассчитывали следующим образом:  $X = B \times 100 / A_1 + A_2 + B$ , где  $A_1$  – число видов исходного месяца,  $A_2$  – число видов следующего месяца,  $B$  – число видов, встречавшихся оба месяца. Коэффициенты корреляции рассчитывали между ежемесячными средними показателями численности и биомассы зоопланктона с ежемесячными средними показателями температуры и прозрачности воды. Между средними ежемесячными показателями биомассы (без июля) в 2014 и 2015 гг.

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

## Результаты

### Видовой состав зоопланктонного сообщества

В 2014 г. с апреля по ноябрь отмечено 64 таксона: коловраток – 32, ветвистоусых ракообразных – 23, веслоногих ракообразных – 9 видов, а также копеподные и науплиальные личинки циклопов. При этом по месяцам число видов колебалось от 10 в июне до 34 в августе (в среднем 21 вид) (табл. 1). Ежемесячно видовой состав изменялся на 49–79 % (в среднем на 63 %). Наиболее часто в сообществе отмечались коловратки *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Keratella cochlearis tecta*, *Polyarthra dolichoptera*, *Polyarthra major*, ветвистоусые ракообразные *Acroperus angustatus*, *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia pulchella*, *Polyphaemus pediculus*, один вид веслоногих ракообразных *Mesocyclops leuckarti*, копеподные и науплиальные личинки циклопов.

В 2015 г. за период исследований (с апреля по июнь и с августа по ноябрь) отмечено 65 таксонов зоопланктона, из них: коловраток – 34, ветвистоусых – 20, веслоногих ракообразных – 11 видов, а также копеподные и науплиальные личинки циклопов. При этом по месяцам число видов колебалось от 17 в июне до 26 в октябре (в среднем – 21 вид) (см. табл. 1). Ежемесячно видовой состав изменялся на 58–73 % (в среднем на 64 %). В сообществе наиболее часто отмечались: коловратки *Colurella adriatica*, *Polyarthra dolichoptera*, *Synchaeta oblonga*, ветвистоусые ракообразные *Chydorus sphaericus* и *Pleuroxus aduncus*, веслоногий рачок *Acanthocyclops americanus* и науплиусы циклопов.

### Численность

В 2014 г. самые низкие значения численности отмечены в апреле (2,28 тыс. экз./м<sup>3</sup>), самые высокие – в июне (1771,56 тыс. экз./м<sup>3</sup>) (см. табл. 1). Высокую численность в отдельные месяцы показали: коловратки *Euchlanis dilatata*, *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra dolichoptera*, *Pompholyx sulcata*, *Synchaeta oblonga*, ветвистоусые раки *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia pulchella*, *Disparalona rostrata*, веслоногий рачок *Mesocyclops leuckarti* и науплиусы. Стоит отметить в июне массовое развитие ветвистоусого рачка *Bosmina longirostris* (1579,53 тыс. экз./м<sup>3</sup>).

Таблица 1

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

| Показатели                               | Год  | Месяцы |              |               |        |       |       |       |       |       |      | Средняя |
|--|------|--------|--------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
|  |      | IV     | V            | VI            | VII    | VIII  | IX    | X     | XI    |       |      |         |
| Температура воды, °С                     | 2014 | 11,0   | 18,5         | 19,0          | 24,0   | 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 | 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   |      |         |
| Число таксонов                           | 2014 | 13     | 20           | 10            | 22     | 34    | 21    | 26    | 17    | 20,3  |      |         |
|  | 2015 | 17     | 24           | 17            | н.д.   | 17    | 25    | 26    | 21    | 20,8  |      |         |
| Изменения<br>видового состава, %         | 2014 | -      | 63           | 79            | 61     | 49    | 62    | 66    | 62    | 63    |      |         |
|  | 2015 | -      | 70           | 73            | -      | 63    | 58    | 62    | 59    | 64    |      |         |
| Численность,<br>тыс. экз./м <sup>3</sup> | 2014 | 2,3    | 341,6        | <b>1771,6</b> | 432,9  | 25,9  | 66,3  | 74,8  | 75,4  | 348,9 |      |         |
|  | 2015 | 313,4  | <b>639,4</b> | 89,1          | н.д.   | 86,9  | 35,3  | 62,7  | 372,9 | 228,5 |      |         |
| Биомасса, г/м <sup>3</sup>               | 2014 | 0,015  | 0,806        | <b>26,966</b> | 5,306  | 0,186 | 0,905 | 1,369 | 0,797 | 4,544 |      |         |
|  | 2015 | 0,334  | <b>2,867</b> | 2,360         | н.д.   | 1,572 | 0,279 | 0,708 | 1,939 | 1,429 |      |         |
| средняя                                  |      | 0,175  | 1,837        | <b>14,663</b> | >2,653 | 0,879 | 0,592 | 1,039 | 1,368 | 2,987 |      |         |

В 2015 г. самые низкие значения численности отмечены в сентябре (35,34 тыс. экз./м<sup>3</sup>), самые высокие – в мае (639,36 тыс. экз./м<sup>3</sup>) (см. табл. 1). Высокую численность в отдельные месяцы показали: коловратки *Cephalodella ventripes*, *Notholca squamula*, *Polyarthra dolichoptera*, *Synchaeta oblonga*, ветвистоусые рачки *Chydorus sphaericus* и *Scapholeberis mucronata*, науплиусы циклопов.

### Биомасса

В 2014 г. самые низкие значения биомассы зоопланктона отмечены в апреле (0,015 г/м<sup>3</sup>), самые высокие – в июне (26,966 г/м<sup>3</sup>) (см. табл. 1). Высокую биомассу в отдельные месяцы показали: коловратка *Asplanchna priodonta*, ветвистоусые рачки *Bosmina longirostris*, *Chydorus gibbus*, *Ceriodaphnia pulchella*, *Daphnia* гр. *longispina*, *Polyphaemus pediculus*, веслоногие рачки *Cyclops* sp., *Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*, *Harpactiformes* и науплиусы. Благодаря высокой численности и крупным размерам биомасса *Bosmina longirostris* в июне была очень высокой (15,8 г/м<sup>3</sup>).

В 2015 г. самые низкие значения биомассы отмечены в сентябре (0,279 г/м<sup>3</sup>), самые высокие – в мае (2,867 г/м<sup>3</sup>) (см. табл. 1). Высокую биомассу в отдельные месяцы показали: коловратки *Notholca squamula*, *Rotaria* sp., *Synchaeta oblonga*, ветвистоусые рачки *Bosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus*, *Eurycercus lamellatus*, *Polyphaemus pediculus*, *Scapholeberis mucronata*, веслоногие рачки *Acanthocyclops americanus*, *Eudiaptomus gracilis*, *Harpactiformes* и науплиусы.

### Результаты двухлетнего мониторинга

За два года исследований на выбранном участке р. Суры в Городском водохранилище обнаружено 87 видов и форм зоопланктона, что является высоким показателем видового разнообразия для водоемов региона [11, 12]. Сравнивая результаты исследований 2014 и 2015 гг., можно отметить следующее. Число видов зоопланктона было схожим в разные годы (в 2014 г. – 64, в 2015 г. – 65), как и соотношение таксономических групп (рис. 1). При этом 44 вида отмечены в сообществе оба года. Изменения видового состава зоопланктона по годам составили 51 %. Ежемесячные изменения видового состава в разные годы в среднем оказались близки (63 и 64 % соответственно) (см. табл. 1).

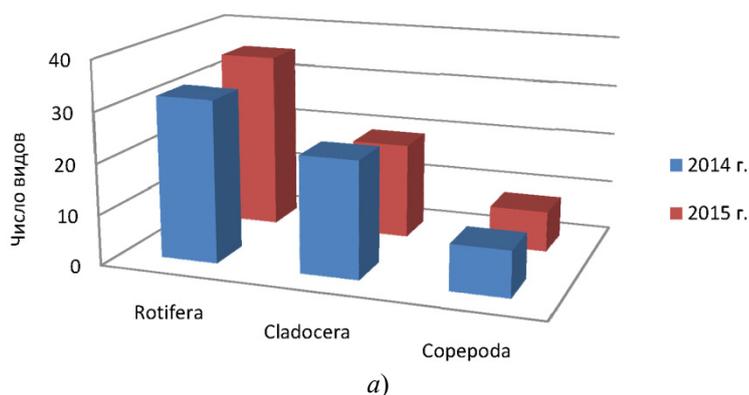


Рис. 1. Динамика видового состава (а), численности (б) и биомассы (в) зоопланктона Городского водохранилища по годам (начало)

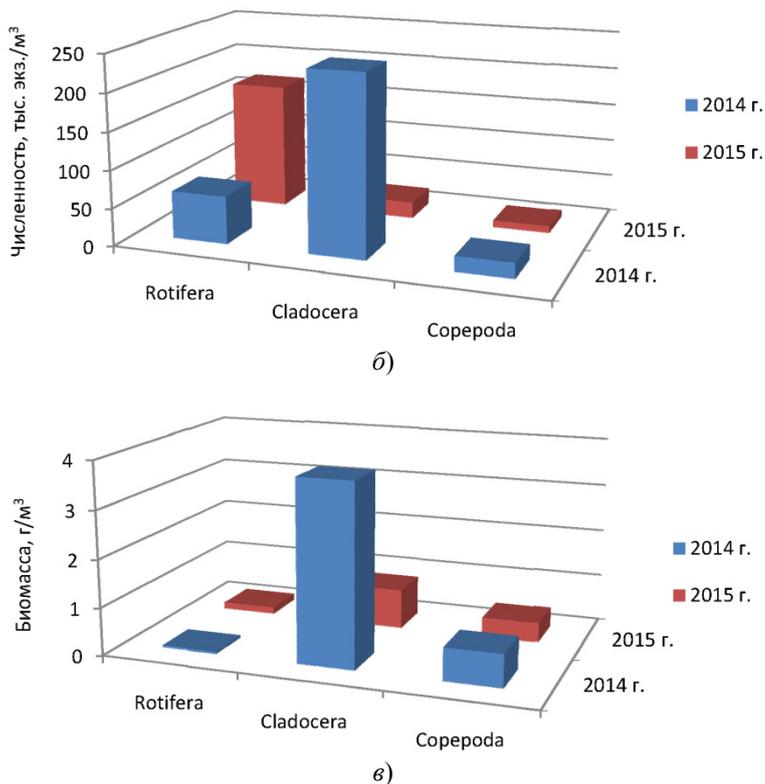


Рис. 1. Динамика видового состава (а), численности (б) и биомассы (в) зоопланктона Городского водохранилища по годам (окончание)

На протяжении всего периода исследований наиболее часто отмечались коловратки *Keratella cochlearis tecta*, *Polyarthra dolichoptera*, *Synchaeta oblonga*, ветвистоусый рачок *Chydorus sphaericus*, а также науплиальные и копеподитные личинки циклопов.

По численности в разные месяцы доминировали коловратки и ветвистоусые ракообразные, по биомассе – только ракообразные (ветвистоусые и веслоногие).

### Обсуждение

Оценивая корреляционную зависимость между показателями численности и биомассы зоопланктона с температурой и прозрачностью воды, отмечаем ее отсутствие (см. табл. 1). Подобная ситуация возможно объясняется нестабильным гидрологическим режимом водоема. Однако более высокие средние значения температуры воды в 2014 г. (на 1,8 °С) и большая стабильность водного режима в первой половине сезона, очевидно, повлияли на высокие показатели зоопланктонного сообщества этого года. Средние значения прозрачности в 2014 г. были ниже таковых 2015 г., что в водоемах рыбохозяйственного значения обычно свидетельствует о более высокой продуктивности планктона [13].

Без учета крайних показателей в апреле и июне 2014 г. численность зоопланктона по месяцам различалась в 16–18 раз, биомасса – в 10–29 раз. Очень низкие показатели в апреле 2014 г. могли быть вызваны крайне не-

стабильной погодой месяца (зафиксированной Гидрометеослужбой; сайт Минлесхоза, Отчет за 2014 г.), что негативно отразилось на водоеме и, в частности, на двукратном повышении мутности. Это, вероятно, отрицательно повлияло на нерест рыб и послужило причиной малочисленности поколения молоди – главного потребителя зоопланктона. Низкая выедаемость зоопланктона в совокупности со стабильным водным режимом и более ранним прогреванием воды спровоцировало бурное развитие зоопланктона в июне и июле. Возможно, на высокие показатели в июне также повлияли нагонные ветровые явления, прижимающие планктон к прибрежью.

Для определения рыбопродуктивности необходимым показателем является биомасса зоопланктона. На исследуемом участке Городского водохранилища в 2014 г. средняя биомасса за сезон ( $4,544 \text{ г/м}^3$ ) в три раза превысила таковую 2015 г. ( $1,429 \text{ г/м}^3$ ). Подобные колебания средней продуктивности наблюдались и в Сурском водохранилище, в 2012 г. –  $4,58 \text{ г/м}^3$ ; в 2013 г. –  $0,86 \text{ г/м}^3$  [3]. Средняя биомасса зоопланктона в Городском водохранилище за 2014–2015 гг. составила  $2,99 \text{ г/м}^3$ . При переводе в рыбопродукцию при уровне воды 1 м это составит  $62,79 \text{ кг/га}$ , что является величиной свободной приемной емкости водоема по зоопланктону. Данный показатель значительно превышает величину, использованную при разработке рыбоводно-биологического обоснования в 2010 г. В целом по данному водоему при средней глубине 2,5 м рыбопродукция по свободному зоопланктону может составлять 80 т.

На рис. 2 представлены показатели рыбопродукции по зоопланктону ряда разнотипных водоемов, расположенных вокруг Городского водохранилища: Сурское водохранилище, естественного русла р. Суры за чертой г. Пензы, р. Пензы до границ г. Пензы и расположенного напротив впадения р. Пензы в Городское водохранилище песчаного карьера. Наибольшие показатели продуктивности зоопланктона отмечаются в хорошо прогреваемом мелководном карьере, полностью лишенном представителей ихтиофауны [14]. В водоемах рыбохозяйственного значения высокие показатели свободного зоопланктона отмечаются в Городском и Сурском водохранилищах, ничтожно малые в естественных руслах рек Сура и Пенза [15].

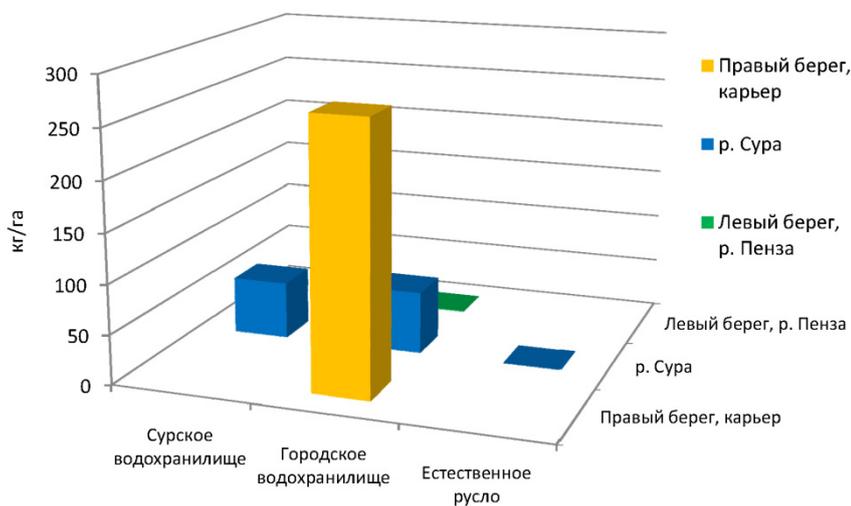


Рис. 2. Рыбопродуктивность по зоопланктону участков р. Суры (Сурское водохранилище, Городское водохранилище, естественное русло р. Суры), левый берег (р. Пенза), правый берег (карьер), кг/га

Таким образом, в дальнейшем целесообразно проводить зарыбление как Городского, так и Сурского водохранилища ценными видами рыб для удовлетворения потребностей рыболовов-любителей полумиллионного города, например, планктофагом – пестрым толстолобиком.

