

Научная статья  
УДК 574.587 (571.14)  
doi: 10.17223/19988591/72/13

## Морфометрические характеристики популяции рака артемии в разные фазы водности озера Кулундинское Алтайского края

Любовь Викторовна Веснина<sup>1</sup>,  
Дмитрий Михайлович Безматерных<sup>2</sup>,  
Юрий Александрович Веснин<sup>3</sup>, Михаил Владимирович Лассый<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1325-9030>, artemia.vesnina@mail.ru

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7747-4939>, bezmater@iwep.ru

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2792-8039>, uav1978@mail.ru

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4042-5858>, mihalassy@mail.ru

**Аннотация.** Приведены результаты исследований 12 морфометрических параметров женских особей партеногенетической популяции рака *Artemia* sp. В оз. Кулундинское в регрессивный (2006–2013 гг.) и трансгрессивный (2017–2022 гг.) периоды водности. Выполнена математическая обработка собранного материала методами описательной статистики, корреляционного анализа, а также методом главных компонент. Исследования показали, что изменение водности озера оказало существенное влияние на морфометрические характеристики популяции рака. Это влияние, по всей вероятности, обусловлено изменением комплекса физико-химических факторов водной среды в озере, в первую очередь, величины минерализации. Отмечено, что реакция различных морфометрических характеристик на это изменение может сильно отличаться, но для всех изученных показателей выявлено увеличение их вариативности в трансгрессивную фазу водности. Приведено сравнение размерных характеристик популяции рака артемии по критерию Краскела–Уоллиса в разные фазы водности, которое показало существенные отлияния морфометрических признаков в эти периоды. Использование статистического метода РСА (главных компонент) позволило определить наибольшую факторную нагрузку в обе фазы водности на длину тела (*tl*), которая определяет изменения других размерных признаков артемии. Значительно ниже влияние на эти характеристики оказывает длина цефалотракса (*cl*). Вклад ширины овисака (*ow*) более заметен в фазу трансгрессии, а *cl* – в период регрессии. Корреляционный анализ исследованных признаков показал их большую связь в фазу трансгрессии. Длина тела положительно и статистически значимо коррелировала с другими показателями.

**Ключевые слова:** артемия, морфометрический анализ, фазы водности, популяция, адаптация, экологические факторы, минерализация

**Источник финансирования:** работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ FUFZ-2021-001).

**Благодарности:** авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ИВЭП СО РАН за помощь в проведении исследований.

**Для цитирования:** Веснина Л.В., Безматерных Д.М., Веснин Ю.А., Лас-  
сый М.В. Морфометрические характеристики популяции рачка артемии в раз-  
ные фазы водности озера Кулундинское Алтайского края // Вестник Томского  
государственного университета. Биология. 2025. № 72. С. 322–340. doi: 10.  
17223/19988591/72/13

Original article

doi: 10.17223/19988591/72/13

## Morphometric characteristics of the population of *Artemia* crustaceans in Lake Kulundinskoe of Altai Krai

Lyubov V. Vesnina<sup>1</sup>, Dmitry M. Bezmaternyh<sup>2</sup>,  
Yuriy A. Vesnin<sup>3</sup>, Mikhail V. Lassyi<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1325-9030>, artemia.vesnina@mail.ru

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7747-4939>, bezmater@iwep.ru

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2792-8039>, uav1978@mail.ru

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4042-5858>, mihalassy@mail.ru

**Summary.** In southern Western Siberia, there are numerous hypersaline lakes. In the zooplankton communities of these lakes, brine shrimp of the genus *Artemia* Leach, 1819, are typically dominant. Scientific interest in these organisms stems from their exceptional osmoregulatory capabilities, the diversity of physiological, biochemical, and morphological traits among individual populations, and the presence of polyploidy. The practical significance of *Artemia* lies in the widespread use of its dia-pausing eggs as starter feed in aquaculture. This study aims to evaluate the impact of varying water availability phases on the morphological characteristics of the *Artemia* population in Lake Kulundinskoye, Altai Krai.

Lake Kulundinskoye is located in the southern part of Western Siberia within the closed drainage basin of the Ob-Irtysh interfluvium. Its surface area varies between 720 and 728 km<sup>2</sup> depending on the year and season, with an average depth ranging from 2.6 to 3.0 m and a maximum depth of 3.5 to 4.0 m. Crustaceans were collected as part of zooplankton monitoring surveys conducted from April to October during 2006–2013 (regressive phase of water availability) and 2017–2022 (transgressive phase of water availability) at various sites across the lake (See Fig. 1). Plankton sampling followed standard methodologies at permanent observation stations. Samples were preserved in a 4% formalin solution.

Twelve morphometric parameters of female individuals from the parthenogenetic population of the brine shrimp *Artemia* sp. in Lake Kulundinskoye were studied. These parameters included body length (*tl*), cephalothorax length (*cl*), abdominal length (*al*), abdominal width (*aw*), ovisac width (*ow*), ovisac length (*ol*), head width (*hw*), distance between the eyes (*de*), eye diameter (*ed*), length of the first antenna (*la*), and lengths of the right and left furcal branches (*fl-r*, *fl-l*). Only female individuals were used in this study, as males were rarely encountered and only during the transgressive period; therefore, data for males are not included. A total of 602 brine shrimp individuals were analyzed: 383 during the transgressive phase and 219 during the regressive phase of water availability.

Mathematical processing of the collected data was conducted using descriptive statistics, correlation analysis, and principal component analysis. This processing was performed with Microsoft Excel 2013 and the PAST 4 software package. Since several variables did not follow a normal distribution, correlations were calculated using

Spearman's rank correlation coefficient. Multivariate statistical analysis was carried out through Principal Component Analysis (PCA) based on the covariance matrix, as all variables shared the same scale. Statistically significant components (at a 95% confidence level) were identified from the scree plot using the Broken Stick method.

The study demonstrated that changes in lake water content significantly affect the morphometric characteristics of the brine shrimp population. This influence is most likely due to alterations in the complex physicochemical factors of the lake's aquatic environment, primarily salinity. It was observed that different morphometric traits respond variably to these changes; however, all studied indicators exhibited increased variability during the transgressive phase of water content (See Figs. 2 and 3). A comparison of the size characteristics of the *Artemia* population using the Kruskal-Wallis test across different phases of water availability revealed significant differences in morphometric traits during these periods (See Tables 1 and 2). Principal Component Analysis (PCA) identified body length (*tl*) as having the greatest factor load in both phases of water availability, indicating that it drives changes in other dimensional traits of brine shrimp. Cephalothorax length (*cl*) exerted a significantly lower influence on these characteristics. The contribution of ovisac width (*ow*) was more pronounced during the transgressive phase, whereas cephalothorax length (*cl*) was more influential during the regression phase (See Table 3). Correlation analysis of the studied traits showed stronger associations during the transgressive phase. Body length was positively and statistically significantly correlated with other indices (See Tables 4 and 5).