С методологической точки зрения достаточно сложно определить оптимальные месяцы однократного отбора проб в сезоне. Наибольшие показатели биомассы зоопланктона в 2014 г. отмечались в июне и июле, в 2015 г. – в мае и июне (см. табл. 1). Показатели близкие к среднесезонным в 2015 г. наблюдались в августе и ноябре. Корреляция биомассы зоопланктона между годами невысокая – 0,41, ежегодные климатические и гидрологические условия в данном водоеме значительно влияют на его развитие. Но если мы возьмем средние показатели за два года, отметим определенные закономерности. Максимальные значения биомассы зоопланктона отмечаются в июне-июле, достаточно высокие – в мае, октябре и ноябре, невысокие – в августе, сентябре, минимальные – в апреле. Поэтому при отборе проб зоопланктона для оценки продуктивности следует учитывать сезонные изменения данного параметра.

*Благодарности.* Выражаем благодарность инженеру Пензенской лаборатории Краснодарского филиала ФГБНУ «ВНИРО» И. Ю. Асановой за помощь в сборе 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. / под общ. ред. А. И. Иванова. – Пенза : РИО ПГСХА, 2006. – С. 42–45.
2. **Иванов, А. И.** Водно-болотные угодья Пензенской области / А. И. Иванов, В. Ю. Ильин, Е. А. Дудкин. – Пенза, 2016. – 208 с.
3. **Асанов, А. Ю.** Рыбохозяйственное значение водохранилищ, образованных русловыми водоподъемными сооружениями / А. Ю. Асанов // Сурский вестник. – 2019. – № 3 (7). – С. 22–28.
4. Методы биологического анализа пресных вод / отв. ред. Г. Г. Винберг. – Ленинград : Зоологический ин-т АН СССР, 1976. – 168 с.
5. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В. А. Абакумов, Н. П. Бубнова, Н. И. Холикова, Т. П. Горидченко, Р. А. Лиёпа, Н. Л. Свирская, Л. А. Ганьшина, В. А. Семин, В. М. Хромов, Д. И. Никитин, В. М. Катанская, И. М. Распопов ; под ред. В. А. Абакумова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
6. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / отв. ред.: Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. – 510 с.
7. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России : в 2 т. / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолыхина. – Санкт-Петербург : Зоологический ин-т РАН ; Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – Т. 1. Зоопланктон. – 494 с.
8. **Стойко, Т. Г.** Планктонные коловратки Пензенских водоемов : учеб.-метод. пособие / Т. Г. Стойко, Ю. А. Мазей. – Пенза : Изд-во ПГПУ имени В. Г. Беллинского, 2006. – 135 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. **Сенкевич, В. А.** Зоопланктонное сообщество Пензенского водохранилища / В. А. Сенкевич, А. Н. Цыганов, Т. Г. Стойко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 1 (13). – С. 35–49.
12. **Асанов, А. Ю.** Водные биологические ресурсы Пензенской области. Река Сура / А. Ю. Асанов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 7–14.
13. **Козлов, А. В.** Экологическая оценка биопродуктивности малых водоемов для создания фермерских хозяйств / А. В. Козлов. – Калуга, 2010. – 148 с.
14. **Асанов, А. Ю.** Рыбопродуктивность карьеров в Пензенской области по зоопланктону / А. Ю. Асанов, В. А. Сенкевич, И. Ю. Асанова // Символ науки. – 2016. – № 12-3. – С. 19–21.
15. **Бурдова, В. А.** Структура зоопланктона водотоков в лесостепи Среднего Поволжья в осенний период / В. А. Бурдова, Т. Г. Стойко, А. Ю. Асанов // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2014. – Т. 23, № 2. – С. 33–39.

### References

1. Il'in V. Yu., Yankin A. V. *Problemy okhrany i ekologicheskogo monitoringa prirodnikh landshaftov i bioraznoobraziya: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Issues of protection and ecological monitoring of natural landscapes and biodiversity: proceedings of All-Russian scientific and practical conference]. Penza: RIO PGSKhA, 2006, pp. 42–45. [In Russian]
2. Ivanov A. I., Il'in V. Yu., Dudkin E. A. *Vodno-bolotnye ugod'ya Penzenskoy oblasti* [Wetlands of Penza region]. Penza, 2016, 208 p. [In Russian]
3. Asanov A. Yu. *Surskiy vestnik* [Sursky Vestnik journal]. 2019, no. 3 (7), pp. 22–28. [In Russian]
4. *Metody biologicheskogo analiza presnykh vod* [Freshwater biological analysis methods]. Execut. ed. G. G. Vinberg. Leningrad: Zoologicheskii in-t AN SSSR, 1976, 168 p. [In Russian]
5. Abakumov V. A., Bubnova N. P., Kholikova N. I., Goridchenko T. P., Liepa R. A., Svirskaya N. L., Gan'shina L. A., Semin V. A., Khromov V. M., Nikitin D. I., Katan'skaya V. M., Raspopov I. M. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy* [Guidelines for hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 239 p. [In Russian]
6. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeyskoy chasti SSSR* [Determinant to freshwater invertebrates in the European part of the USSR]. Execut. ed.: L. A. Kutikova, Ya. I. Starobogatov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 510 p. [In Russian]
7. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii: v 2 t.* [Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia: in 2 volumes]. Eds. V. R. Alekseev, S. Ya. Tsalolikhin. Saint-Petersburg: Zoologicheskii in-t RAN; Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, vol. 1. Zooplankton, 494 p. [In Russian]
8. Stoyko T. G., Mazey Yu. A. *Planktonnye kolovratki Penzenskikh vodoemov: ucheb.-metod. posobie* [Planktonic rotifers of the Penza reservoirs: teaching aid]. Penza: Izd-vo PGPU imeni V. G. Belinskogo, 2006, 135 p. [In Russian]
9. Kozlov V. I., Ivanova Yu. S. *Rybnoe khozyaystvo* [Fish industry]. 2013, no. 1, pp. 18–25. [In Russian]
10. Asanov A. Yu. *Niva Povolzh'ya* [Cornfield of Volga region]. 2017, no. 4 (45), pp. 10–16. [In Russian]

11. Senkevich V. A., Tsyganov A. N., Stoyko T. G. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2016, no. 1 (13), pp. 35–49. [In Russian]
12. Asanov A. Yu. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Rybnoe khozyaystvo* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fish industry]. 2016, no. 2, pp. 7–14. [In Russian]
13. Kozlov A. V. *Ekologicheskaya otsenka bioproduktivnosti malyykh vodoemov dlya sozdaniya fermerskikh khozyaystv* [Ecological assessment of bio-productivity of small reservoirs for the establishment of farms]. Kaluga, 2010, 148 p. [In Russian]
14. Asanov A. Yu., Senkevich V. A., Asanova I. Yu. *Simvol nauki* [Symbol of science]. 2016, no. 12-3, pp. 19–21. [In Russian]
15. Burdova V. A., Stoyko T. G., Asanov A. Yu. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* [Samarskaya Luka National Park: issues of regional and global ecology]. 2014, vol. 23, no. 2, pp. 33–39. [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 staff scientist, Volga Research Center of Aquaculture and Aquatic Bioresources, Penza State Agricultural University (30, Botanicheskaya street, Penza, Russia)

**Сенкевич Викториа Александровна**

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

E-mail: Viktoriya0606@mail.ru

**Senkevich Viktoriya Aleksandrovna**

Postgraduate student, Penza State University (40, Krasnaya street, Penza, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Асанов, А. Ю. Мониторинг продуктивности зоопланктона на зарегулированном участке реки Суры в Пензенской области / А. Ю. Асанов, В. А. Сенкевич // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 66–76. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-7.

*М. К. Симанков, С. В. Лихачев*

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР ПОСЛЕДСТВИЙ ИНТРОДУКЦИИ ЮЖНЫХ РАС *APIS MELLIFERA* L. В СЕВЕРНЫЕ РЕГИОНЫ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* В процессе адаптации медоносные пчелы, обитавшие в разных климатических условиях, приобрели соответствующие морфологические изменения. Вследствие бессистемной интродукции человеком пчел различного происхождения образуются гибриды, что впоследствии может привести к снижению их жизнеспособности. Целью исследований являлась оценка степени метизации пчел на территории Пермского края с использованием данных морфометрического анализа.

*Материалы и методы.* Исследования проведены на пасеках 12 районов Пермского края в течение 10 лет. Морфометрическое исследование пчел выполнено по общепринятой и оригинальным авторским методикам. Для оценки степени метизации проводили измерения длины хоботка, длины и ширины правого переднего крыла и третьего тергита. Рассчитывали кубитальный индекс крыльев.

*Результаты.* У исследованных пчел выявлено несоответствие некоторых морфологических признаков таковым для среднерусской расы. Это свидетельствует о продолжающемся процессе метизации местных пчел. На территории Красновишерского района Пермского края сохранились пчелы, минимально затронутые процессом метизации.

*Выводы.* У всех особей обследованных пасек были выявлены признаки, несоответствующие среднерусской расе, что может свидетельствовать как о проходившем ранее, так и о продолжающемся в настоящее время процессе метизации местной популяции пчел. Мониторинг морфометрических признаков и направленная селекция позволяют обнаруживать отклонения в экстерьере и принимать меры по исправлению нарушенного генотипа. Для восстановления признаков аборигенной расы на пасеках края с измененным генотипом можно рекомендовать использовать племенной материал из Красновишерского района.

**Ключевые слова:** медоносная пчела, географически специфичные популяции, интродукция, мониторинг, морфометрия, биоразнообразие.

*М. К. Simankov, S. V. Likhachev*

## ECOLOGICAL INDICATOR OF CONSEQUENCES OF SOUTHERN RACES *APIS MELLIFERA* L. INTRODUCTION TO NORTHERN REGIONS

### Abstract.

*Background.* Honey bees lived in different climatic conditions acquired appropriate adaptations in the process of evolution. Hybrids of bees are formed through

uncontrolled introduction. They have reduced viability. The aim of the research was to assess the cross-breeding of bees in Perm region. Data of morphometric analysis are used as ecological indicator for this purpose.

*Materials and methods.* The research was carried out on the apiaries of twelve districts in Perm region during ten years. Morphometric examination of bees were carried out according to generally accepted and original author's methods. Measurements of the length of the hobby, the length and width of the right front wing and the third tergite were made to estimate the degree of beesmetization process. The cubital index of the wings was calculated.

*Results.* Signs of non-compliance of the investigated bees with the aboriginal Middle Russian race were revealed. This is indicator of the process of cross-breeding of local bees. The population of bees minimally affected by the process of cross-breeding was found in Krasnovishersky district of Perm region.

*Conclusions.* To eliminate the negative process of introduction, it is necessary to monitor the gene pool of bees. This will preserve unique endemic populations and contribute to conservation of biodiversity.

**Keywords:** honey bee, geographically specific populations, introduction, monitoring, morphometry, biodiversity.

Сокращение биоразнообразия – одна из основных глобальных экологических проблем современности [1]. От биологической активности медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.) зависит благополучие фито- и агроценозов, так как она является одним из основных опылителей энтомофильных растений. В процессе адаптации медоносные пчелы, обитавшие в разных климатических условиях, приобрели соответствующие морфологические изменения, которые позволяли им выживать в условиях локальных местообитаний [2]. Вследствие бессистемной интродукции человеком пчел различного происхождения образуются гибриды. Это приводит к потере ценного генофонда, утрате местными пчелами приобретенных адаптаций [2], уменьшению их жизнеспособности и численности [1, 3, 4]. Так, например, по сообщению А. В. Ивашова и других [1], на Крымском полуострове с большой долей вероятности исчезла крымская пчела (*Apis mellifera taurica* Alpatov, 1935). Грозит исчезновение некоторым популяциям серой горной кавказской медоносной пчелы [5, 6] и башкирской популяции темной лесной пчелы [4].

На обширной территории Российской Федерации с разнообразными природно-климатическими условиями распространены среднерусские, серые горные кавказские, дальневосточные и карпатские расы медоносных пчел [1, 3, 5–7]. Аборигенной для большей территории РФ является европейская темная лесная или среднерусская раса (*Apis mellifera mellifera* L.). Эти пчелы эволюционно формировались в условиях севера ареала, что привело к возникновению у них специфических адаптаций, закрепившихся в процессе отбора [2, 4]. С середины XX столетия среднерусские пчелы подвергаются интенсивной гибридизации «южными» расами пчел. Для Пермского края географически специфичными являются среднерусские пчелы, которые также испытывают влияние процесса гибридизации [3, 4, 7].

Для определения различных видов *Insecta* наиболее часто применяют сравнительно-морфологический метод, ферментный и молекулярно-генетический анализ [4, 5]. Существуют GIS-технологии по созданию карт морфометрии медоносных пчел [9]. Систематический анализ генофонда и организация племенной работы в пчеловодстве способствуют научно обоснованному

ведению селекционной работы в направлении восстановления признаков аборигенной расы медоносных пчел, что ведет к их сохранению.

### Материалы и методы

Многолетняя работа проводилась на кафедре зоологии Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета и в УНЦ «Экологии и морфофизиологии медоносной пчелы» Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д. Н. Прянишникова. Исследования проведены в 12 районах Пермского края, на протяжении 10 лет, а также в разведенческом хозяйстве «Покровское» Осинского района (табл. 1).

Таблица 1

#### Объем обследованного материала

| Район           | Год взятия проб пчел | Количество обследованных пчелосемей | Количество обследованных пчел |
|-----------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Юрлинский       | 2006                 | 21                                  | 504                           |
| Юсьвинский      | 2007                 | 17                                  | 408                           |
| Бардымский      | 2008                 | 56                                  | 1344                          |
| Чернушинский    | 2009                 | 22                                  | 528                           |
| Кишертский      | 2010                 | 43                                  | 1032                          |
| Юго-Камский     | 2011                 | 18                                  | 432                           |
| Осинский        | 2016                 | 10                                  | 240                           |
| Кунгурский      | 2016                 | 10                                  | 240                           |
| Нытвенский      | 2016                 | 9                                   | 216                           |
| Добрянский      | 2016                 | 9                                   | 216                           |
| Пермский        | 2016                 | 7                                   | 168                           |
| Красновишерский | 2016                 | 10                                  | 240                           |
| Сумма           | –                    | 232                                 | 5568                          |

За все время исследований изучено более 5500 препаратов пчел из 232 семей 75 пасек. Распределение количества обследованных пчел по районам определялось пропорционально их общему количеству в конкретном районе и общему количеству пчел в Пермском крае. На пасеке хозяйства «Покровское» Осинского района с 1995 г. проводится «массовый отбор» пчелиных семей в направлении увеличения продуктивности, повышения зимостойкости при контроле морфометрических признаков (соответствие среднерусским пчелам).

Методики сбора, хранения пчел, приготовления препаратов частей тела и измерений до 2010 г. мало отличались от общепринятой [10]. Пробы пчел отбирали из наиболее продуктивных семей в сентябре-ноябре, по 24 особи, с крайних межрамочных пространств. После накопления определенного опыта и в результате появления новых компьютерных технологий и программ авторами в классическую методику морфометрических исследований поэтапно были внесены изменения и дополнения, ускоряющие и облегчающие

работу [7, 8]. Измерения длины хоботка, длины и ширины правого переднего крыла и третьего тергита проводили с помощью экранной (мониторной) линейки “MySize” (рис. 1). Данные заносили в электронные таблицы “Microsoft Excel” для статистической обработки. Для изучения кубитального индекса отсканированные изображения крыльев обрабатывали в координаторе Cybis CooRecorder (рис. 2). Полученный массив координат точек использовали для вычисления кубитального индекса.



Рис. 1. Измерение длины и ширины крыла мониторной линейкой “MySize”

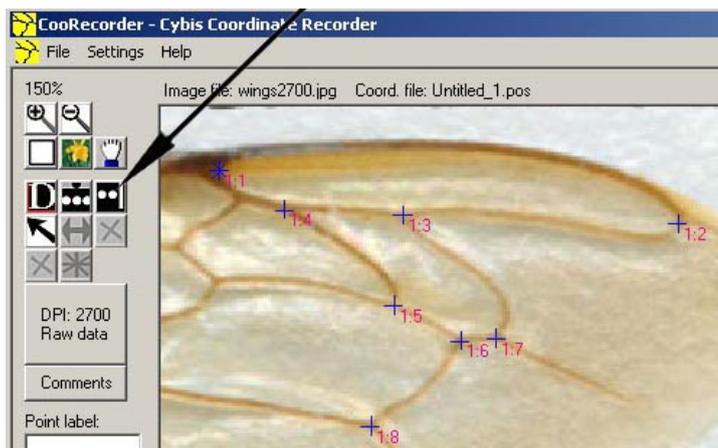


Рис. 2. Измерение кубитального индекса с помощью программы CooRecorder

По кубитальному индексу можно определить расу пчел: для среднерусской (*Apis mellifera mellifera* L.) он равен 60–65 %, серой горной кавказской (*Apis mellifera caucasica* Gorb.) – 50–55 %, карпатской (*Apis mellifera carpathica* Avetisyan, Gubin, Davidenco) – 45–50 %, итальянской (*Apis mellifera ligustica* Spinola) – 40–45 % [10].

### Результаты и обсуждение

Внешние признаки и поведение исследованных пчел указывают на принадлежность большинства из них к среднерусской расе. По данным морфометрического анализа большинство средних значений морфологических признаков также соответствует таковым среднерусской расе пчел (табл. 2).

Таблица 2

Морфометрические признаки пчел Пермского края ( $M \pm m$ )

| Район  | Длина хоботка,<br>мм | Длина крыла,<br>мм | Ширина крыла,<br>мм | Длина<br>3-го тергита,<br>мм | Ширина<br>3-го тергита,<br>мм | Кубитальный<br>индекс,<br>% |
|--|----------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Юрлинский  | <b>6,2 ± 0,005</b>   | 9,3 ± 0,008        | <b>3,1 ± 0,004</b>  | 2,3 ± 0,004                  | <b>5,1 ± 0,006</b>            | 56,3 ± 0,34                 |
| Юсьвинский                                       | <b>6,2 ± 0,003</b>   | <b>9,2 ± 0,008</b> | <b>3,1 ± 0,004</b>  | <b>2,4 ± 0,004</b>           | <b>5,1 ± 0,008</b>            | 57,5 ± 0,52                 |
| Бардымский                                       | <b>6,2 ± 0,004</b>   | 9,3 ± 0,006        | <b>3,1 ± 0,002</b>  | 2,3 ± 0,002                  | <b>5,0 ± 0,004</b>            | 54,6 ± 0,23                 |
| Чернушинский                                     | <b>6,1 ± 0,003</b>   | 9,3 ± 0,005        | <b>3,1 ± 0,003</b>  | 2,3 ± 0,005                  | 4,9 ± 0,006                   | 55,8 ± 0,32                 |
| Килшертский                                      | <b>6,0 ± 0,004</b>   | 9,3 ± 0,005        | <b>3,1 ± 0,003</b>  | 2,3 ± 0,003                  | 4,9 ± 0,005                   | 54,9 ± 0,24                 |
| Юго-Камский                                      | <b>6,1 ± 0,005</b>   | <b>9,2 ± 0,005</b> | 3,2 ± 0,005         | <b>2,4 ± 0,005</b>           | 4,9 ± 0,007                   | 56,8 ± 0,33                 |
| Осинский   | <b>6,0 ± 0,007</b>   | 9,3 ± 0,009        | 3,3 ± 0,005         | <b>2,4 ± 0,004</b>           | 4,9 ± 0,008                   | <b>60,8 ± 0,56</b>          |
| Кунгурский                                       | <b>6,0 ± 0,009</b>   | <b>9,2 ± 0,007</b> | 3,2 ± 0,005         | <b>2,4 ± 0,004</b>           | 4,9 ± 0,006                   | <b>60,4 ± 0,58</b>          |
| Нытвенский                                       | <b>5,9 ± 0,008</b>   | <b>9,2 ± 0,005</b> | 3,2 ± 0,005         | <b>2,4 ± 0,004</b>           | 4,9 ± 0,008                   | <b>60,7 ± 0,51</b>          |
| Добрянский                                       | <b>6,1 ± 0,009</b>   | 9,3 ± 0,009        | 3,3 ± 0,006         | 2,3 ± 0,005                  | <b>5,0 ± 0,008</b>            | 59,2 ± 0,47                 |
| Пермский   | <b>6,1 ± 0,009</b>   | <b>9,2 ± 0,006</b> | 3,3 ± 0,006         | <b>2,4 ± 0,005</b>           | <b>5,0 ± 0,009</b>            | 58,3 ± 0,52                 |
| Красновшерский                                   | <b>6,0 ± 0,007</b>   | 9,3 ± 0,008        | <b>3,1 ± 0,004</b>  | 2,3 ± 0,002                  | 4,8 ± 0,005                   | <b>61,6 ± 0,34</b>          |
| Средние показатели<br>для среднерусских пчел [4] | <b>5,9–6,4</b>       | <b>9,16</b>        | <b>3,14</b>         | <b>2,35</b>                  | <b>5,0</b>                    | <b>60–65</b>                |

**Примечание.** Выделены значения, соответствующие морфометрическим признакам среднерусских пчел.

Установлено соответствие всех изученных выборок пчел по длине хоботка (5,9–6,4 мм) средним показателям для среднерусской расы пчел. Данный показатель варьировал в интервале 5,9–6,2 мм. По остальным морфометрическим показателям доля соответствующих средним показателям для среднерусской расы пчел составляет не более 50 % (по всем исследованным пасекам). Наиболее критическую оценку дает использование кубитального индекса. Средним значениям этого показателя (60–65 %) для среднерусской расы пчел соответствуют только пчелы четырех районов: Осинский, Кунгурский, Нытвенский и Красновишерский, где он варьирует в пределах от 60,4 % (Кунгурский район) до 61,6 % (Красновишерский район).

Результаты, полученные при исследовании многолетней динамики морфометрических признаков пчел разведенческого хозяйства «Покровское» Осинского района, отображены в табл. 3.

Таблица 3

Многолетняя динамика морфометрических признаков пчел хозяйства «Покровское» Осинского района Пермского края

| Параметр                 | 1995 г.<br>(n = 600) | 2000 г.<br>(n = 408) | 2005 г.<br>(n = 504) | 2010 г.<br>(n = 288) | 2016 г.<br>(n = 240) |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Длина хоботка (мм)       |                      |                      |                      |                      |                      |
| M ± m                    | 6,09 ± 0,006         | 5,98 ± 0,004         | 6,15 ± 0,005         | 6,04 ± 0,007         | 6,00 ± 0,007         |
| Lim                      | 5,60–6,55            | 5,75–6,30            | 5,60–6,50            | 5,60–6,35            | 5,80–6,30            |
| Cv (%)                   | 2,5                  | 1,5                  | 2,0                  | 1,4                  | 1,7                  |
| Длина крыла (мм)         |                      |                      |                      |                      |                      |
| M ± m                    | 9,31 ± 0,010         | 9,38 ± 0,007         | 9,44 ± 0,008         | 9,40 ± 0,008         | 9,30 ± 0,009         |
| Lim                      | 9,10–10,40           | 9,00–9,80            | 9,20–9,80            | 9,00–9,80            | 8,80–9,60            |
| Cv (%)                   | 2,5                  | 1,3                  | 1,8                  | 1,5                  | 1,6                  |
| Ширина крыла (мм)        |                      |                      |                      |                      |                      |
| M ± m                    | 3,10 ± 0,006         | 3,15 ± 0,004         | 3,10 ± 0,004         | 3,03 ± 0,005         | 3,30 ± 0,005         |
| Lim                      | 2,90–3,50            | 3,00–3,40            | 2,70–3,40            | 2,70–3,30            | 3,10–3,40            |
| Cv (%)                   | 4,6                  | 2,9                  | 2,7                  | 3,2                  | 2,1                  |
| Длина 3-го тергита (мм)  |                      |                      |                      |                      |                      |
| M ± m                    | 2,39 ± 0,004         | 2,23 ± 0,005         | 2,31 ± 0,004         | 2,27 ± 0,005         | 2,40 ± 0,004         |
| Lim                      | 2,00–2,60            | 2,10–2,35            | 2,00–2,55            | 1,90–2,50            | 2,20–2,60            |
| Cv (%)                   | 4,2                  | 3,1                  | 3,9                  | 3,3                  | 2,6                  |
| Ширина 3-го тергита (мм) |                      |                      |                      |                      |                      |
| M ± m                    | 4,97 ± 0,006         | 4,97 ± 0,005         | 5,06 ± 0,006         | 5,02 ± 0,007         | 4,90 ± 0,008         |
| Lim                      | 4,45–5,50            | 4,50–5,50            | 4,70–5,60            | 4,70–5,50            | 4,50–5,30            |
| Cv (%)                   | 3,0                  | 2,0                  | 2,7                  | 2,9                  | 2,7                  |
| Кубитальный индекс (%)   |                      |                      |                      |                      |                      |
| M ± m                    | 55,7 ± 0,31          | 59,6 ± 0,64          | 56,2 ± 0,30          | 56,8 ± 0,35          | 60,8 ± 0,56          |
| Lim                      | 36–81                | 40–87                | 40–82                | 47–69                | 40–93                |
| Cv (%)                   | 13,6                 | 14,9                 | 11,0                 | 12,3                 | 14,3                 |

Анализ полученных результатов свидетельствует о незначительной вариабельности средних значений признаков в течение двух десятилетий, в пределах изменчивости, характерной для среднерусской расы пчел. Исключение составлял кубитальный индекс, который имеет низкие значения при высокой степени вариабельности. Только в 2016 г. было выявлено его соответствие средним показателям для среднерусской расы пчел. Вероятно, это связано с тем, что на пасеку в 2015 г. были завезены матки из Красновишерского района Пермского края (север региона), где сохранились пчелы, минимально затронутые процессом метизации.

### Заключение

Таким образом, у всех особей обследованных пасек были выявлены признаки, несоответствующие среднерусской расе, что может свидетельствовать как о проходившем ранее, так и о продолжающемся в настоящее время процессе метизации местной популяции пчел. Мониторинг морфометрических признаков и направленная селекция позволяют обнаруживать отклонения в экстерьере и принимать меры по исправлению нарушенного генотипа. Для восстановления признаков аборигенной расы на пасеках края с измененным генотипом можно рекомендовать использование племенного материала из Красновишерского района.

### Библиографический список

1. **Ивашов, А. В.** Сообщение о *Apis mellifera taurica* Alpatov, 1935 (архивные данные кафедры экологии и зоологии КФУ им. В. И. Вернадского) / А. В. Ивашов, Т. О. Быкова, В. Н. Саттаров, А. Г. Маннапов // Роль биоразнообразия пчелиных в поддержании гомеостаза экосистем : монография / под общ. ред. В. А. Сысуева, А. З. Брандорф. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2017. – С. 36–40.
2. **Мурылёв, А. В.** Адаптации медоносных пчел *Apis mellifera mellifera* (L.) и *Apis mellifera carpathica* к низким зимним температурам / А. В. Мурылёв, А. В. Петухов, В. Ю. Липатов // Экология. – 2012. – № 5. – С. 386–388.
3. **Ильясов, Р. А.** Генетическая дифференциация локальных популяций темной лесной пчелы *Apis mellifera mellifera* (L.) на Урале / Р. А. Ильясов, А. В. Поскряков, А. В. Петухов, А. Г. Николенко // Генетика. – 2015. – Т. 51, № 7. – С. 792–797.
4. Темная лесная пчела *Apis mellifera mellifera* L. Республики Башкортостан / отв. ред.: Р. А. Ильясов, А. Г. Николенко, Н. М. Сайфуллина. – Уфа : Гилем : Башкирская энциклопедия, 2015. – 308 с.
5. **Форнара, М. С.** Морфометрическая и молекулярно-генетическая дифференциация линий и семей медоносной пчелы *Apis mellifera caucasica* (L.), разводимых в районе Большого Сочи / М. С. Форнара, А. С. Крамаренко, С. В. Свистунов, Е. М. Любимов // Биология животных. – 2015. – Т. 50, № 6. – С. 776–783.
6. **Абакарова, М. А.** Ресурсы медоносных пчел серой горной кавказской породы в Дагестане и проблемы их сохранения / М. А. Абакарова // Роль биоразнообразия пчелиных в поддержании гомеостаза экосистем : монография / под общ. ред. В. А. Сысуева, А. З. Брандорф. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2017. – С. 8–14.
7. Из опыта морфологических исследований в Пермском крае / М. К. Симанков, А. В. Петухов, В. Л. Макаров, А. Ю. Лаврский, И. А. Лебединский // Проблемы и перспективы сохранения генофонда медоносных пчел в современных условиях : материалы 1-й Междунар. науч.-практ. конф. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2014. – С. 241–244.

8. **Симанков, М. К.** Экранная линейка в морфометрии / М. К. Симанков // Пчеловодство. – 2017. – № 2. – С. 44.
9. **Abou-Shaara, Hossam F.** A morphometry map and a new method for honey bee morphometric analysis by using the ArcGIS / Hossam F. Abou-Shaara // Arthropods. – 2013. – № 2 (4). – P. 189–199.
10. Методы проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве / А. В. Бородачев, А. Н. Бурмистров, А. И. Касьянов, Л. С. Кривцова, Н. И. Кривцов. – Рыбное : НИИП, 2002. – 156 с.