*The article contains 3 Figures, 5 Tables, 29 References.*

**Keywords:** *Artemia*, morphometric analysis, phases of water availability, population, adaptation, ecological factors, salinity

**Fundings:** this work was carried out as part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

**Acknowledgments:** the authors express their sincere gratitude to the staff of the IWEP SB RAS for their assistance in conducting the research.

**For citation:** Vesnina LV, Bezmaternyh DM, Vesnin YA, Lassyi MV. Morphometric characteristics of the population of *Artemia* crustaceans in Lake Kulundinskoe of Altai Krai. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2025;72:322-340. doi: 10.17223/19988591/72/13

## Введение

На юге Западной Сибири находится большое количество гипергалинных озер, в зоопланктоне которых в большинстве случаев доминирует жаброногий ракоч рода *Artemia* Leach, 1819 [1]. Научный интерес к этим организмам вызван их исключительной осморегулирующей способностью, разнообразием физиологических, биохимических и морфологических свойств отдельных популяций, существованием полиплоидии. Практическая ценность артемии связана с популярностью использования ее диапаузирующих яиц в качестве стартового корма в аквакультуре [2].

Одна из характерных особенностей климата на юге Западной Сибири – циклическое чередование сухих и влажных периодов, что приводит к значительным колебаниям уровня воды и площади бессточных озер, которые определяются соответственной циклическостью гидрологического режима озер, выявленным А.В. Шнитниковым [3]. Эти колебания, по всей вероят-

ности, связанны с циклами Брикнера, продолжительность которых составляет немногим более 30 лет [4]. В регressiveвой фазе обводненности озера мелеют, минерализуются, их площадь сокращается. Значительные колебания уровня приводят к существенным изменениям гидрохимического и гидробиологического режимов [5]. Эти циклы в полной мере характерны для крупнейшего озера Кулундинской равнины и Алтайского края – озера Кулундинское.

Столь серьезные изменения окружающей среды неизбежно сказываются на популяции артемии. Одним из основных путей приспособления популяции к изменению природных условий является морфологическая адаптация. Для оценки изменения их морфологических признаков целесообразно использовать морфометрический анализ [6].

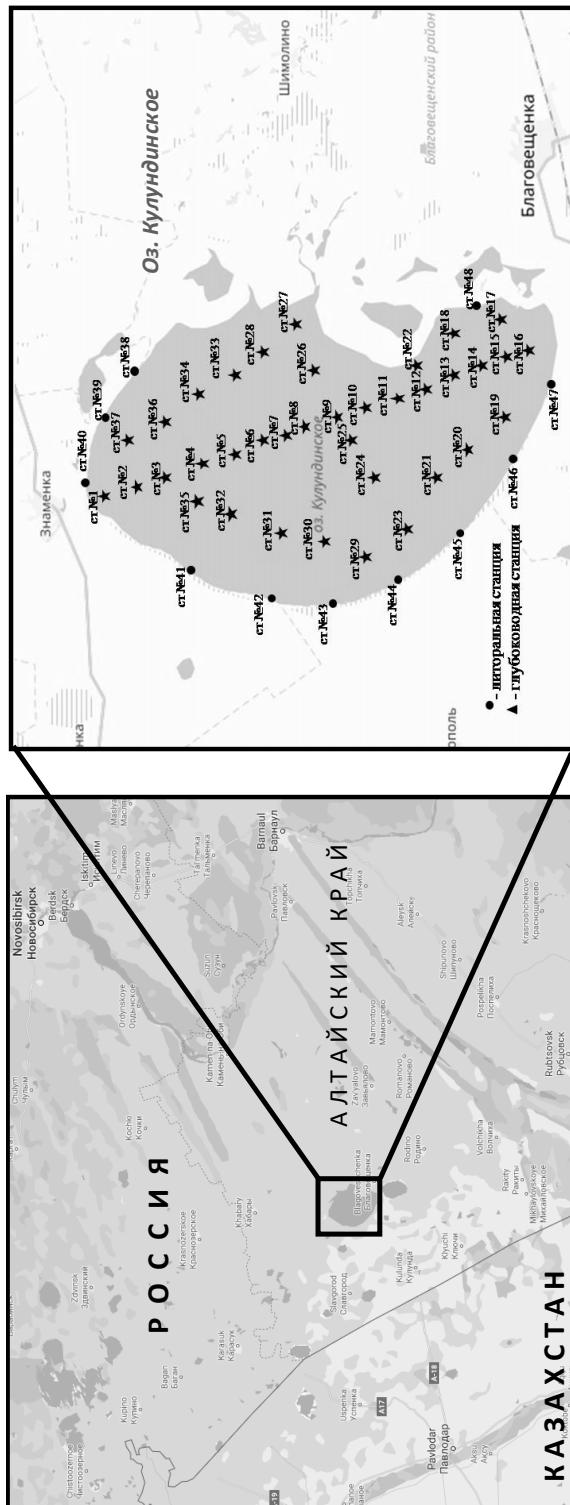
Для артемии [7], также как и для большинства других живых организмов [8], характерны изменения морфометрических показателей под влиянием трансформации окружающей среды. Известно, что основным экологическим фактором, влияющим на популяцию артемии в оз. Кулундинское является величина минерализации воды [9]. Так, в 2017–2021 гг. в этом озере наблюдалось резкое изменение состава и структуры зоопланктона. Характерный для гипергалинных озер моновидовой артемиевый зоопланктон заместился на комплекс солоноватоводных и эвригалинных видов коловраток, кладоцер и копепод. Роль жаброногов в планктоне снизилась до минимальных значений. Эти изменения обусловлены снижением солености воды озера на фоне увеличения его водности, они также отражаются на морфометрических характеристиках популяции артемии.

Вопросы влияния солености на популяции рачка артемии изучали в разных регионах, начиная с работы Н.С. Гаевской [10]. Исследования, проведенные в Европе и США [11, 12], доказали, что изменение солености воды влияет как на численность, так и на морфологию рачка. На территории России данный вопрос активно рассматривается по отношению популяций рачка гипергалинных водоемов Крыма [13], а также водоемов Западной Сибири, где приводилось сравнение популяции, выращенной в естественной и искусственной водных средах [14].

Цель данной работы: оценка влияния разных фаз водности на морфологические характеристики популяции рачка артемии в озере Кулундинское Алтайского края.

## Материалы и методы

Кулундинское озеро расположено на юге Западной Сибири в области замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья ( $52^{\circ}95' с. ш.$ ,  $79^{\circ}50' в. д.$ ). Площадь его акватории в разные годы и сезоны колеблется от 720 до  $728 \text{ км}^2$ , средняя глубина 2,6–3,0 м, максимальная глубина 3,5–4,0 м, озерная котловина характеризуется как округлая, немного вытянутая, протяженность около 35 км, берега пологие, местами с солонцово-солончаковыми комплексами. Озеро бессточное, в него впадают реки Кулунда и Суетка.