### **References**

1. Ivashov A. V., Bykova T. O., Sattarov V. N., Mannapov A. G. *Rol' bioraznoobraziya pchelinykh v podderzhanii gomeostaza ekosistem: monografiya* [The role of bee biodiversity in maintaining ecosystem homeostasis: monograph]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2017, pp. 36–40. [In Russian]
2. Murylev A. V., Petukhov A. V., Lipatov V. Yu. *Ekologiya* [Ecology]. 2012, no. 5, pp. 386–388. [In Russian]
3. Il'yasov R. A., Poskryakov A. V., Petukhov A. V., Nikolenko A. G. *Genetika* [Genetics]. 2015, vol. 51, no. 7, pp. 792–797. [In Russian]
4. *Temnaya lesnaya pchela Apis mellifera mellifera L. Respubliki Bashkortostan* [Dark forest bee Apis Mellifer Mellifer L. of the Republic of Bashkortostan]. Execut. eds.: R. A. Il'yasov, A. G. Nikolenko, N. M. Sayfullina. Ufa: Gilem: Bashkirskaya entsiklopediya, 2015, 308 p. [In Russian]
5. Fornara M. S., Kramarenko A. S., Svistunov S. V., Lyubimov E. M. *Biologiya zhivotnykh* [Animal biology]. 2015, vol. 50, no. 6, pp. 776–783. [In Russian]
6. Abakarova M. A. *Rol' bioraznoobraziya pchelinykh v podderzhanii gomeostaza ekosistem: monografiya* [The role of bee biodiversity in maintaining ecosystem homeostasis: monograph]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2017, pp. 8–14. [In Russian]
7. Simankov M. K., Petukhov A. V., Makarov V. L., Lavrskiy A. Yu., Lebedinskiy I. A. *Problemy i perspektivy sokhraneniya genofonda medonosnykh pchel v sovremennykh usloviyakh: materialy 1-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Issues and prospects of preserving the gene pool of honey bees in modern conditions: proceedings of the First International scientific and practical conference]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2014, pp. 241–244. [In Russian]
8. Simankov M. K. *Pchelovodstvo* [Beekeeping]. 2017, no. 2, p. 44. [In Russian]
9. Abou-Shaara Hossam F. *Arthropods*. 2013, no. 2 (4), pp. 189–199.
10. Borodachev A. V., Burmistrov A. N., Kas'yanov A. I., Krivtsova L. S., Krivtsov N. I. *Metody provedeniya nauchno-issledovatel'skikh rabot v pchelovodstve* [Methods of conducting research in beekeeping]. Rybnoe: NIIP, 2002, 156 p. [In Russian]

---

#### **Симанков Михаил Кимович**

кандидат биологических наук, доцент,  
кафедра экологии, Пермский  
государственный аграрно-  
технологический университет  
имени академика Д. Н. Прянишникова  
(Россия, г. Пермь,  
ул. Петропавловская, 23)

E-mail: [simmix@yandex.ru](mailto:simmix@yandex.ru)

#### **Simankov Mikhail Kimovich**

Candidate of biological sciences, associate  
professor, sub-department of ecology, Perm  
State Agro-Technological University  
named after academician  
D. N. Pryanishnikov  
(23, Petropavlovskaya street,  
Perm, Russia)

**Лихачев Сергей Васильевич**

кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент, кафедра экологии, Пермский  
государственный аграрно-  
технологический университет  
имени академика Д. Н. Прянишникова  
(Россия, г. Пермь,  
ул. Петропавловская, 23)

E-mail: slichachev@yandex.ru

**Likhachev Sergey Vasil'evich**

Candidate of agricultural sciences, associate  
professor, sub-department of ecology, Perm  
State Agro-Technological University  
named after academician  
D. N. Pryanishnikov  
(23, Petropavlovskaya street,  
Perm, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Симанков, М. К. Экологический индикатор последствий интродукции южных рас *Apis mellifera* L. в северные регионы / М. К. Симанков, С. В. Лихачев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 77–85. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-8.

## СОСУЩЕСТВОВАНИЕ БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ВИДОВ ИНФУЗОРИЙ КЛАССА KARYORELICTEA НА ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ<sup>1</sup>

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Исследования, выполненные на песчаной литорали, показали, что потенциально конкурирующие виды обычно расходятся либо в горизонтальной плоскости от берега к урезу воды или вдоль уреза воды, либо по вертикали, предпочитая занимать разные слои песка, либо по предпочитаемому пищевым ресурсам. Одним из важнейших компонентов морского интерстициального пространства являются инфузории. Класс Karyorelictea образует основу бентосного сообщества инфузорий (до 90 % по численности и биомассе). Мы рассмотрели условия сосуществования близкородственных видов кариореликтид на морской литорали.

*Материалы и методы.* Исследования проводили с мая по сентябрь в 2009–2011, 2013, 2018, 2019 гг. на песчаной литорали губы Грязной Кандалакшского залива Белого моря. Изучали сезонную динамику численности, горизонтальное распределение в трех пространственных масштабах, вертикальное распределение и питание инфузорий.

*Результаты.* Всего в изучаемом сообществе обнаружено 26 морфовидов кариореликтид. Все изученные автором инфузории встречаются в течение всего летнего сезона. Среднее перекрытие сезонных распределений видов составляет 0,31 (индекс Брея – Кертиса). В масштабе всего песчаного пляжа наблюдается независимое друг от друга распределение близкородственных видов. Среднее перекрытие распределений всех видов колеблется в пределах 0,19–0,37. Пространственное распределение кариореликтид на площади 200 см<sup>2</sup> оказалось весьма однородным. Многие массовые виды имеют довольно высокие индексы сходства, в среднем 0,79. Распределение инфузорий на площади 20 см<sup>2</sup> также весьма однородно. Все массовые виды имеют высокие индексы сходства (в среднем 0,8) и равномерно распределены в этом масштабе. Расхождение видов по вертикали очень слабое (средний индекс сходства Брея – Кертиса – 0,71). Все инфузории предпочитали слой 0–2 см. Проведенное автором изучение питания кариореликтид показало, что они также существенно расходятся по пище (среднее перекрытие – 0,36).

*Выводы.* Совместное использование ресурсов в ассоциациях инфузорий происходит, во-первых, из-за расхождения видов во времени и предпочитаемой пище, во-вторых, в результате горизонтального распределения видов в масштабе десятков-сотен метров, и лишь незначительно в меньших горизонтальных масштабах и по вертикали.

**Ключевые слова:** инфузории, Karyorelictea, Белое море, бентос, сосуществование.

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

© Есаулов А. С., 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.

## COEXISTENCE OF CLOSELY RELATED CILIATE SPECIES OF THE KARYORELICTEA CLASS IN THE WHITE SEA LITTORAL

### Abstract.

*Background.* Studies carried out on sand littoral have shown that potentially competing species typically diverge either horizontally from shore to waterline or vertically, preferring to occupy different layers of sand or preferable food resources. The ciliates is one of the most important components of the marine interstitial space. The class Karyorelictea forms the basis of the benthic ciliates community (up to 90 % in number and biomass). We considered the conditions for the coexistence of closely related karyorelictean species on the marine littoral.

*Materials and methods.* Studies were conducted from May to September in 2009–2011, 2013, 2018, 2019 on the sandy littoral of the Gryaznaya bay of the Kandalaksha gulf in the White Sea. They studied seasonal population dynamics, horizontal distribution at three spatial scales, vertical distribution and infusion feeding.

*Results.* A total of 26 morphospecies of karyorelicteans were found in the community under study. All ciliates we studied are found throughout the summer season. The average overlapping of seasonal distributions of species is 0,31 (Bray – Curtis index). At the scale of the whole sandy beach, there is an independent distribution of closely related species. The average overlapping distribution of all species ranges from 0,19 to 0,37. The spatial distribution of the karyorelicteans over an area of 200 cm<sup>2</sup> proved to be very homogeneous. Many abundant species have rather high similarity indexes, on average 0,79. The distribution of 20 cm<sup>2</sup> of ciliates over an area is also very homogeneous. All abundant species have high similarity indices (0,8 on average) and are homogeneously distributed at this scale. Vertical dispersion of species is very weak (average Bray – Curtis similarity index is 0,71). All ciliates preferred the layer of 0,2 cm. Our study of karyorelictid nutrition showed that they also differ significantly in food (average overlapping – 0,36).

*Conclusions.* Resource sharing in ciliates associations occurs, firstly, due to the discrepancy between species in time and preferred food, secondly, because of the horizontal distribution of species at a scale of tens or hundreds of meters, and only slightly at smaller horizontal and vertical scales.

**Keywords:** ciliates, Karyorelictea, White sea, benthos, coexistence.

### Введение

Инфузории – классический объект для изучения межвидовых взаимодействий со времен работ Г. Ф. Гаузе [1]. Исследования, выполненные на песчаной литорали, показали, что потенциально конкурирующие виды обычно расходятся либо в горизонтальной плоскости от берега к урезу воды [2] или вдоль уреза воды [3], либо по вертикали, предпочитая занимать разные слои песка [2], либо по предпочитаемым пищевым ресурсам. Последнее является важным механизмом разделения нишевого пространства, обеспечивающего сосуществование видов [4].

В исследованиях морских интестициальных инфузорий было показано, что разделение ниш реализуется по осям пищевых ресурсов и факторов, определяющих вертикальное распределение инфузорий, в меньшей мере инфузории расходились в горизонтальной плоскости и во времени [5–8].

Целью настоящей работы явилось изучение условий сосуществования близкородственных видов интерстициальных инфузорий класса *Karyorelictea*, образующих основу бентосного сообщества инфузорий на морской литорали (до 90 % по численности и биомассе), на примере сообщества, формирующегося в губе Грязной эстуария реки Черной Кандалакшского залива Белого моря.

### **Материалы и методы**

Исследования проводили с мая по сентябрь в 2009–2011, 2013, 2018, 2019 гг. на песчаной литорали губы Грязной Белого моря (66°31' с.ш., 32°58' в.д.). Материал для изучения сезонной динамики численности инфузорий собирали на трех площадках, которые находились на расстоянии от 1 до 10 м друг от друга. Количественный учет инфузорий для изучения структуры сообщества и ее изменения в течение сезона проводили по методике, основанной на учете интегральной пробы, состоящей из 15 случайно отобранных в пределах каждой площадки меньших проб, объемом  $1 \times 1 \times 3 \text{ см}^3$  (глубина – 3 см). Просматривали случайную выборку, соответствующую 1/15 тотальной пробы, т.е. одному среднестатистическому квадратному сантиметру. Интегральная проба позволяет нивелировать неравномерность распределения организмов в пространстве и корректнее использовать полученные данные для их сравнения. Пробы собирали еженедельно с мая по сентябрь во время отлива.

Горизонтальное распределение изучали в трех пространственных масштабах: микро- ( $3 \times 3 \text{ см}$ ), мезо- ( $10 \times 10 \text{ см}$ ) и макрогоризонтальном (весь пляж  $50 \times 100 \text{ м}$ ). Изучение вертикального распределения ограничено глубиной проникновения инфузорий (0–3 см). Для изучения пищевых спектров инфузорий исследовали содержимое пищеварительных вакуолей (определяли видовую принадлежность пищевых объектов) на живых объектах.

Одновременно с отбором проб измеряли важные для микробентоса параметры среды: окислительно-восстановительный потенциал (Eh), кислотность (рН), температуру на поверхности и соленость свободной и грунтовой воды. Ежедневно измеряли максимальную и минимальную температуру воздуха. В начале и конце каждого сезона определяли механический состав грунта и содержание в нем органического вещества, а также глубину залегания восстановленного и сульфидного слоев.

Выделение и подсчет инфузорий проводили в лаборатории. Осадок многократно промывали на ткани «мельничный газ» (ячейка 125 мкм) фильтрованной морской водой по модифицированному методу Улига [9, 10]. Извлеченные организмы подсчитывали в живом состоянии отдельно по видам с помощью стереомикроскопа методом полей зрения таким образом, чтобы каждый раз определялась численность организмов под  $1 \text{ см}^2$ . Идентифицировали инфузорий на основании морфологических признаков с использованием определителей и обзорных работ [11–14].

Сходство между сообществами в разных пробах оценивали с помощью индекса Брея – Кертиса. Для выделения групп сходных проб проводили последовательный кластерный анализ. Все расчеты вели с помощью статистических пакетов программ PAST 1.89, MSEXCEL 2007.

## Результаты

### 1. Видовая структура сообщества.

Кариореликты составляют существенную долю в сообществе инфузорий (46–69 % от общего обилия в разные годы). Всего в изучаемом сообществе обнаружено 26 морфовидов кариореликтов: *Gelea fossata*, *Geleia nigriceps*, *Gelea* spp., *Kentrophoros fasciolatus*, *Kentrophoros latum*, *Kentrophoros uninucleatum*, *Kentrophoros* sp.1, *Kentrophoros* sp.2, *Remanella brunnea*, *Remanella granulosa*, *Remanella margaritifera*, *Remanella rugosa*, *Apotrachelocerca arenicola*, *Trachelocerca incaudata*, *Tracheloraphis phoenicopterus*, *Trachelocerca* cf. *ditis*, *Trachelocerca* cf. *gracilis*, *Trachelocerca* cf. *sagitta*, *Tracheloraphis* cf. *drachi*, *Tracheloraphis longicollis*, *Tracheloraphis* cf. *margaritatus*, *Tracheloraphis oligostriata*, *Tracheloraphis* cf. *conformis*, *Tracheloraphis* cf. *sarmatica*, *Tracheloraphis kahli*, *Kentrophoros* spp. Из них наиболее массовыми являются *Apotrachelocerca arenicola* (18–28 % от общего обилия в разные годы), *Remanella margaritifera* (11–44 %), *Trachelocerca incaudata* (1–8 %) и *Tracheloraphis phoenicopterus* (2–4 %). Относительное обилие остальных кариореликтов составляло менее 1 % в среднем за сезон (рис. 1).

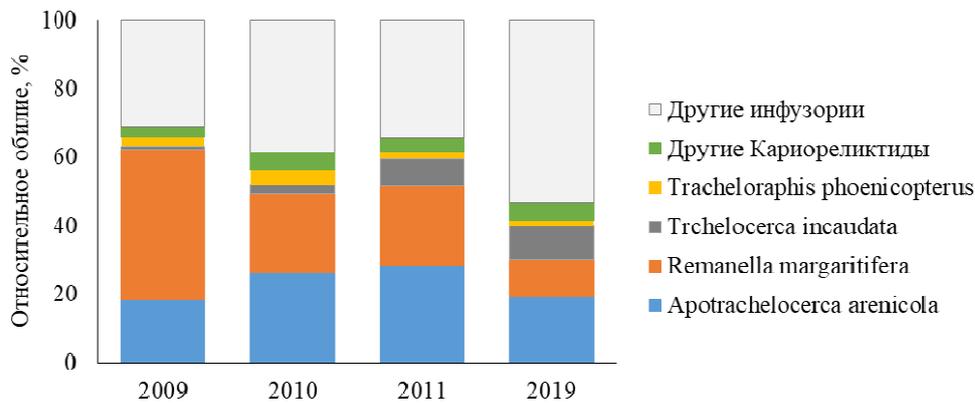


Рис. 1. Относительное обилие наиболее массовых кариореликтов в сообществе псаммофильных инфузорий в губе Грязной Кандакшского залива Белого моря

### 2. Распределение во времени (май – сентябрь).

Все изученные автором кариореликты встречаются в течение всего летнего сезона. Общая динамика средней численности всех видов в разные годы имеет сильную связь с температурой (рис. 2) (коэффициент корреляции Спирмена –  $R_S = 0,595$ ;  $p = 0,01$  – 2009 г. и  $R_S = 0,845$ ;  $p = 0,00002$  – 2010 г.). Тем не менее часто наблюдается расхождение во времени максимумов численности как наиболее массовых, так и второстепенных видов (рис. 3, 4).

Среднее перекрывание сезонных распределений видов составляет 0,31 (индекс Брея – Кертиса). Наиболее синхронизировано развитие самых массовых видов *A. Arenicola* и *R. margaritifera* – 0,67; *T. Incaudata* и *T. oligostriata* – 0,59) (табл. 1).