**Рис. 1.** Карта-схема расположения оз. Кулундинское и станций отбора проб (№ 1–48) [Fig. 1. Schematic map of the location of Lake Kulundinskoye and sampling stations (No. 1–48)]

Вода горько-соленая, величина минерализации меняется от 40 до 131 г/л [15]. По нашим данным, в период исследований средняя за вегетативный сезон минерализация воды в трансгрессивный период (высокой водности, 2017–2022 гг.) в озере колебалась от 73,9 до 97,3 г/л, а в регressiveный (малой водности, 2006–2013 гг.) – от 110,9 до 166,0 г/л. Гидрологические, гидрохимические и гидробиологические наблюдения Росгидромета на озере не проводятся.

Рачки собраны в рамках мониторинговых исследований зоопланктона в период с апреля по октябрь 2006–2013 гг. и 2017–2022 гг. на различных участках озера (см. рис. 1). Отбор планктона проб проводили по стандартной методике [16] на постоянных станциях наблюдения. Пробы фиксировали 4% раствором формалина.

По данным ДНК-баркодинга [17], выполненного в отделе биотехнологий Алтайского государственного университета, популяция артемии из оз. Кулундинское относится к партеногенетической. Она имеет 99,4% соответствия с последовательностью генбанка (GenBank) № OMT37934.1, которая обозначена как *A. parthenogenetica*. Следует отметить, что *A. parthenogenetica*, как правило, не рассматривается в качестве валидного вида, так обычно называют партеногенетические популяции артемии неясного таксономического положения [18].

Анализ рачков проводили по 12 пластическим признакам [19]: длина тела (*tl*), длина цефалоторакса (*cl*), длина абдомена (*al*), ширина абдомена (*aw*), ширина овисака (*ow*), длина овисака (*ol*), ширина головы (*hw*), расстояние между глазами (*de*), диаметр глаза (*ed*), длина первой антенны (*la*), длина правой и левой фуркальных ветвей (*fl-r*, *fl-l*). Для данного исследования использовали только особей женского пола. Мужские особи встречались редко и только в период трансгрессии, поэтому по ним данные в статью не включены. Всего проанализировано 602 особи рачка: 383 в трансгрессивную и 219 в регressiveную фазы водности.

Статистическую обработку материала проводили с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel-2013 и PAST-4. Поскольку ряд переменных не имели нормального распределения, то корреляцию признаков рассчитывали по ранговому коэффициенту Спирмена. Многомерный статистический анализ выполняли методом главных компонент (Principal Component & Classification Analysis – PCA) на основе ковариационной матрицы, так как размерность всех переменных одинаковая. Статистически значимые компоненты (95% вероятность) выявляли на графике осыпи (Scree plot) методом Broken Stick.

## Результаты исследования

Анализ полученных выборок морфометрических характеристик изученной популяции артемии оз. Кулундинское на нормальность распределения методом Шапиро–Уилка показал, что статистически значимое нормальное распределение выявлено только для длины абдомена (*al*) в фазу регрессии (табл. 1).

Таблица 1 [Table 1]

**Результаты проверки выборок морфометрических показателей на нормальность распределения и их сравнение в различные фазы водности**  
**[Results of checking samples of morphometric indicators for normality of distribution and their comparison in different phases of water content]**

Признаки [Characteristics]	Нормальность по критерию Шапиро–Уилка $W$ [Normality according to the Shapiro-Wilk test $W$ ]		Отличия между выборками по критерию Краскела–Уоллиса $Hc$ [Differences between samples according to the Kruskal-Wallis test $Hc$ ]
	Регрессия [Regression]	Трансгрессия [Transgression]	
<i>tl</i>	0,93 (0,03)	0,99 (< 0,01)	2,52 (0,11)
<i>cl</i>	0,95 (< 0,01)	0,99 (0,02)	1,35 (0,25)
<i>al</i>	<b>0,99 (0,32)</b>	0,99 (0,01)	0,41 (0,52)
<i>aw</i>	0,91 (< 0,01)	0,95 (< 0,01)	2,33 (0,13)
<i>ow</i>	0,983 (0,01)	0,99 (< 0,01)	<b>31,45 (&lt; 0,01)</b>
<i>ol</i>	0,97 (< 0,01)	0,99 (0,01)	<b>28,76 (&lt; 0,01)</b>
<i>hw</i>	0,83 (< 0,01)	0,95 (< 0,01)	0,23 (0,63)
<i>de</i>	0,96 (< 0,01)	0,99 (< 0,01)	3,57 (0,06)
<i>ed</i>	0,88 (< 0,01)	0,84 (< 0,01)	<b>112,70 (&lt; 0,01)</b>
<i>la</i>	0,88 (< 0,01)	0,98 (< 0,01)	<b>22,66 (&lt; 0,01)</b>
<i>fl-l</i>	0,98 (< 0,01)	0,91 (< 0,01)	<b>19,46 (&lt; 0,01)</b>
<i>fl-r</i>	0,98 (0,01)	0,92 (< 0,01)	<b>22,08 (&lt; 0,01)</b>

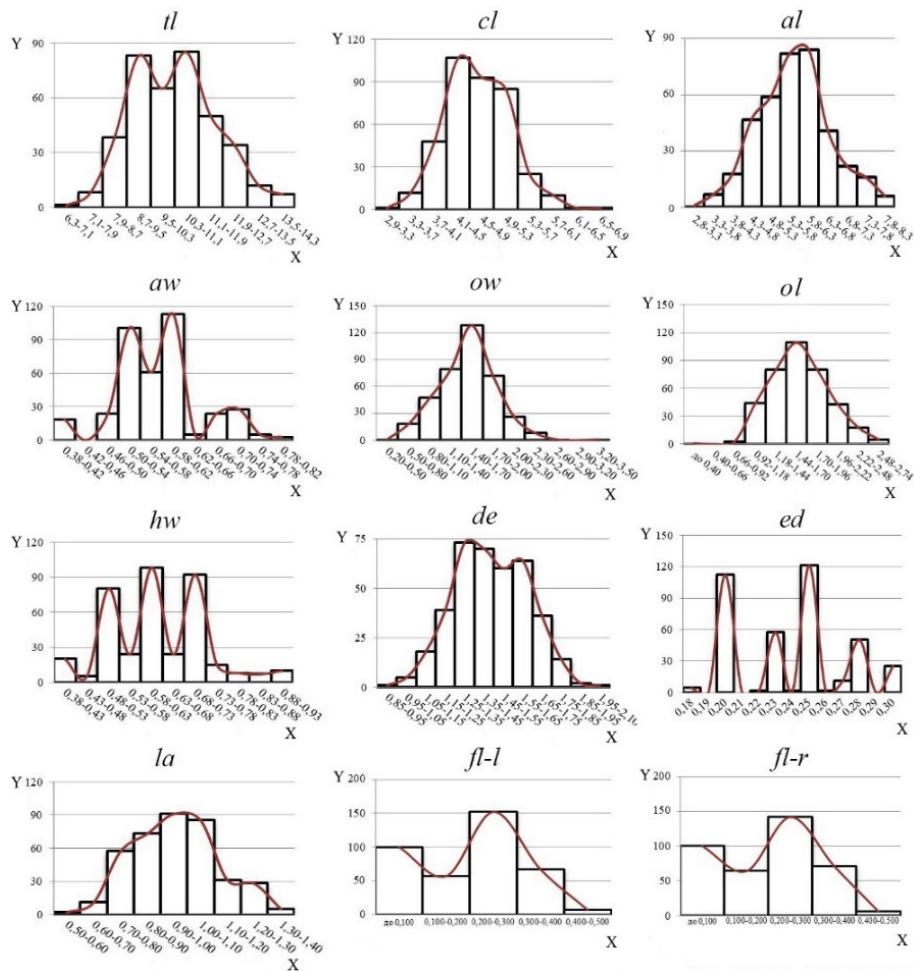
*Примечание.* Жирным шрифтом выделены параметрические распределения и статистически значимые отличия, в скобках указан уровень значимости  $p$ .

[*Note.* Parametric distributions and statistically significant differences are highlighted in bold, the level of significance is indicated in parentheses,  $p$ .]

Для других признаков характерны би- и полимодальные распределения (в основном в трансгрессивную фазу водности, рис. 2), а также лево- и право-сторонние асимметрии гистограмм распределения (в трансгрессивную и регрессивную фазы (рис. 3). Поэтому в дальнейшем для статистического анализа мы использовали только непараметрические критерии, а вместо среднего арифметического использовали медиану.

В период исследований морфометрический анализ проводился на разновозрастных особях жаброногого рака артемии. Достоверных различий между показателями разных генераций не отмечено как в течение одного вегетационного сезона, так и смежных.

Сравнение размерных характеристик популяции артемии по критерию Краскела–Уоллиса в разные фазы водности оз. Кулундинское показало, что половина морфометрических признаков (*ow*, *ol*, *ed*, *la*, *fl-l*, *fl-r*) имела статистически значимые отличия (см. табл. 1). Одна пара признаков (*de*) очень близка к различию с 95% вероятностью. Таким образом, результаты этого статистического анализа свидетельствуют о существенных отличиях морфологических признаков популяций артемии в регрессивную и трансгрессивные фазы водности.



**Рис. 2.** Гистограммы частоты распределения половозрелых самок артемии по морфометрическим признакам в трансгрессивную фазу водности:  
по оси абсцисс – значения признаков, мм; по оси ординат – частота, экз.  
[Fig. 2. Histograms of the frequency of distribution of sexually mature female Artemia according to morphometric characteristics in the transgressive phase of water content:  
On the X-axis - characteristics value, mm; on the Y-axis - frequency, pces]

Как видно из табл. 2, размерные характеристики артемии в разные фазы водности могут как повышаться, так и понижаться.

Рассмотрим морфометрические характеристики, изменения которых статистически значимы по критерию Краскела–Уоллиса. Средняя длина и ширина овисака увеличиваются в регressiveную фазу, что в основном обусловлено значительным повышением минимальных значений этих показателей (с 0,28 до 0,70 мм).

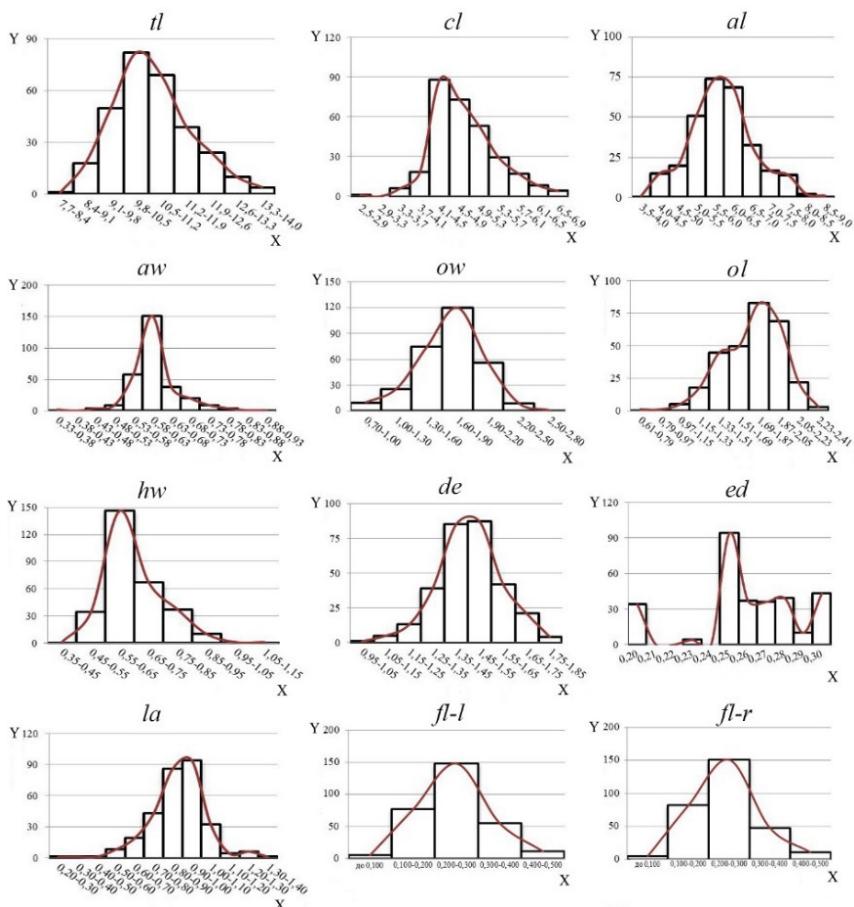


Таблица 2 [Table 2]

**Основные морфометрические признаки полновозрелых самок артемии оз. Кулунильское для разных фаз волнности**  
**[Basic morphometric characteristics of sexually mature female *Artemia* of Lake Kulundinskoye for different phases of water content]**