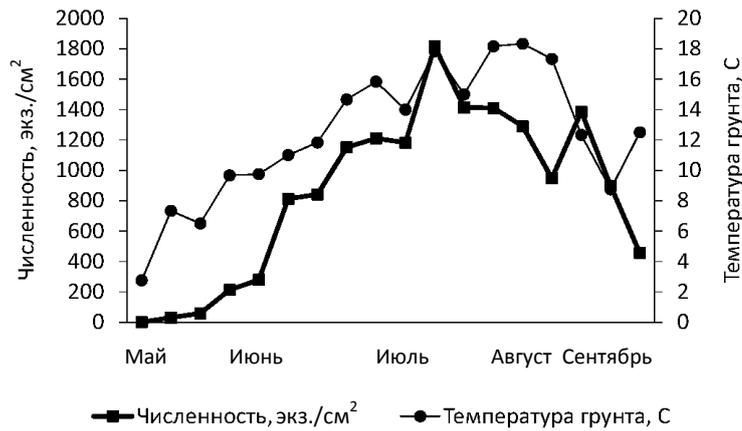


Рис. 2. Динамика средней численности инфузорий и температуры грунта в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

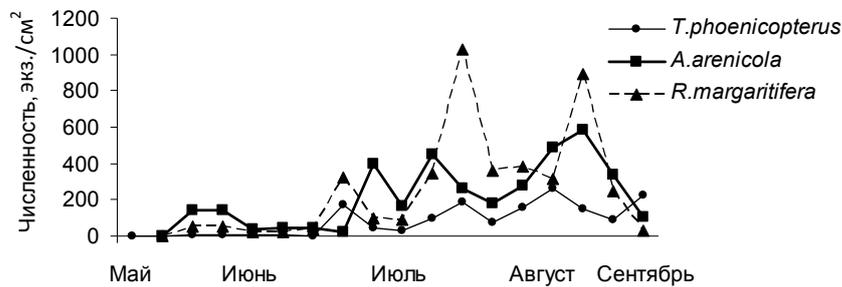


Рис. 3. Изменение численности наиболее массовых видов в течение летнего сезона в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

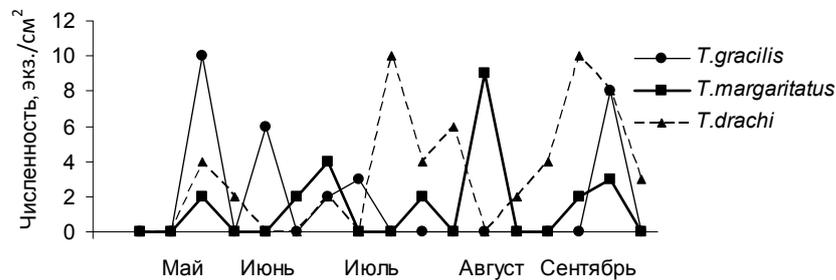


Рис. 4. Динамика численности второстепенных видов инфузорий в течение летнего сезона в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

### 3. Пространственное распределение.

#### 3.а. Макрогоризонтальный (50 × 100 м) масштаб.

В масштабе всего песчаного пляжа, наблюдается независимое друг от друга распределение близкородственных видов. Среднее перекрытие распределений всех видов колеблется в пределах 0,19–0,37.

Как видно из табл. 2, в целом ассоциация инфузорий характеризуется слабой сопряженностью – образуется одна группа из *R. margaritifera* и *T. oligostriata* со средним сходством распределений (0,51) и пара *A. arenicola* –

*T. phoenicopterus* с более низким индексом (0,32). Самое высокое сходство отмечено в паре доминант-субдоминант *A. arenicola* – *R. margaritifera* (0,65).

Таблица 1

Индексы Брея – Кертиса, характеризующие сезонную динамику инфузорий из сообщества в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

| Виды                     | <i>A. arenicola</i> | <i>R. margaritifera</i> | <i>T. incaudata</i> | <i>T. oligostriata</i> | <i>T. phoenicopterus</i> |      |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|------|
| <i>A. arenicola</i>      | 1                   |                         |                     |                        |                          |      |
| <i>R. margaritifera</i>  | 0,67                | 1                       |                     |                        |                          |      |
| <i>T. incaudata</i>      | 0,11                | 0,14                    | 1                   |                        |                          |      |
| <i>T. oligostriata</i>   | 0,18                | 0,24                    | 0,59                | 1                      |                          |      |
| <i>T. phoenicopterus</i> | 0,10                | 0,13                    | 0,50                | 0,44                   | 1                        |      |
| Среднее                  | 0,26                | 0,29                    | 0,33                | 0,36                   | 0,29                     | 0,31 |

Таблица 2

Индексы Брея – Кертиса для доминирующих видов в масштабе всей литорали в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря в 2010 г.

| Виды                     | <i>A. arenicola</i> | <i>R. margaritifera</i> | <i>T. incaudata</i> | <i>T. oligostriata</i> | <i>T. phoenicopterus</i> |      |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|------|
| <i>A. arenicola</i>      | 1                   |                         |                     |                        |                          |      |
| <i>R. margaritifera</i>  | 0,65                | 1                       |                     |                        |                          |      |
| <i>T. incaudata</i>      | 0,37                | 0,46                    | 1                   |                        |                          |      |
| <i>T. oligostriata</i>   | 0,51                | 0,59                    | 0,43                | 1                      |                          |      |
| <i>T. phoenicopterus</i> | 0,32                | 0,36                    | 0,43                | 0,50                   | 1                        |      |
| Среднее                  | 0,46                | 0,51                    | 0,42                | 0,51                   | 0,40                     | 0,46 |

Отмечено, что доминирующие виды имеют максимумы плотности на разных станциях, а из этих видов лишь у *T. phoenicopterus* и *T. oligostriata* максимумы совпадают на одних и тех же станциях (рис. 5).

3.б. Мезогоризонтальный (200 см<sup>2</sup>) масштаб.

Пространственное распределение инфузорий на площади 200 см<sup>2</sup> оказалось однородным (рис. 6,б). Многие массовые виды имеют довольно высокие индексы сходства. Максимальное сходство на уровне 0,83–0,88 отмечено для двух пар видов: *A. arenicola* – *T. oligostriata*, *A. arenicola* – *R. margaritifera*; минимальные значения 0,72–0,75 – для пар: *T. incaudata* – *T. phoenicopterus* и *T. incaudata* – *T. oligostriata*. Наименьшее перекрытие (в среднем 0,76) с другими видами в пространственном распределении наблюдается у *T. incaudata*; у всех остальных массовых видов этот показатель изменялся в пределе 0,78–0,82 (табл. 3).

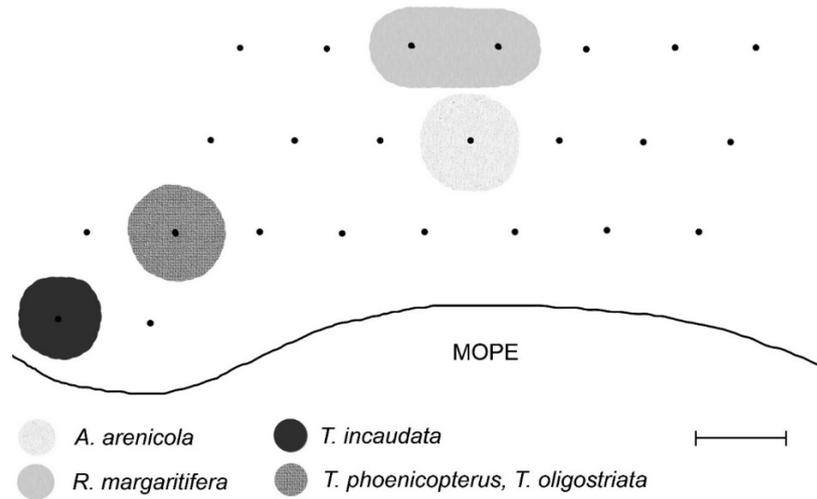


Рис. 5. Максимумы плотности доминирующих видов на различных станциях в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря. Масштабная планка 20 м

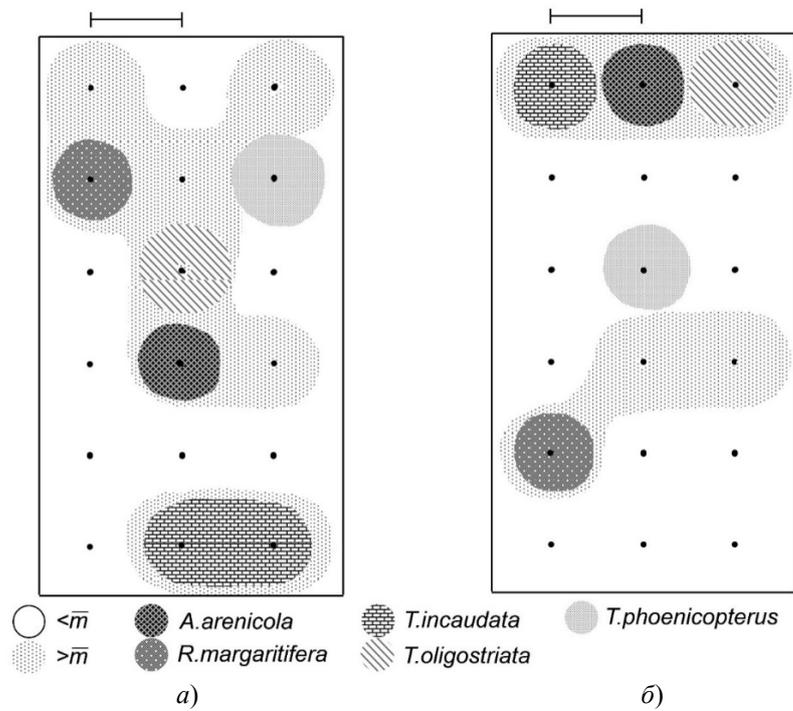


Рис. 6. Распределение наиболее массовых видов инфузорий на площади  $20 \text{ см}^2$  (а),  $200 \text{ см}^2$  (б) и максимумы плотности доминирующих видов инфузорий в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря. Масштабные планки: а – 1 см; б – 10 см;  $\bar{m}$  – средняя численность

### 3.в. Микро-горизонтальный ( $20 \text{ см}^2$ ) масштаб.

Распределение инфузорий в микропространстве аналогично мезораспределению (см. рис. 6,а). Все массовые виды имеют высокие индексы сходства (в среднем 0,8), и равномерно распределены в этом масштабе (табл. 4).

Наименьшее перекрывание (в среднем 0,70) с другими видами в пространственном распределении наблюдается у *T. phoenicopterus*; у всех остальных видов этот показатель находится на уровне 0,80–0,84.

Таблица 3

Индексы Брея – Кертиса, характеризующие распределение массовых видов инфузорий в мезомасштабе в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

| Виды                     | <i>A. arenicola</i> | <i>R. margaritifera</i> | <i>T. incaudata</i> | <i>T. oligostriata</i> | <i>T. phoenicopterus</i> |      |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|------|
| <i>A. arenicola</i>      | 1                   |                         |                     |                        |                          |      |
| <i>R. margaritifera</i>  | 0,88                | 1                       |                     |                        |                          |      |
| <i>T. incaudata</i>      | 0,77                | 0,79                    | 1                   |                        |                          |      |
| <i>T. oligostriata</i>   | 0,83                | 0,82                    | 0,75                | 1                      |                          |      |
| <i>T. phoenicopterus</i> | 0,79                | 0,79                    | 0,72                | 0,81                   | 1                        |      |
| Среднее                  | 0,82                | 0,82                    | 0,76                | 0,80                   | 0,78                     | 0,79 |

Таблица 4

Индексы Брея – Кертиса, характеризующие распределение наиболее массовых видов инфузорий в микромасштабе в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

| Виды                     | <i>A. arenicola</i> | <i>R. margaritifera</i> | <i>T. incaudata</i> | <i>T. oligostriata</i> | <i>T. phoenicopterus</i> |      |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|------|
| <i>A. arenicola</i>      | 1                   |                         |                     |                        |                          |      |
| <i>R. margaritifera</i>  | 0,86                | 1                       |                     |                        |                          |      |
| <i>T. incaudata</i>      | 0,82                | 0,88                    | 1                   |                        |                          |      |
| <i>T. oligostriata</i>   | 0,85                | 0,87                    | 0,88                | 1                      |                          |      |
| <i>T. phoenicopterus</i> | 0,68                | 0,66                    | 0,68                | 0,78                   | 1                        |      |
| Среднее                  | 0,80                | 0,82                    | 0,81                | 0,84                   | 0,70                     | 0,80 |

### 3.г. Вертикальное распределение.

На рис. 7 показано относительное освоение разными видами пространства по вертикали. Все инфузории предпочитали слой 0–2 см. Такое распределение характерно для псаммофильных инфузорий, которые способны развиваться как при высоких, так и при низких концентрациях кислорода. В частности, у *A. arenicola* максимум численности приходится на слой 1–2 см, у *R. margaritifera* на 0–0,5 см, хотя оба вида встречаются во всем трехсантиметровом слое песка. Следующий по значимости (доля в биомассе) вид *T. incaudata* достигает максимума в промежуточном слое 0,5–1 см. Нижние слои грунта (2–3 см) заселяются им слабо, что, по всей видимости, объясняется изменением с глубиной окислительно-восстановительного потенциала, характеризующего комплекс условий в толще грунта (рис. 8). В целом расхождение видов по вертикали очень слабое (средний индекс сходства Брея – Кертиса – 0,71) (табл. 5).

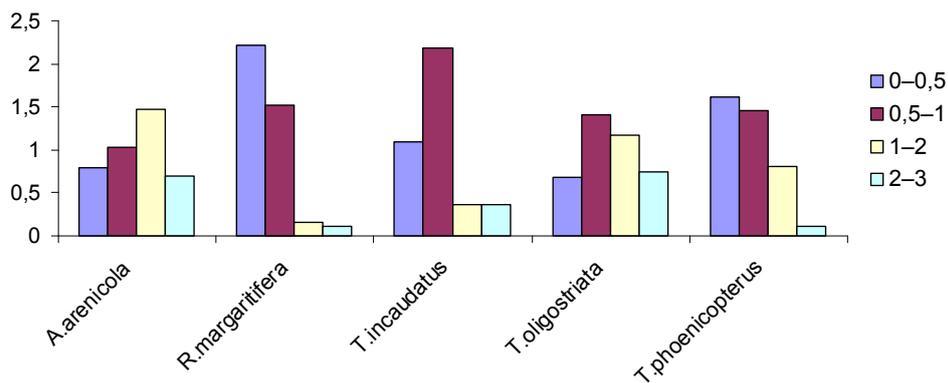


Рис. 7. Вертикальное распределение инфузорий в толще грунта в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

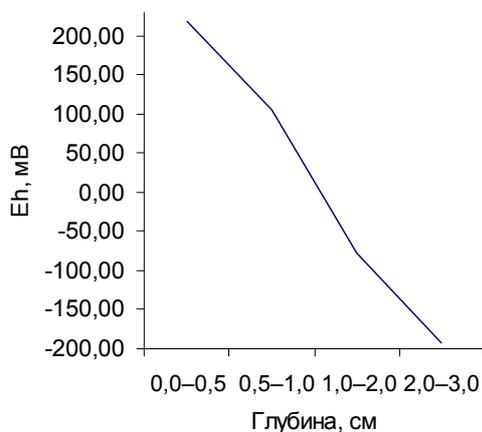


Рис. 8. Изменение с глубиной окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

Таблица 5

Индексы Брея – Кертиса, характеризующие распределения инфузорий в толще грунта в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

| Виды                     | <i>A. arenicola</i> | <i>R. margaritifera</i> | <i>T. incaudata</i> | <i>T. oligostriata</i> | <i>T. phoenicopterus</i> |      |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|------|
| <i>A. arenicola</i>      | 1                   |                         |                     |                        |                          |      |
| <i>R. margaritifera</i>  | 0,52                | 1                       |                     |                        |                          |      |
| <i>T. incaudata</i>      | 0,64                | 0,72                    | 1                   |                        |                          |      |
| <i>T. oligostriata</i>   | 0,89                | 0,59                    | 0,70                | 1                      |                          |      |
| <i>T. phoenicopterus</i> | 0,68                | 0,84                    | 0,76                | 0,75                   | 1                        |      |
| Среднее                  | 0,68                | 0,67                    | 0,70                | 0,73                   | 0,76                     | 0,71 |

Наибольшая сопряженность видов по пространственному распределению во всех изученных масштабах обнаружена между самыми массовыми видами инфузорий – *R. margaritifera*, *A. arenicola*, *T. oligostriata*, *T. incaudata*, *T. phoenicopterus* (0,55–0,65 – в макромасштабе и 0,65–0,88 – в микро- и

мезомасштабе). Виды, имеющие независимое и сильно отличное от других распределение в пространстве, как правило, малочисленны и имеют существенно более низкие коэффициенты сопряженности распределения с другими видами (0,25–0,35).