Признак [Characteristic]	Трансгрессивная фаза [Transgressive phase]			Регрессивная фаза [Regressive phase]				
	Медиана, мм [Median, mm]	Lim (min-max), мм [mm]	$C_V$	$A_S$	Медиана, мм [Median, mm]	Lim (min-max), мм [mm]	$C_V$	$A_S$
<i>tl</i>	10,00	6,70–14,20	14,33	0,02	10,20	8,10–13,80	9,49	-0,05
<i>cl</i>	4,50	3,00–7,00	13,60	-0,04	4,50	2,70–6,80	13,49	0,12
<i>al</i>	6,00	3,10–8,30	17,67	0,06	5,70	3,70–8,70	14,62	-0,03
<i>aw</i>	0,55	0,40–0,80	14,31	0,13	0,60	0,35–0,90	10,98	-0,53
<i>ow</i>	1,50	0,28–3,40	27,66	-0,12	1,65	0,70–2,60	19,92	0,06
<i>ol</i>	1,5	0,28–2,60	24,25	-0,04	1,60	0,70–2,30	16,17	-0,31
<i>hw</i>	0,60	0,40–0,93	17,95	0,11	0,60	0,40–1,10	15,98	0,14
<i>de</i>	1,40	0,90–2,00	13,68	0,12	1,45	1,00–1,80	8,73	-0,02
<i>ed</i>	0,25	0,18–0,30	14,70	-0,28	0,26	0,20–0,30	8,12	-0,16
<i>la</i>	0,90	0,50–1,40	17,09	0,13	0,85	0,25–1,35	14,58	-0,40
<i>fl-l</i>	0,23	0,01–0,50	55,18	-0,33	0,23	0,05–0,48	32,27	-0,11
<i>fl-r</i>	0,23	0,02–0,50	56,02	-0,35	0,23	0,05–0,48	32,49	-0,09

*Примечание.*  $C_V$  – коэффициент вариации,  $A_S$  – коэффициент асимметрии.  
 [Note.  $C_V$  - coefficient of variation,  $A_S$  - asymmetry coefficient.]

Как видно из табл. 3 главная компонента (PC) 1 в обе фазы водности объясняет подавляющую долю дисперсии переменных, но в fazu трансгрессии эта доля существенно больше. В период трансгрессии можно говорить практически об одном основном факторе, определяющем морфометрические характеристики артемии. Влияние остальных статистически значимых факторов незначительное. В fazu регрессии помимо значительного влияния PC 1 также ощутимое воздействие на признаки оказывает PC 2.

Наибольшая факторная нагрузка в обе fazы водности приходится на длину тела (*tl*), именно она в основном определяет изменения других размernых признаков артемии. Значительно ниже влияние на эти характеристики оказывает длина цефалоторакса (*cl*). Вклад ширины овисака (*ow*) более заметен в fazu трансгрессии, а *cl* – в период регрессии озер (табл. 3).

Корреляционный анализ исследованных признаков показал их большую связанность в fazu трансгрессии (табл. 4). Длина тела положительно и статистически значимо коррелировала с другими показателями ( $r = 0,37\text{--}0,94$ ).

Таблица 3 [Table 3]

**Факторные нагрузки и доля объяснённой дисперсии для трех статистически значимых главных компонент по всему перечню изученных в PCA признаков**  
**[Factor loadings and the proportion of explained variance for three statistically significant principal components for the entire list of characteristics studied in PCA]**

Признаки [Characteristics]	Трансгрессия [Transgression]			Регрессия [Regression]	
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 1	PC 2
<i>tl</i>	<b>0,79</b>	0,06	-0,18	<b>0,77</b>	0,24
<i>cl</i>	0,27	<b>0,67</b>	-0,37	0,20	<b>0,78</b>
<i>al</i>	0,52	-0,59	0,19	0,58	-0,55
<i>aw</i>	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01
<i>ow</i>	0,10	0,31	<b>0,74</b>	0,13	-0,10
<i>ol</i>	0,13	0,28	0,49	0,10	-0,09
<i>hw</i>	0,00	-0,02	-0,01	0,01	0,09
<i>de</i>	0,07	0,07	0,06	0,05	0,02
<i>ed</i>	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01
<i>la</i>	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02
<i>fl-l</i>	0,02	0,06	0,03	0,00	-0,05
<i>fl-r</i>	0,02	0,06	0,03	0,00	-0,05
% дисперсии [% dispersion]	86,73	6,08	4,59	68,09	23,88

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены нагрузки  $> 0,6$ .  
 [Note. Loads  $> 0.6$  are highlighted in bold]

Таблица 4 [Table 4]

**Коэффициенты корреляции Спирмена морфометрических признаков артемии в фазу трансгрессии**  
**[Spearman correlation coefficients of morphometric characteristics of *Artemia* during the transgression phase]**

Показатели [Characteristics]	<i>tl</i>	<i>cl</i>	<i>al</i>	<i>aw</i>	<i>ow</i>	<i>ol</i>	<i>hw</i>	<i>de</i>	<i>ed</i>	<i>la</i>	<i>fl-l</i>
<i>cl</i>	<b>0,82</b>										
<i>al</i>	<b>0,94</b>	<b>0,60</b>									
<i>aw</i>	<b>0,57</b>	<b>0,48</b>	<b>0,52</b>								
<i>ow</i>	<b>0,45</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,47</b>							
<i>ol</i>	<b>0,60</b>	<b>0,57</b>	<b>0,53</b>	<b>0,51</b>	<b>0,79</b>						
<i>hw</i>	0,03	-0,05	0,04	0,02	-0,01	-0,02					
<i>de</i>	<b>0,69</b>	<b>0,63</b>	<b>0,62</b>	<b>0,55</b>	<b>0,47</b>	<b>0,56</b>	<b>0,16</b>				
<i>ed</i>	<b>0,54</b>	<b>0,53</b>	<b>0,48</b>	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	<b>0,51</b>	<b>-0,19</b>	<b>0,59</b>			
<i>la</i>	<b>0,54</b>	<b>0,54</b>	<b>0,47</b>	<b>0,34</b>	<b>0,39</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,20</b>	<b>0,55</b>	<b>0,58</b>		
<i>fl-l</i>	<b>0,37</b>	<b>0,41</b>	<b>0,30</b>	<b>0,33</b>	<b>0,31</b>	<b>0,35</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,48</b>	<b>0,60</b>	<b>0,59</b>	
<i>fl-r</i>	<b>0,38</b>	<b>0,41</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>	<b>0,38</b>	<b>-0,30</b>	<b>0,49</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,96</b>

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты —  $p < 0,05$ .  
 [Note. Statistically significant coefficients are highlighted in bold -  $p < 0,05$ .]

Таблица 5 [Table 5]

**Коэффициенты корреляции Спирмена морфометрических признаков артемии в фазу регрессии**  
 [Spearman correlation coefficients of morphometric characteristics of *Artemia* during the regression phase]

Показатели [Characteristics]	<i>tl</i>	<i>cl</i>	<i>al</i>	<i>aw</i>	<i>ow</i>	<i>ol</i>	<i>hw</i>	<i>de</i>	<i>ed</i>	<i>la</i>	<i>fl-l</i>
<i>cl</i>	<b>0,61</b>										
<i>al</i>	<b>0,78</b>	0,08									
<i>aw</i>	<b>0,38</b>	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>								
<i>ow</i>	<b>0,43</b>	0,11	<b>0,48</b>	<b>0,46</b>							
<i>ol</i>	<b>0,40</b>	0,08	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>	<b>0,76</b>						
<i>hw</i>	<b>0,27</b>	<b>0,59</b>	-0,11	<b>0,28</b>	0,06	0,03					
<i>de</i>	<b>0,47</b>	<b>0,34</b>	<b>0,36</b>	<b>0,51</b>	<b>0,69</b>	<b>0,59</b>	<b>0,35</b>				
<i>ed</i>	0,09	<b>0,29</b>	<b>-0,11</b>	<b>0,42</b>	<b>0,38</b>	<b>0,40</b>	<b>0,41</b>	<b>0,50</b>			
<i>la</i>	<b>0,39</b>	<b>0,29</b>	<b>0,32</b>	<b>0,43</b>	<b>0,50</b>	<b>0,38</b>	<b>0,18</b>	<b>0,65</b>	<b>0,34</b>		
<i>fl-l</i>	-0,11	<b>-0,33</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,47</b>	<b>0,41</b>	<b>-0,24</b>	<b>0,27</b>	<b>0,25</b>	<b>0,17</b>	
<i>fl-r</i>	-0,08	<b>-0,30</b>	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,48</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,29</b>	<b>0,26</b>	<b>0,20</b>	<b>0,98</b>

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты –  $p < 0,05$ .  
 [Note. Statistically significant coefficients are highlighted in bold –  $p < 0,05$ .]

Исключение составила ширина головы, коэффициенты корреляции которой с другими показателями незначимые или низкие ( $r=0,16-0,28$ ). Причем часть из них была отрицательной.

Иная ситуация наблюдалась в результатах корреляционного анализа показателей в фазу регрессии (см. табл. 5). Длина тела не имела статистически значимых корреляций с диаметром глаза и длинами фуркальных нитей, а коэффициенты корреляции длины тела с другими признаками – ниже ( $r=0,27-0,78$ ). Отсутствовали значимые коэффициенты некоторых других пар признаков. Например, длина цефалоторакса не коррелировала с размерами овисака и длиной abdomena. Таким образом, можно сделать вывод, что полученные корреляционные матрицы отличаются в разные фазы водности.

### Обсуждение

Ранее было показано, что вариабельность биометрических параметров взрослых особей артемии, её цист и науплиусов в различных гипергалинных водоемах Кулундинской равнины достоверно зависит от физико-химических различий условий обитания изученных популяций [20, 21], прежде всего от уровня минерализации [22, 23]. Как видно из результатов настоящего исследования, подобные различия наблюдаются также внутри одной популяции в годы с разной водностью озера. Подобная значительная вариация морфометрических признаков отмечена в популяциях рачка артемии и ее цист в озерах Крыма [24, 25], Тюменской области [26] и Казахстана [27].

Кластерный анализ морфометрических характеристик артемии из озера Эбейты в разные годы (2002–2015) показал наличие двух неравнозначных кластеров [28]. Большой кластер объединил годы с минерализацией менее 200 г/л, меньший – с минерализацией более 200 г/л (кроме 2005 г.). По данным Е.Г. Бойко с соавт. [6], в уральских и западно-сибирских популяциях артемии с увеличением общей минерализации воды водоемов в маловодные годы все среднесезонные показатели раков уменьшились, за исключением ширины abdomena. При этом изменчивость изученных признаков ( $Cv$ ) наоборот повысилась. По нашим данным в оз. Кулундинское эти тенденции были противоположные, что, вероятно, обусловлено разным уровнем минерализации воды изученных водоемов. Таким образом, в оз. Кулундинское наиболее оптимальным периодом для развития артемии является фаза регрессии, поскольку оптимальный уровень минерализации для нее составляет 100–200 г/л [1].

Аналогичные данные были получены при изучении *A. salina* (Linnaeus, 1758) в различных озерах Туниса. В частности, выявлено, что физико-химические параметры вызывают различную степень вариации среди изученных популяций [29]. Коэффициент корреляции Пирсона показал высокие отрицательные значимые корреляции солености с шириной 3-го брюшного сегмента, длиной фурки, числом щетинок на левой ветви фурки, числом щетинок на правой ветви фурки, шириной головы, диаметром сложных

глаз и максимальным расстоянием между ними. Кроме того, анализ главных компонент разделил различные изученные популяции на 2 группы в зависимости от солености воды.

## Заключение

Проведенные исследования показали, что изменение водности оз. Кулундинское оказало существенное влияние на морфометрические характеристики партеногенетической популяции рака *A. parthenogenetica*. Это влияние, по всей вероятности, обусловлено изменением комплекса физико-химических факторов водной среды в озере, в первую очередь, величиной минерализации воды. Отмечено, что реакция различных морфометрических характеристик на это изменение может сильно отличаться, но для всех изученных показателей выявлено увеличение их вариативности в трансгрессивную фазу водности.

## Список источников

1. Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г. Артемия в озерах Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 2009. 304 с.
2. *Artemia Biology* / eds. R.A. Browne, P. Sorgeloos, C.N.A. Trotman. Boca Raton : CRC Press, 1991. 384 p.
3. Шнитников А.В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата // Тр. Лаб. озероведения АН СССР. 1950. Т. 1. 129 с.
4. Максимов А.А. Природные циклы: Повторяемость экологических процессов. Л. : Наука, 1989. 233 с.
5. Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь) / отв. ред. О.Ф. Васильев, Я. Вейн. Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2015. 255 с.
6. Бойко Е.Г., Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И. Сравнительная морфометрическая характеристика раков рода *Artemia* уральских и западно-сибирских популяций в годы с разной водностью // Агропродовольственная политика России. 2016. Т. 12, вып. 60. С. 63–70.
7. Naceur H.B., Jenhani A.B.R., Romdhane M.S. In situ study of adult *Artemia salina* morphometry and its relationship to the physicochemical water parameters in the saltwork of Sahline (Tunisia) // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2011. Vol. 40, № 4. PP. 44–51. doi: 10.2478/s13545-011-0040-5
8. Алеев Ю.Г. Экоморфология. Киев : Наук. думка, 1986. 424 с.
9. Веснина Л.В., Безматерных Д.М. Влияние факторов окружающей среды на динамику зоопланктона соленого озера Кулундинское (Западная Сибирь) // Экология. 2023. № 3. С. 235–242. doi: 10.31857/S0367059723030095
10. Гаевская Н.С. Изменчивость у *Artemia salina* // Тр. особой зоол. лаб. имп. АН. Сер. II, № 3. 1916. С. 1–45.
11. Amat F. Differentiation in *Artemia* strains from Spain // The brine shrimp *Artemia*. Vol. 1. Morphology, genetics, radiobiology, toxicology. Wetteren, 1980. PP. 19–39.
12. Barnes B.D., Wurtsbaugh W.A. The effects of salinity on plankton and benthic communities in the Great Salt Lake, Utah, USA: A microcosm experiment // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2015. Vol. 72, № 6. PP. 807–817. doi: 10.1139/cjfas-2014-0396
13. Shadrin N.V., Anufrieva E.V. Size polymorphism and fluctuating asymmetry of *Artemia* (Branchiopoda: Anostraca) populations from the Crimea // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2017. Vol. 10, № 1. PP. 114–126.