#### 4. Питание.

Было изучено 269 экземпляров инфузорий в 2009 г. и 268 в 2013 г. Всего в пищеварительных вакуолях кариореликтив удалось обнаружить 15 пищевых объектов: *Mastogloia elliptica*, *Amphidinium poecilochroum*, *Diploneis cf. fusca*, *Rhodomonas salina*, *Heteronema exaratum*, *Katodinium asimmetricum*, *Navicula gregarina*, *Navicula cancellata*, *Diploneis* sp., эктобактерии, *Amphidiniopsis arenaria*, *Navicula directa*, *Lyrella obrupta*, *Amphidinium corpulentum*, *Gymnodinium venator*, *Navicula cancellata*.

Проведенное автором изучение питания кариореликтив с учетом новых данных об их видовой принадлежности показало, что виды инфузорий также существенно отличаются по рациону питания (среднее перекрытие – 0,36) (табл. 6). При этом массовые и редкие виды инфузорий в целом характеризуются близким уровнем сходства и различий пищевых спектров.

Таблица 6

Коэффициенты сходства пищевых спектров массовых видов (индексы Брея – Кертиса) инфузорий в губе Грязной Кандалакшского залива Белого моря

| Виды                     | <i>A. arenicola</i> | <i>T. incaudata</i> | <i>T. phoenicopterus</i> | <i>T. oligostriata</i> | <i>T. sagitta</i> | <i>T. sarmatica</i> |
|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| <i>A. arenicola</i>      | 1                   |                     |                          |                        |                   |                     |
| <i>T. incaudata</i>      | 0,56                | 1                   |                          |                        |                   |                     |
| <i>T. phoenicopterus</i> | 0,36                | 0,37                | 1                        |                        |                   |                     |
| <i>T. oligostriata</i>   | 0,30                | 0,27                | 0,49                     | 1                      |                   |                     |
| <i>T. sagitta</i>        | 0,46                | 0,37                | 0,17                     | 0,12                   | 1                 |                     |
| <i>T. sarmatica</i>      | 0,44                | 0,54                | 0,21                     | 0,27                   | 0,44              | 1                   |
| Среднее                  | 0,43                | 0,42                | 0,32                     | 0,29                   | 0,31              | 0,38                |

#### Обсуждение

Проведенные ранее исследования показали, что многие факторы, включая температуру, соленость, содержание ила и глины, размер песчинок, содержание растворенного кислорода могут влиять на распределение инфузорий в донных осадках [15–17]. Кроме того, интерстициаль, в отличие от водной толщи, весьма неоднородна. Поэтому состав сообщества и экологические характеристики простейших, а также факторы, регулирующие их распределение, вероятно, могут быть разнообразными [18]. Так, по всему песчаному пляжу наблюдается независимое распространение близкородственных видов, что связано с влиянием широкого спектра факторов (содержание алевропелита, рН, Eh, Сорг, и др.), обуславливающих гетерогенность окружающей среды в масштабе сотен квадратных метров. В мезо- и микромасштабе, где относительная однородность среды дает меньше возможности для расхождения видов, совместная встречаемость видов в пробах увеличивается.

Большинство инфузорий, приспособленных к интерстициальному образу жизни, почти всегда обнаруживаются в слоях грунта с невысоким содержанием кислорода и, судя по всему, мигрируют в сторону от высоких концентраций кислорода к низким. Помимо микроаэрофильных инфузорий, в псаммофильном сообществе могут быть обнаружены и строго анаэробные инфузории [19]. Тем не менее большинство обнаруженных автором кариореликтов нуждаются в постоянном доступе кислорода. Проникновение инфузорий, как и других мелких организмов, в толщу грунта определяется его пористостью. По данным Бурковского [20, 10], максимальная глубина проникновения инфузорий в мелкозернистый песок не превышает 5–7 см, при этом до 90 % организмов концентрируется в верхнем двухсантиметровом слое. Глубже в грунт количество инфузорий значительно уменьшается в соответствии с уменьшением концентрации кислорода.

В течение летнего сезона виды постоянно сосуществуют в едином пространственно-временном континууме и образуют устойчивые ассоциации. Это, вероятно, является результатом длительного процесса адаптации видов к условиям окружающей среды в морском песке. При отсутствии такого широкого процесса адаптации следовало бы ожидать более значительных различий массовых видов, по крайней мере, вдоль одной из осей экологического пространства.

Кариореликты весьма отличны по своим пищевым предпочтениям, это довольно типично для беломорских интерстициальных инфузорий [21]. При этом массовые и редкие виды в целом характеризуются подобными уровнями сходства/различия в пищевых спектрах. Благодаря такой особенности питания этих видов возникает возможность формирования устойчивых многовидовых ассоциаций интерстициальных инфузорий, характеризующихся относительным балансом видов в пространственно-временном континууме.

Во всех масштабах распределение инфузорий оказывается сложно агрегированным с увеличениями и снижениями численности. Агрегации по-разному совпадают между разными видами. Причины образования скоплений различны. Как было показано [5, 21], крупные скопления формируются главным образом под влиянием комплекса абиотических факторов (механический состав песка, Eh, pH, кислород и др.), мелкие (второго порядка) – вследствие неравномерного распределения пищевых объектов инфузорий.

### **Заключение**

Подводя итог, отметим, что результаты исследования показали, что совместное использование ресурсов в ассоциациях инфузорий возможно, во-первых, из-за расхождения видов во времени и предпочитаемой пище, во-вторых, в результате горизонтального распределения видов в масштабе десятков-сотен метров и лишь незначительно в меньших горизонтальных масштабах и по вертикали. Изменение положения одного вида в сообществе закономерно влияет на положение других, что впоследствии приводит к возникновению нового равновесия. В этом непрерывном процессе изменений роли видов различаются и зависят от их положения в нишевой структуре сообщества.

## Библиографический список

1. Гаузе, Г. Ф. Экспериментальное исследование борьбы за существование между *Paramecium caudatum*, *Paramecium aurelia* и *Stylonychia mytilus* / Г. Ф. Гаузе // Зоологический журнал. – 1934. – Т. 13, № 1. – С. 1–16.
2. Croker, R. A. Space partitioning and interactions in an intertidal sand-burrowing amphipod guild / R. A. Croker, E. B. Hatfield // Marine Biology. – 1980. – Vol. 61, № 1. – P. 79–88.
3. Wilson, W. H. The role of density dependence in a marine infaunal community / W. H. Wilson // Ecology. – 1983. – Vol. 64, № 2. – P. 295–306.
4. Pardo, S. A. Local-scale resource partitioning by stingrays on an intertidal flat / S. A. Pardo, K. B. Burgess, D. Teixeira, M. B. Bennett // Marine Ecology Progress Series. – 2015. – Vol. 533. – P. 205–218.
5. Бурковский, И. В. Разделение экологических ресурсов и взаимоотношения видов в сообществе морских псаммофильных инфузорий / И. В. Бурковский // Зоологический журнал. – 1987. – Т. 66, № 5. – С. 645–654.
6. Бурковский, И. В. Экология свободноживущих морских и пресноводных простейших / И. В. Бурковский. – Ленинград : Наука, 1990. – С. 26.
7. Азовский, А. И. Нишевая структура сообщества морских псаммофильных инфузорий. I. Расположение ниш в пространстве ресурсов / А. И. Азовский // Журнал общей биологии. – 1989. – Т. 50, № 3. – С. 329–341.
8. Азовский, А. И. Нишевая структура сообщества морских псаммофильных инфузорий. II. Параметры экологической ниши вида и его количественное развитие / А. И. Азовский // Журнал общей биологии. – 1989. – Т. 50, № 3. – С. 752–763.
9. Uhlig, G. Quantitative methods in the study of interstitial fauna / G. Uhlig // Transactions of the American Microscopical Society. – 1968. – Vol. 87. – P. 226–232.
10. Бурковский, И. В. Структура, динамика и продукция сообщества морских псаммофильных инфузорий / И. В. Бурковский // Зоологический журнал. – 1978. – Т. 57, № 3. – С. 325–337.
11. Wilbert, N. Eine verbesserte Technik der Protargol-imprägnation für Ciliaten / N. Wilbert // Mikrokosmos. – 1975. – Vol. 6. – P. 171–179.
12. Foissner, W. Basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa / W. Foissner // European Journal of Protistology. – 1991. – Vol. 27, № 4. – С. 313–330.
13. Carey, P. G. Marine interstitial ciliates / P. G. Carey. – London ; New York ; Tokyo ; Melbourne ; Madras : Chapman and Hall, 1992.
14. Lynn, D. The ciliated protozoa: characterization, classification, and guide to the literature / D. Lynn. – Dordrecht : Springer Science & Business Media, 2008. – P. 605.
15. Finlay, B. J. Microbial diversity and ecosystem function / B. J. Finlay, S. C. Maberly, J. I. Cooper // Oikos. – 1997. – Vol. 80. – P. 209–213.
16. Patterson, D. J. The ecology of heterotrophic flagellates and ciliates living in marine sediments / D. J. Patterson // Prog. Protistol. – 1989. – Vol. 3. – P. 185–277.
17. Reikik, A. Microphytoplankton and ciliate communities' structure and distribution in a stressed area of the south coast of Sfax, Tunisia (eastern Mediterranean Sea) / A. Reikik, J. Elloumi, D. Chaari, H. Ayadi // Marine and Freshwater Research. – 2016. – Vol. 67, № 10. – P. 1445–1462.
18. Lei, Y. Distributions and biomass of benthic ciliates, foraminifera and amoeboid protists in marine, brackish, and freshwater sediments / Y. Lei, K. Stumm, S. A. Wickham, U.-G. Berninger // Journal of Eukaryotic Microbiology. – 2014. – Vol. 61, № 5. – P. 493–508.
19. Berninger, U.-G. Vertical distribution of benthic ciliates in response to the oxygen concentration in an intertidal North Sea sediment / U.-G. Berninger, S. S. Epstein // Aquatic Microbial Ecology. – 1995. – Vol. 9. – P. 229–236.

20. **Бурковский, И. В.** Количественные данные о вертикальном распределении псаммофильных инфузорий Великой Салмы (Кандалакшский залив, Белое море) / И. В. Бурковский // Зоологический журнал. – 1968. – Т. 47. – С. 1407–1411.
21. **Бурковский, И. В.** Структурно-функциональная организация и устойчивость морских донных сообществ / И. В. Бурковский. – Москва : МГУ, 1992. – С. 1–208.

### **References**

1. Gauze G. F. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 1934, vol. 13, no. 1, pp. 1–16. [In Russian]
2. Croker R. A., Hatfield E. B. *Marine Biology*. 1980, vol. 61, no. 1, pp. 79–88.
3. Wilson W. H. *Ecology*. 1983, vol. 64, no. 2, pp. 295–306.
4. Pardo S. A., Burgess K. B., Teixeira D., Bennett M. B. *Marine Ecology Progress Series*. 2015, vol. 533, pp. 205–218.
5. Burkovskiy I. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 1987, vol. 66, no. 5, pp. 645–654. [In Russian]
6. Burkovskiy I. V. *Ekologiya svobodnozhivushchikh morskikh i presnovodnykh protosteyshikh* [Ecology of free-living marine and freshwater protozoa]. Leningrad: Nauka, 1990, p. 26. [In Russian]
7. Azovskiy A. I. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of general biology]. 1989, vol. 50, no. 3, pp. 329–341. [In Russian]
8. Azovskiy A. I. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of general biology]. 1989, vol. 50, no. 3, pp. 752–763. [In Russian]
9. Uhlig G. *Transactions of the American Microscopical Society*. 1968, vol. 87, pp. 226–232.
10. Burkovskiy I. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 1978, vol. 57, no. 3, pp. 325–337. [In Russian]
11. Wilbert N. *Mikrokosmos*. 1975, vol. 6, pp. 171–179.
12. Foissner W. *European Journal of Protistology*. 1991, vol. 27, no. 4, pp. 313–330.
13. Carey P. G. *Marine interstitial ciliates*. London; New York; Tokyo; Melbourne; Madras: Chapman and Hall, 1992.
14. Lynn D. *The ciliated protozoa: characterization, classification, and guide to the literature*. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2008, p. 605.
15. Finlay B. J., Maberly S. C., Cooper J. I. *Oikos*. 1997, vol. 80, pp. 209–213.
16. Patterson D. J. *Prog. Protistol*. 1989, vol. 3, pp. 185–277.
17. Reik A., Elloumi J., Chaari D., Ayadi H. *Marine and Freshwater Research*. 2016, vol. 67, no. 10, pp. 1445–1462.
18. Lei Y., Stumm K., Wickham S. A., Berninger U.-G. *Journal of Eukaryotic Microbiology*. 2014, vol. 61, no. 5, pp. 493–508.
19. Berninger U.-G., Epstein S. S. *Aquatic Microbial Ecology*. 1995, vol. 9, pp. 229–236.
20. Burkovskiy I. V. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 1968, vol. 47, pp. 1407–1411. [In Russian]
21. Burkovskiy I. V. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya i ustoychivost' morskikh donnykh soobshchestv* [Structural and functional organization and stability of marine bottom communities]. Moscow: MGU, 1992, pp. 1–208. [In Russian]

---

#### **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)

**Образец цитирования:**

Есаулов, А. С. Сосуществование близкородственных видов инфузорий класса Karyorelictea на литорали Белого моря / А. С. Есаулов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 86–99. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-9.

## ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БУРОВЫХ ШЛАМОВ МИКРООРГАНИЗМОВ К СИНТЕЗУ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ СОЛЕННОСТИ СРЕДЫ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Микроорганизмы могут продуцировать биологические поверхностно-активные вещества (биоПАВ), которые имеют существенные преимущества перед синтетическими ПАВ: низкую токсичность, высокую биодegradабельность, устойчивую активность в условиях окружающей среды, улучшенные функциональные характеристики, возможность получения на возобновляемых источниках сырья. Микроорганизмы, изолированные из экстремальных экологических ниш и способные к синтезу биоПАВ в этих условиях, имеют большое значение для использования в биоремедиационных технологиях, особенно для утилизации отходов бурения, содержащих комплекс токсичных органических и неорганических соединений. В связи с этим мы оценили способность выделенных из буровых шламов микроорганизмов к синтезу биоПАВ в условиях повышенной солености среды.

*Материалы и методы.* Объектами исследований являлись шесть микробных штаммов, выделенных из буровых шламов: *Halomonas* sp. ОБР 1, *Bacillus circulans* НШ, *B. firmus* ОБР 1.1, *B. firmus* ОБР 3.1, *Solibacillus silvestris* ОБР 3.2; *B. circulans* ОБР 3.3 и контрольный нефтеокисляющий микроорганизм *Dietzia taris* АМЗ. О способности микроорганизмов к синтезу биоПАВ при культивировании их в среде с различной концентрацией NaCl судили по показателю снижения поверхностного натяжения ( $\Delta\sigma$ ) культуральной среды и супернатантов.

*Результаты.* Установлено, что пять из шести исследованных микробных штаммов способны к продукции эндо- и экзоПАВ при культивировании их в среде с повышенной соленостью (3,5 и 6,5 % NaCl). Исключение составил микробный штамм *Halomonas* sp. ОБР 1. Максимальные значения  $\Delta\sigma$  культуральной среды и супернатантов при культивировании микроорганизмов в среде с 3,5 %-й концентрацией NaCl определены у микроорганизмов *B. firmus* ОБР 3.1 и *B. circulans* ОБР 3.3; с 6,5 %-й концентрацией NaCl – у *B. circulans* НШ и *B. firmus* ОБР 1.1.

*Выводы.* Обнаруженные авторами свойства выделенных из буровых шламов микроорганизмов, способных продуцировать биоПАВ в условиях повышенной солености среды, открывают перспективу практического использования данных микроорганизмов в биотехнологиях детоксикации буровых отходов.

**Ключевые слова:** биоПАВ, микробные штаммы, поверхностное натяжение, культуральная среда, супернатант.

## THE STUDY OF THE ABILITY OF MICRO-ORGANISMS ISOLATED FROM DRILLING SLUDGE FOR THE SYNTHESIS OF BIOLOGICAL SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES UNDER THE CONDITIONS OF INCREASED SALINITY MEDIUM

### Abstract.

**Background.** Microorganisms are capable of producing biosurfactants which have significant advantages over synthetic surfactants such as: low toxicity, high biodegradability, stable activity in the environment, improved functional characteristics, and the possibility of obtaining raw materials from renewable sources. Microorganisms isolated from extreme ecological niches and capable of synthesizing biosurfactants under these conditions are of great importance for use in bioremediation technologies, especially for disposal of drilling waste containing a complex of toxic organic and inorganic compounds. In this regard, we evaluated the ability of microorganisms isolated from drill sludges to synthesize biosurfactants in conditions of high salinity.

**Materials and methods.** The objects of this research were 6 microbial strains isolated from drill sludges: *Halomonas* sp. sample 1, *Bacillus circulans* NSh, *B. firmus* OBR 1.1, *B. firmus* OBR 3.1, *Solibacillus silvestris* OBR 3.2; *B. circulans* OBR 3.3 and the control oil-oxidizing microorganism *Dietzia maris* AM3. The ability of microorganisms to synthesize biosurfactants when cultured in a medium with different concentrations of NaCl was determined based on the index of surface tension reduction ( $\Delta\sigma$ ) of the culture medium and supernatants.

**Results.** It was found that five of the six studied microbial strains were capable of producing endo- and exo-surfactants when cultured in an environment with high salinity (3,5 and 6,5 % NaCl). The exception was the microbial strain *Halomonas* sp. OBR 1. Maximum values of  $\Delta\sigma$  of the culture medium and supernatants were observed when cultivating *B. firmus* OBR 3.1 in an environment with a 3,5 % concentration of NaCl and *B. circulans* OBR 3.3; with a 6,5 % concentration of NaCl – *B. circulans* NSh and *B. firmus* OBR 1.1.

**Conclusions.** The properties of microorganisms isolated from drilling sludges capable of producing biosurfactants in conditions of high salinity of the environment, discovered by us, open the prospect of the practical use of these microorganisms in biotechnologies for detoxification of drilling waste.

**Keywords:** biosurfactants, microbial strains, the surface tension, of the culture medium, the supernatant.

### Введение

Многие микроорганизмы способны синтезировать биосурфактанты и биоэмульгаторы – амфифильные соединения, различающиеся по структуре и химическим свойствам и способные выполнять много разных функций, такие как снижение поверхностного и межфазного натяжения, солубилизация гидрофобных субстратов, разрушение эмульсии и др. [1, 2]. Благодаря природному происхождению, низкой токсичности, биоразлагаемости и относительной простоте получения, по сравнению с синтетическими сурфактантами, поверхностно-активные вещества, продуцируемые микроорганизмами, находят все большее применение в различных отраслях промышленности, медицины и сельского хозяйства [3]. Использование биоПАВ исключает необходимость их удаления из сточных вод из-за малой токсичности [4].

Синтетические ПАВ, широко используемые в настоящее время для очистки загрязненных нефтепродуктами почв, почвогрунтов, нефтешламов, других природных и техногенных субстратов, обладают потенциальным риском вторичного загрязнения объектов окружающей среды [5, 6]. В связи с ужесточением требований к внедрению экологически безопасных технологий и стремлением к минимизации загрязнений в технологиях утилизации отходов нефтяной индустрии предпочтительным является применение биоПАВ [7–9].

Ранее было показано, что микроорганизмы способны продуцировать биоПАВ с различной интенсивностью в зависимости от используемых субстратов и условий культивирования [10–12]. Изучение закономерностей роста микроорганизмов – потенциальных продуцентов биоПАВ – и подбор оптимальных условий культивирования для максимального синтеза биоПАВ являются актуальными научно-практическими задачами.

Цель настоящей работы состояла в оценке способности микроорганизмов – потенциальных продуцентов биоПАВ, выращенных в среде с различным содержанием NaCl, к снижению поверхностного натяжения культуральной среды и супернатантов.

### **Материалы и методы**

Объектами исследований являлись шесть микробных штаммов: *Halomonas* sp. ОБР 1, *Bacillus circulans* НШ (В-12646), *B. firmus* ОБР 1.1 (В-12647), *B. firmus* ОБР 3.1 (В-12645), *Solibacillus silvestris* ОБР 3.2 (В-12644), *B. circulans* ОБР 3.3, выделенных А. Ю. Беляковым [13] из буровых шламов, отобранных из нефтяных скважин Восточной Сибири. Четыре штамма депонированы во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов ФГБУ «ГосНИИгенетика» Минобрнауки России (ВКПМ, г. Москва).

Буровые шламы отличались специфическими свойствами: высокой щелочностью (рН 9) и высокой степенью минерализации (15 %). Поэтому микроорганизмы, выделенные из этих буровых шламов, характеризуются уникальным сочетанием эколого-функциональных свойств, в том числе широким субстратным спектром в отношении нефтяных углеводородов разной степени токсичности, алкало- и галотолерантностью, полирезистентностью к тяжелым металлам [14]. Для сравнения в настоящих экспериментах использовали нефтеокисляющий микроорганизм *Dietzia maris* АМЗ, полученный из коллекции непатогенных микроорганизмов ИБФРМ РАН (г. Саратов).

Микроорганизмы культивировали в жидкой минеральной среде М9 [15] с различными концентрациями NaCl (0,05, 3,5 и 6,5 % по объему) при комнатной температуре в настольном шейкере-инкубаторе PSU-10i в течение суток. В качестве единственного источника углерода и энергии использовали глицерин (2 % по весу). Абиотическим контролем служила минеральная среда разной степени минерализации с глицерином без микроорганизмов. В качестве посевного материала использовали смыв суточной культуры микроорганизмов (в случае *D. maris* АМЗ – трехсуточной) с мясо-пептонного агара (МПА) стерильным физиологическим раствором. Оптическая плотность посевной дозы составляла 0,2–0,5 ед. при длине волны 540 нм. Каждый вариант изучали в трех повторностях, измеряя поверхностное натяжение при

температуре окружающей среды 25–27 °С методом отрыва кольца [16] в культуральной среде и в супернатантах, полученных центрифугированием при 12 000 об/мин в течение 5 мин на центрифуге Eppendorf 22331 MiniSpin. По полученным результатам рассчитывали показатель снижения поверхностного натяжения ( $\Delta\sigma$ ) как разницу между значениями поверхностного натяжения стерильной среды (контроль) и пробы исследуемой культуральной среды или супернатанта. Для всех полученных данных вычисляли средние значения, для сравнения которых использовали показатели стандартного отклонения и наименьшей существенной разницы. Статистическую обработку результатов проводили при  $p < 0,05$  с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2010.

### Результаты и обсуждение

Для микроорганизмов, выделенных из буровых шламов и являющихся объектами наших исследований, была присуща галотолерантность – одно из оригинальных эколого-функциональных свойств, имеющих важное прикладное значение. Как было показано ранее [14], в нашем эксперименте все шесть микробных штаммов отличались заметным ростом при 3,5 и 6,5 %-й концентрации NaCl в полноценной питательной среде. Поэтому необходимо было оценить возможную продукцию биоПАВ данными микроорганизмами при их культивировании в минеральной среде с углеводородным субстратом в условиях повышенной солености. Результаты определения снижения поверхностного натяжения культуральной среды и супернатантов при культивировании микроорганизмов в среде в диапазоне NaCl представлены на рис. 1,а и б.

Как показали эксперименты, в абиотическом контроле (исходная среда без микроорганизмов) при всех исследованных концентрациях NaCl показатель снижения поверхностного натяжения культуральной среды равнялся нулю. При культивировании исследуемых микроорганизмов в среде с 0,05 %-м содержанием NaCl данный показатель варьировал от 11,16 до 19,80 мН/м. Минимальные значения зафиксированы для микробного штамма *B. firmus* ОБР 3.1, максимальные – для *B. firmus* ОБР 1.1 и *Halomonas* sp. ОБР 1 (см. рис. 1,а). Согласно литературным данным, микроорганизмы, снижающие поверхностное натяжение более чем на 10 мН/м, могут являться перспективными продуцентами ПАВ [17, 18]. Поэтому все исследованные авторами микроорганизмы можно охарактеризовать как способные к синтезу биоПАВ. У контрольного нефтеокисляющего штамма *D. maris* АМ3 при росте в данных условиях показатель  $\Delta\sigma$  культуральной среды составил 14,06 мН/м, что было сопоставимо с  $\Delta\sigma$  у других исследованных микроорганизмов или чуть ниже.

Для определения типа биоПАВ регистрировали поверхностное натяжение не только в культуральной среде с микробными клетками, но и в супернатантах исследованных микроорганизмов. У всех изученных микроорганизмов, выросших в среде с 0,05 %-м содержанием NaCl, включая контрольный нефтеокисляющий штамм *D. maris* АМ3, значения  $\Delta\sigma$  супернатантов были выше 10 мН/м, находясь в пределах от 10,98 до 16,64 мН/м, и незначительно ниже значений  $\Delta\sigma$  культуральной среды (см. рис. 1,б). Полученные данные свидетельствовали о синтезе экзоПАВ изученными микроорганизмами.

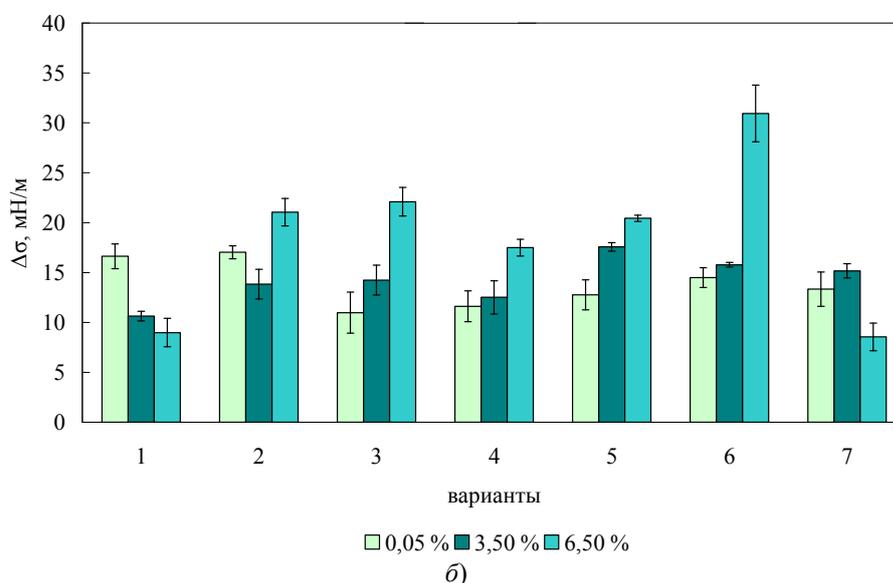
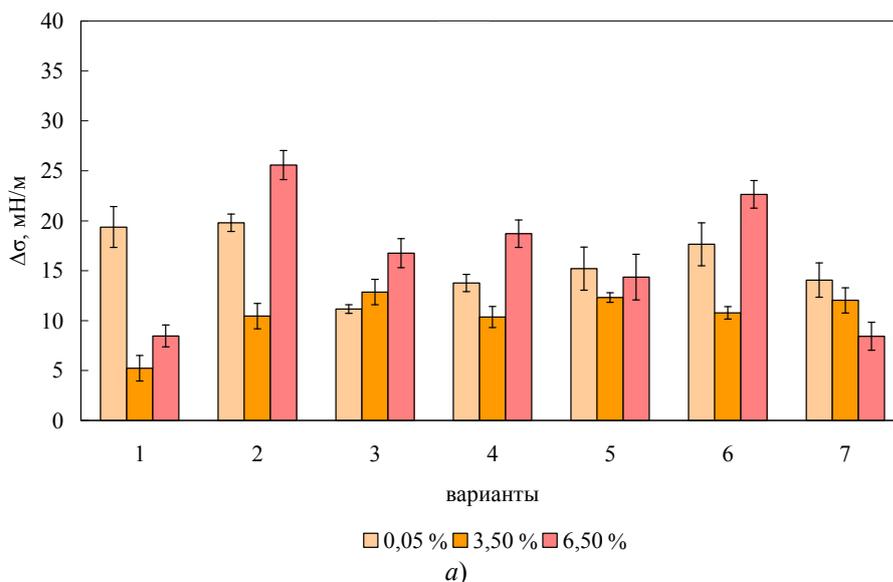


Рис. 1. Снижение поверхностного натяжения: а – культуральной среды; б – супернатантов при выращивании микроорганизмов: 1 – *Halomonas* sp. ОБР 1; 2 – *B. firmus* ОБР 1.1; 3 – *B. firmus* ОБР 3.1; 4 – *Solibacillus silvestris* ОБР 3.2; 5 – *B. circulans* ОБР 3.3; 6 – *B. circulans* НШ; 7 – *D. maris* АМЗ в среде с различным содержанием NaCl

В ходе экспериментов было установлено, что при культивировании исследуемых микроорганизмов в среде с 3,5 %-м содержанием NaCl значения  $\Delta\sigma$  культуральной среды находились в диапазоне от 5,23 до 12,86 мН/м (см. рис. 1,а). Минимальное значение наблюдалось у микробного штамма *Halomonas* sp. ОБР 1 (5,23 мН/м), при выращивании которого в среде с невысокой соленостью обнаружено, напротив, максимальное значение  $\Delta\sigma$  по сравнению с другими исследованными микроорганизмами, что указывало на

неспособность данного штамма продуцировать биоПАВ в условиях повышенной солености среды. За исключением *Halomonas* sp. ОБР 1, у остальных изученных микроорганизмов, включая контрольный нефтеокисляющий штамм *D. maris* АМЗ, значения  $\Delta\sigma$  культуральной среды были сходными, они превышали 10 мН/м, свидетельствуя о продукции биоПАВ.