14. Литвиненко Л.И., Бойко Е.Г. Морфологические исследования искусственно выращенных раков артемии сибирских популяций // Сибирский экологический журнал. 2008. Т. 15, № 1. С. 11–22.
15. Соловов В.П., Подуровский М.А., Ясючена Т.Л. Жаброног артемия и перспективы использования ресурсов. Барнаул : Алт. полиграф. комбинат, 2001. 144 с.
16. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.
17. Kress W., Erickson D. DNA barcodes: Methods and protocols // Methods in Molecular Biology. 2012. Vol. 858. PP. 3–8.
18. Asem A., Rastegar-Pouyani N., Ríos-Escalante P.D.L. The genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Branchiopoda). I. True and false taxonomical descriptions // Lat. Am. J. Aquat. Res. 2010. Vol. 38, № 3. PP. 501–506. doi: 10.3856/vol38-issue3-fulltext-14
19. Gajardo G., Colihueque N., Parraguez M., Sorgeloos P. International study on *Artemia* LVIII. Morphologic differentiation and reproductive isolation of *Artemia* populations from South America // International Journal of Salt Lake Research. 1998. Vol. 7. PP. 133–151.
20. Веснина Л.В., Романова Н.С., Лассый М.В., Веснин Ю.А., Безматерных Д.М. Биологические характеристики ракообразных *Artemia* sp. из разнотипных гипергалинных водоемов Кулундинской равнины // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 29–42. doi: 10.24143/2073-5529-2024-1-29-42
21. Артемия в гипергалинных водоемах России (география, биоразнообразие, экология, биология и практическое использование) : монография / под ред. Л.И. Литвиненко, М.А. Корентович, Е.Г. Бойко, А.И. Литвиненко, П.А. Зенкович. Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2024. 372 с.
22. Abatzopoulos T.J., Amat F., Baxevanis A.D., Belmonte G., Hontoria F., Maniatisi S., Moscatello S., Mura G., Shadrin N. Updating geographic distribution of *Artemia urmiana* Gunther, 1890 (Branchiopoda: Anostraca) in Europe // An Integrated and Interdisciplinary Approach Int. Rev. Hydrobiol. 2009. Vol. 94, № 5. PP. 560–579.
23. Triantaphyllidis G.V., Criel G.R.J., Abatzopoulos T.J., Sorgeloos P. International study on *Artemia* LIII. Morphological study of *Artemia* with emphasis to Old World strains. Bisexual populations // Hydrobiologia. 1997. Vol. 357. PP. 134–153.
24. Ануфриева Е.В., Шадрин Н.В. Жизнь в экстремальной среде. Животные в экосистемах гиперсоленых вод. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2023. 183 с.
25. Семик А.М., Саенко У.М., Замятина У.А. Изменчивость размеров цист артемии в заливе Сиваш // Материалы IX Всероссийской научной конференции. Симферополь, 2020. С. 115–121.
26. Разова Л.Ф. Оценка биологических и репродуктивных особенностей артемии сибирских популяций : дис. ... канд. биол. наук. Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. 172 с.
27. Шарапова Л.И., Шарипова О.А., Трошина Т.Т., Кенжебеков Б.К., Нуриева Ш.Б. Популяции артемии в современных условиях соляных озер юго-востока Казахстана // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 72–82. doi: 10.24143/2073-5529-2019-1-72-82
28. Бойко Е.Г., Литвиненко Л.И., Воронцова П.И. Морфометрическая характеристика половозрелых самок артемии из озера Эбейты Омской области в разные вегетационные сезоны // АПК: инновационные технологии. 2022. Т. 2, вып. 57. С. 11–19. doi: 10.35524/2687-0436\_2022\_02\_11
29. Naceur H.B., Jenhani A.B.R., Romdhane M.S. Impacts of salinity, temperature, and pH on the morphology of *Artemia salina* (Branchiopoda: Anostraca) from Tunisia // Zoolological Studies. 2012. Vol. 51, № 4. PP. 453–462.

## References

1. Litvinenko LI, Litvinenko AI, Boyko EG. *Artemiya v ozerakh Zapadnoy Sibiri* [Artemia in the lakes of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka; 2009. 304 p. In Russian
2. *Artemia* Biology. Browne RA, Sorgeloos P, Trotman CNA, editors. Boca Raton: CRC Press; 1991. 384 p.
3. Shnitnikov AV. Vnutriveauye kolebaniya urovnya stepnykh ozer Zapadnoy Sibiri i Severnogo Kazakhstana i ikh zavisimost' ot klimata [Intracentury fluctuations in the level of steppe lakes in Western Siberia and Northern Kazakhstan and their dependence on climate]. *Tr. Lab. ozerovedeniya AN SSSR*. 1950;1:1-129. In Russian
4. Maksimov AA. *Prirodnye tsikly: Povtoryaemost' ekologicheskikh protsessov* [Natural cycles: Repeatability of ecological processes]. Leningrad: Nauka; 1989. 233 p. In Russian
5. Obzor ekologicheskogo sostoyaniya ozera Chany (Zapadnaya Sibir') [Review of the ecological state of Lake Chany (Western Siberia)]. Vasil'ev OF, Veyn Ya, editors. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo "Geo"; 2015. 255 p. In Russian
6. Boyko EG, Litvinenko LI, Litvinenko AI. Sravnitel'naya morfometricheskaya kharakteristika rachkov roda *Artemia* ural'skikh i zapadno-sibirskikh populyatsiy v gody s raznoy vodnost'yu [Comparative morphometric characteristics of crustaceans of the genus *Artemia* from the Ural and West Siberian populations in years with different water content]. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*. 2016;12(60):63-70. In Russian
7. Naceur HB, Jenhani ABR, Romdhane MS. In situ study of adult *Artemia salina* morphometry and its relationship to the physicochemical water parameters in the saltwork of Sahline (Tunisia). *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2011;40(4):44-51. doi: 10.2478/s13545-011-0040-5
8. Aleev YuG. *Ekomorfologiya* [Ecomorphology]. Kiev: Naukova dumka; 1986. 424 p. In Russian
9. Vesnina LV, Bezmaternykh DM. Influence of environmental factors on the dynamics of zooplankton in Lake Kulunda (Western Siberia). *Russian Journal of Ecology*. 2023; 54(3):243-250. In Russian, English summary. doi: 10.1134/S1067413623030086
10. Gaevskaya NS. *Izmenchivost' u Artemia salina* [Variability in *Artemia salina*]. *Tr. osoboy zool. lab. Imp. AN*. 1916;2(3):1-45. In Russian
11. Amat F. Differentiation in *Artemia* strains from Spain. *The brine shrimp Artemia. Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology. Wetteren*. 1980;1:19-39.
12. Barnes BD, Wurtsbaugh WA. The effects of salinity on plankton and benthic communities in the Great Salt Lake, Utah, USA: A microcosm experiment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2015;72(6):807-817. doi: 10.1139/cjfas-2014-0396
13. Shadrin NV, Anufrieva EV. Size polymorphism and fluctuating asymmetry of *Artemia* (Branchiopoda: Anostraca) populations from the Crimea. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2017;10(1):114-126.
14. Litvinenko LI, Boyko EG. Morfologicheskie issledovaniya iskusstvenno vyrashchennykh rachkov artemii sibirskikh populyatsiy [Morphological studies of artificially grown of brine shrimp from Siberian populations]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2008;15(1): 11-22. In Russian
15. Solovov VP, Podurovskiy MA, Yasyuchenya TL. *Zhabronog artemiya i perspektivy ispol'zovaniya resursov* [Branchiopod *Artemia* and prospects for resource use]. Barnaul: Alt. poligraf. Kombinat; 2001. 144 p. In Russian
16. Rukovodstvo po gidrobiologicheskemu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. SPb.: Gidrometeoizdat; 1992. 318 p. In Russian
17. Kress W, Erickson D. DNA barcodes: Methods and protocols. *Methods in Molecular Biology*. 2012;858:3-8.
18. Asem A, Rastegar-Pouyani N, Ríos-Escalante PDL. The genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Branchiopoda). I. True and false taxonomical descriptions. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 2010;38(3):501-506. doi: 10.3856/vol38-issue3-fulltext-14

19. Gajardo G, Colihueque N, Parraguez M, Sorgeloos P. International study on *Artemia* LVIII. Morphologic differentiation and reproductive isolation of *Artemia* populations from South America. *International Journal of Salt Lake Research*. 1998;7:133-151.
20. Vesnina LV, Romanova NS, Lassy MV, Vesnin YuA, Bezmaternykh DM. Biologicheskie kharakteristiki rakoobraznykh *Artemia* sp. iz raznotipnykh gipergalinnnykh vodoemov Kulundinskoy ravniny [Biological characteristics of crustaceans *Artemia* sp. from different types of hyperhaline reservoirs of the Kulunda Plain]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*. 2024;1: 29-42. In Russian. doi: 10.24143/2073-5529-2024-1-29-42
21. Artemiya v gipergalinnnykh vodoyemakh Rossii (geografiya, bioraznoobraziye, ekologiya, biologiya i prakticheskoye ispol'zovaniye): Monografiya [*Artemia* in hyperhaline reservoirs of Russia (geography, biodiversity, ecology, biology and practical use): monograph]. Litvinenko LI, Korentovich MA, Boyko YeG, Litvinenko AI, Zenkovich PA, editors. Tyumen': GAU Severnogo Zaura'lya Publ.; 2024. 372 p. In Russian
22. Abatzopoulos TJ, Amat F., Baxevanis AD, Belmonte G, Hontoria F, Maniatis S, Moscattello S, Mura G, Shadrin N. Updating geographic distribution of *Artemia urmiana* Gunther, 1890 (Branchiopoda: Anostraca) in Europe. *An Integrated and Interdisciplinary Approach Int. Rev. Hydrobiol.* 2009;94(5):560-579.
23. Triantaphyllidis GV, Criel GRJ, Abatzopoulos TJ, Sorgeloos P. International study on *Artemia* LIII. Morphological study of *Artemia* with emphasis to Old World strains. Bisexual populations. *Hydrobiologia*. 1997;357:134-153.
24. Anufriyeva YeV, Shadrin NV. Zhizn' v ekstremal'noy srede. Zhivotnyye v ekosistemakh gipersolenykh vod [Life in an extreme environment. Animals in hypersaline water ecosystems]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK; 2023. 183 p. In Russian
25. Semik AM, Sayenko UM, Zamyatina UA. Izmenchivost' razmerov tsist artemii v zalive Sivash [Variability in the size of *Artemia* cysts in Sivash Bay]. Materialy IX Vseso Rossiyskoy nauchnoy konferentsii [Proc. of the IX All-Russian Scientific Conference]. Simferopol'; 2020. pp. 115-121. In Russian
26. Razova LF. *Otsenka biologicheskikh i reproduktivnykh osobennostey artemii sibirskikh populyatsiy* [Assessment of biological and reproductive characteristics of *Artemia* in Siberian populations] [CandSci. Dissertation Abstract, Biology]. Tyumen': Northern Trans-Ural State Agricultural University; 2022. 172 p. In Russian
27. Sharapova LI, Sharipova OA, Troshina TT, Kenzhebekov BK, Nuriyeva ShB. Populyatsii artemii v sovremennoykh usloviyakh solyanykh ozer yugo-vostoka Kazakhstana [Populations of *Artemia* in modern conditions of salt lakes of south-east Kazakhstan]. *Vestnik AGTU. Ser. Rybnoye khozyaystvo*. 2019;1:72-82. In Russian. doi: 10.24143/2073-5529-2019-1-72-82
28. Boyko EG, Litvinenko LI, Vorontsova PI. Morfometricheskaya kharakteristika polovozrelykh samok artemii iz ozera Ebety Omskoy oblasti v raznye vegetatsionnye sezony [Morphometric characteristics of sexually mature female *Artemia* from Lake Ebety, Omsk region in different growing seasons]. *APK: innovatsionnye tekhnologii*. 2022; 2(57):11-19. In Russian. doi: 10.35524/2687-0436\_2022\_02\_11
29. Naceur HB, Jenhani ABR, Romdhane MS. Impacts of salinity, temperature, and pH on the morphology of *Artemia salina* (Branchiopoda: Anostraca) from Tunisia. *Zoological Studies*. 2012;51(4):453-462.

**Информация об авторах:**

**Веснина Любовь Викторовна**, д-р биол. наук, профессор, с. н. с. лаборатории водной экологии, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1325-9030>

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru

**Безматерных Дмитрий Михайлович**, д-р биол. наук, доцент, зам. директора по научной работе, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7747-4939>

E-mail: bezmater@iwep.ru

**Веснин Юрий Александрович**, инженер лаборатории водной экологии, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2792-8039>

E-mail: uav1978@mail.ru

**Лассый Михаил Владимирович**, лаборант лаборатории водной экологии, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4042-5858>

E-mail: mihalassy@mail.ru

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Information about the authors:*

**Lyubov V. Vesnina**, Dr. Sci. (Biol.), Professor, senior researcher of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (Barnaul, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1325-9030>

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru

**Dmitry M. Bezmaternyh**, Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Deputy Director for Research, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (Barnaul, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7747-4939>

E-mail: bezmater@iwep.ru

**Yuriy A. Vesnin**, engineer of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (Barnaul, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2792-8039>

E-mail: uav1978@mail.ru

**Mikhail V. Lassyi**, laboratory assistant of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (Barnaul, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4042-5858>

E-mail: mihalassy@mail.ru

*The Authors declare no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 22.07.2024;  
одобрена после рецензирования 01.11.2024; принята к публикации 11.12.2025.*

*The article was submitted 22.07.2024;  
approved after reviewing 01.11.2024; accepted for publication 11.12.2025.*