Значения показателя снижения поверхностного натяжения супернатантов у всех исследованных микроорганизмов, культивируемых при 3,5 % NaCl, были выше, чем значения показателя снижения поверхностного натяжения культуральной среды (см. рис. 1,б). Максимальное значение  $\Delta\sigma$  супернатанта зафиксировано у микробного штамма *B. circulans* ОБР 3.3 (17,58 мН/м), который также отличался и высоким значением  $\Delta\sigma$  культуральной среды, а также у микробного штамма *B. circulans* НШ (15,78 мН/м). У микробного штамма *B. firmus* ОБР 3.1 определены высокие значения показателя снижения поверхностного натяжения культуральной среды и супернатанта (12,86 и 14,25 мН/м соответственно). Таким образом, все изученные микроорганизмы, включая контрольный нефтеокисляющий штамм *D. maris* АМЗ, снижали поверхностное натяжение культуральной среды и супернатантов более, чем на 10 мН/м (за исключением *Halomonas* sp. ОБР 1 в культуральной среде), что позволяет их считать перспективными продуцентами эндо- и экзоПАВ в условиях повышенной солености среды (3,5 % NaCl).

В результате экспериментов было выявлено, что при культивировании исследуемых микроорганизмов в среде с 6,5 %-м содержанием NaCl значения  $\Delta\sigma$  культуральной среды варьировали от 8,47 до 25,59 мН/м (см. рис. 1,а), значения  $\Delta\sigma$  супернатантов – от 8,99 до 30,94 мН/м (см. рис. 1,б). У микробного штамма *Halomonas* sp. ОБР 1 значения  $\Delta\sigma$  были невысокими (8,47 и 8,99 мН/м культуральной среды и супернатанта соответственно), аналогично данным, полученным при росте штамма в среде с 3,5 %-й концентрацией NaCl. Невысокие значения  $\Delta\sigma$  наблюдались и у контрольного нефтеокисляющего штамма *D. maris* АМЗ, выросшего в условиях высокой солености (8,43 и 8,56 мН/м культуральной среды и супернатанта соответственно). У остальных изученных микроорганизмов значения  $\Delta\sigma$  были выше 10 мН/м. Максимальные значения  $\Delta\sigma$  культуральной среды и супернатанта наблюдались у микроорганизмов: *B. circulans* НШ (22,65 и 30,94 мН/м соответственно) и *B. firmus* ОБР 1.1 (25,59 и 21,05 мН/м соответственно). У ряда исследованных микроорганизмов: *B. firmus* ОБР 3.1, *B. circulans* ОБР 3.3 и *B. circulans* НШ – значения показателя снижения поверхностного натяжения супернатантов были выше, чем значения  $\Delta\sigma$  культуральной среды.

Известно, что молекулярные механизмы осмоадаптации основаны на аккумуляции хлорид-ионов и катионов калия, которые, в свою очередь, индуцируют биосинтез осмолитиков. Ранее было показано, что у микробного штамма *Azospirillum halopraeferens*, проявляющего устойчивость к присутствию 3 % NaCl, основной стратегией осмоадаптации является внутриклеточное накопление органических растворенных веществ, таких как бетаин и пролин [19]. У нефтеокисляющего галотолерантного штамма *Dietzia* sp., выделенного из пластовых вод Ромашкинского нефтяного месторождения (Республика Татарстан), было идентифицировано другое осмопротекторное со-

единение – глицинбетаин [20]. Так как производные бетаина могут выступать в роли ПАВ, то можно предположить, что наличие подобных механизмов осмоадаптации у изученных авторами микроорганизмов, выделенных из буровых шламов, обуславливает повышенную продукцию ПАВ при культивировании данных бактерий в условиях соленой среды. Доказательством этого является увеличение способности бактерий снижать поверхностное натяжение. Также можно предположить, что микробный штамм *Halomonas* sp. ОБР 1 реализует иной механизм солеустойчивости, не связанный с синтезом соединений, обладающих свойствами ПАВ. Возможно, этот механизм сходен с обнаруженным свойством бактерий *Halomonas boliviensis* и *H. longate*, которые защищаются от высокой концентрации соли, синтезируя эктоин [21], который окружает себя и соседние белки слоем воды, стабилизируя клеточные мембраны и липиды, улучшая их подвижность.

### **Заключение**

В ходе данных исследований при повышенной солености среды получены убедительные доказательства продукции эндо- и экзоПАВ микроорганизмами, выделенными из буровых шламов (за исключением микробного штамма *Halomonas* sp. ОБР 1). Использование микроорганизмов, способных продуцировать биоПАВ в присутствии соли, может заменить дорогостоящие технологии, направленные на снижение солености или удаление соли путем обратного осмоса, ионного обмена или электродиализа перед практическим применением биологической очистки. Поэтому изученные микробные штаммы как перспективные продуценты ПАВ в экстремальных экологических условиях могут быть применены в биотехнологиях ремедиации почв и вод, загрязненных органическими поллютантами и тяжелыми металлами, и для утилизации отходов нефтяной индустрии.

### **Библиографический список**

1. **Конон, А. Д.** Микробные поверхностно-активные вещества как антимикробные и антиадгезивные агенты / А. Д. Конон, А. Б. Скочко, Т. П. Пирог // Наука и современность. – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 25–30.
2. Methods for investigating biosurfactants and bioemulsifiers: a review / S. K. Satpute, A. G. Banpurkar, P. K. Dhakephalkar, I. M. Banat, B. A. Chopade // Critical Reviews Biotechnology. – 2010. – Vol. 30, № 2. – P. 1–18.
3. **Singh, A.** Recent advances in petroleum microbiology / A. Singh, J. D. Van Hamme, O. P. Ward // Microbiology and molecular biology reviews. – 2003. – Vol. 67, № 4. – P. 503–549.
4. **Urum, K.** Surfactants treatment of crude oil contaminated soils / K. Urum, T. Pekdemir, M. Zopur // Journal of Colloid and Interface Science. – 2004. – Vol. 276, № 2. – P. 456–464.
5. Oil recovery from fuel oil storage tank sludge using biosurfactants / T. M. S. Lima, A. F. Fonseca, B. A. Leão, A. H. Munteer, M. R. Tótola, A. C. Borges // Journal Bioremediation & Biodegradation. – 2011. – № 2. – P. 125–130.
6. Effect of biosurfactant addition in a pilot scale dissolved air flotation system / F. C. P. Rocha e Silva, N. M. P. Rocha e Silva, A. E. Moura, R. A. Galdino, J. M. Luna, R. D. Rufino, V. A. Santos, L. A. Sarubbo // Separation Science and Technology. – 2015. – Vol. 50. – P. 618–625.

7. **Куликова, О. А.** Использование реагентов на основе поверхностно-активных веществ для очистки почв от нефтяного загрязнения / О. А. Куликова, Е. А. Мазлова, Д. И. Брадик, Е. П. Кудрова // Химия и технология топлив и масел. – 2018. – № 6. – С. 47–52.
8. **Bachmann, R. T.** Biotechnology in the petroleum industry : an overview / R. T. Bachmann, A. C. Johnson, R. G. J. Edyvean // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2014. – Vol. 86. – P. 225–237.
9. Biosurfactants: promising molecules for petroleum biotechnology advances / D. G. De Almeida, R. C. F. Soares Da Silva, J. M. Luna, R. D. Rufino, V. A. Santos, I. M. Banat, L. A. Sarubbo // Frontiers in Microbiology. – 2016. – № 7. – P. 1718–1732.
10. Выделение биосурфактантов из супернатанта штаммов микроорганизмов *Bacillus thuringiensis* A1, *Dietzia maris* U.2.5 / А. Я. Ягафарова, Н. Б. Молдагулова, К. Т. Муканова, Д. Б. Канаев, А. Б. Курманбаева, Э. Ж. Хасенова // Биотехнология. Теория и практика. – 2012. – № 4. – С. 30–33.
11. **Makkar, R. S.** An update on the USA of unconventional substance for biosurfactant proction and their new application / R. S. Makkar, S. S. Cameotra // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2002. – Vol. 58. – P. 428–434.
12. **Пирог, Т. П.** Синтез поверхностно-активных веществ нефтеокисляющими бактериями *Rhodococcus erythropolis* ЭК-1 / Т. П. Пирог, И. Н. Волошина, С. В. Игнатенко // Прикладная биохимия и микробиология. – 2011. – Т. 47, № 4. – С. 189–190.
13. **Беляков, А. Ю.** Скрининг микроорганизмов-деструкторов компонентов буровых растворов / А. Ю. Беляков, Е. В. Плешакова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Химия. Биология. Экология. – 2013. – Т. 13, № 4. – С. 37–42.
14. **Беляков, А. Ю.** Эколого-функциональные особенности бактерий, выделенных из буровых шламов / А. Ю. Беляков, Е. В. Плешакова, В. А. Амангалиева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – № 1. – С. 294–298.
15. **Панченко, Л. В.** Введение в практические занятия по экологической биотехнологии с основами микробиологии / Л. В. Панченко, А. Ю. Муратова, О. В. Турковская. – Саратов : Научная книга, 2005. – 56 с.
16. **Миронова, И. К.** Методическое пособие к малому практикуму по биофизике / И. К. Миронова, М. В. Каневский. – 6-е изд. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 2016. – 44 с.
17. **Francy, D. S.** Emulsification of hydrocarbons by subsurface bacteria / D. S. Francy, J. M. Thomas, R. L. Raymond, C. H. Ward // Indian Journal of Microbiology. – 1991. – № 8. – P. 237–246.
18. Образование нефтевытесняющих соединений микроорганизмами из нефтяного месторождения Дацин (КНР) / Т. Н. Назина, Д. Ш. Соколова, А. А. Григорьян, Я. Ю. Сюэ, С. С. Беляев, М. В. Иванов // Микробиология. – 2003. – Т. 72, № 2. – С. 206–211.
19. **Bashan, Y.** Azospirillum-plant relationships: agricultural, physiological, molecular and environmental advances / Y. Bashan, G. Holguin, L. E. De-Bashan // Canadian Journal of Microbiology. – 2004. – Vol. 50. – P. 521–577.
20. **Плакунов, В. К.** Устойчивость нефтеокисляющего микроорганизма *Dietzia* sp. к гиперосмотическому шоку в реконструированных биопленках / В. К. Плакунов, М. В. Журина, С. С. Беляев // Микробиология. – 2008. – Т. 77, № 5. – С. 581–589.
21. Complete genome sequence of *Halomonas* sp. R5-57 / A. Williamson, C. De Santi, B. Altermark, C. Karlsen, E. Hjerde // Standards in Genomic Sciences. – 2016. – Vol. 11. – P. 62–71.

**References**

1. Konon A. D., Skochko A. B., Pirog T. P. *Nauka i sovremennost'* [Science and modernity]. 2011, vol. 8, no. 1, pp. 25–30. [In Russian]
2. Satpute S. K., Banpurkar A. G., Dhakephalkar P. K., Banat I. M., Chopade B. A. *Critical Reviews Biotechnology*. 2010, vol. 30, no. 2, pp. 1–18.
3. Singh A., Van Hamme J. D., Ward O. P. *Microbiology and molecular biology reviews*. 2003, vol. 67, no. 4, pp. 503–549.
4. Urum K., Pekdemir T., Zopur M. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004, vol. 276, no. 2, pp. 456–464.
5. Lima T. M. S., Fonseca A. F., Leão B. A., Mounteer A. H., Tótolá M. R., Borges A. C. *Journal Bioremediation & Biodegradation*. 2011, no. 2, pp. 125–130.
6. Rocha e Silva F. C. P., Rocha e Silva N. M. P., Moura A. E., Galdino R. A., Luna J. M., Rufino R. D., Santos V. A., Sarubbo L. A. *Separation Science and Technology*. 2015, vol. 50, pp. 618–625.
7. Kulikova O. A., Mazlova E. A., Bradik D. I., Kudrova E. P. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel* [Chemistry and technology of fuels and oils]. 2018, no. 6, pp. 47–52. [In Russian]
8. Bachmann R. T., Johnson A. C., Edyvean R. G. J. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014, vol. 86, pp. 225–237.
9. De Almeida D. G., Soares Da Silva R. C. F., Luna J. M., Rufino R. D., Santos V. A., Banat I. M., Sarubbo L. A. *Frontiers in Microbiology*. 2016, no. 7, pp. 1718–1732.
10. Yagafarova A. Ya., Moldagulova N. B., Mukanova K. T., Kanaev D. B., Kurmanbaeva A. B., Khasenova E. Zh. *Biotekhnologiya. Teoriya i praktika* [Biotechnology. Theory and practice]. 2012, no. 4, pp. 30–33. [In Russian]
11. Makkar R. S., Cameotra S. S. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2002, vol. 58, pp. 428–434.
12. Pirog T. P., Voloshina I. N., Ignatenko S. V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied biochemistry and microbiology]. 2011, vol. 47, no. 4, pp. 189–190. [In Russian]
13. Belyakov A. Yu., Pleshakova E. V. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Ser.: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [Bulletin of Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology]. 2013, vol. 13, no. 4, pp. 37–42. [In Russian]
14. Belyakov A. Yu., Pleshakova E. V., Amangalieva V. A. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2014, no. 1, pp. 294–298. [In Russian]
15. Panchenko L. V., Muratova A. Yu., Turkovskaya O. V. *Vvedenie v prakticheskie zanyatiya po ekologicheskoy biotekhnologii s osnovami mikrobiologii* [Introduction to practical classes in environmental biotechnology with the basics of microbiology]. Saratov: Nauchnaya kniga, 2005, 56 p. [In Russian]
16. Mironova I. K., Kanevskiy M. V. *Metodicheskoe posobie k malomu praktikumu po biofizike* [Methodical manual for a small workshop on biophysics]. 6th ed. Saratov: Izd-vo Saratovskogo un-ta, 2016, 44 p. [In Russian]
17. Francy D. S., Thomas J. M., Raymond R. L., Ward C. H. *Indian Journal of Microbiology*. 1991, no. 8, pp. 237–246.
18. Nazina T. N., Sokolova D. Sh., Grigor'yan A. A., Syue Ya. Yu., Belyaev S. S., Ivanov M. V. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. 2003, vol. 72, no. 2, pp. 206–211. [In Russian]
19. Bashan Y., Holguin G., De-Bashan L. E. *Canadian Journal of Microbiology*. 2004, vol. 50, pp. 521–577.
20. Plakunov V. K., Zhurina M. V., Belyaev S. S. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. 2008, vol. 77, no. 5, pp. 581–589. [In Russian]
21. Williamson A., De Santi C., Altermark B., Karlson C., Hjerde E. *Standards in Genomic Sciences*. 2016, vol. 11, pp. 62–71.

**Плешакова Екатерина Владимировна**  
доктор биологических наук, доцент,  
профессор кафедры биохимии и  
биофизики, Саратовский национальный  
исследовательский государственный  
университет имени Н. Г. Чернышевского  
(Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, 83)

E-mail: plekat@yandex.ru

**Pleshakova Ekaterina Vladimirovna**  
Doctor of biological sciences, associate  
professor, professor of the sub-department  
of biochemistry and biophysics, Saratov  
State University (83, Astrakhanskaya street,  
Saratov, Russia)

**Колесник Сергей Дмитриевич**  
магистрант, Саратовский национальный  
исследовательский государственный  
университет имени Н. Г. Чернышевского  
(Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, 83)

E-mail: Sergey42560@yandex.ru

**Kolesnik Sergey Dmitrievich**  
Master degree student, Saratov State  
University (83, Astrakhanskaya street,  
Saratov, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Плешакова, Е. В. Изучение способности выделенных из буровых шламов микроорганизмов к синтезу биологических поверхностно-активных веществ в условиях повышенной солености среды / Е. В. Плешакова, С. Д. Колесник // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 100–109. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-1-10.