

Научная статья
УДК 595.323.1+591.4(571.150)
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-29-42>
EDN ASKTCK

Биологические характеристики ракообразных *Artemia* sp. из разнотипных гипергалинных водоемов Кулундинской равнины

**Л. В. Веснина[✉], Н. С. Романова,
М. В. Лассый, Ю. А. Веснин, Д. М. Безматерных**

*Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук,
Барнаул, Россия, artemia.vesnina@mail.ru[✉]*

Аннотация. Впервые определены биометрические параметры цист и науплиусов из популяций гипергалинных оз. Большое Шкло и Малиновое и инкубационные особенности цист из популяций оз. Большое Шкло, Малиновое, Малое Яровое, Кулундинское, Кучукское. Выявлены достоверные межпопуляционные различия биометрических характеристик *Artemia* sp. во всех изученных озерах. Вариабельность биометрических параметров науплиусов и цист артемии обусловлена обнаруженными в ходе исследования физико-химическими различиями условий обитания каждой изученной популяции. Средние значения диаметра цист и линейные размеры науплиусов (Instar I) пяти исследованных популяций находились в пределах $237,4 \pm 11,8 - 250,6 \pm 14,3$ мкм, $412,9 \pm 27,4 - 463,3 \pm 24,6$ мкм соответственно. Наиболее мелкие цисты были обнаружены в оз. Большое Шкло и Малиновое. Самые мелкие науплиусы были выведены из цист популяции, обитающей в оз. Большое Шкло. Между размерами цист и науплиусов исследованных популяций артемии установлена высокая положительная корреляционная связь. Эксперименты по изучению влияния концентрации пищевой соли (98,4 % NaCl) на выводимость науплиусов показали, что для популяций артемии из оз. Малиновое, Кулундинское и Кучукское наиболее благоприятной для выведения науплиусов была среда с концентрацией 25 г/л, оз. Малое Яровое – 10 и 25 г/л. Цисты из популяции оз. Большое Шкло показали идентичную выводимость во всех изученных концентрациях соли. Оптимальные параметры среды для выведения науплиусов варьируют в зависимости от происхождения популяции. Различия условий выводимости науплиусов артемии следует принимать во внимание в ходе экспериментов и особенно для успешной инкубации и культивирования артемии на рыбоводных предприятиях.

Ключевые слова: гипергалинные озера, артемия, популяция, цисты, науплиусы, биометрическая характеристика, выводимость

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук.

Для цитирования: 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. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-29-42>. EDN ASKTCK.

Original article

Biological characteristics of crustaceans *Artemia* sp. from the diverse hypergaline reservoirs of the Kulunda Plain

**L. V. Vesnina[✉], N. S. Romanova,
M. V. Lassyi, Yu. A. Vesnin, D. M. Bezmaternykh**

*Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Barnaul, Russia, artemia.vesnina@mail.ru[✉]*

Abstract. For the first time, biometric parameters of cysts and nauplii from populations of hypergaline lakes Bol'shoe Shklo and Malinovoe, and incubation features of cysts from populations of lakes Bol'shoe Shklo, Malinovoe, Maloe Yarovoe, Kulundinskoye, Kuchukskoye were determined. Significant inter-population differences in the biometric characteristics of *Artemia* sp. were revealed in all the lakes studied. The variability of the biometric parameters

of nauplii and artemia cysts is due to the physical and chemical differences in the living conditions of each studied population discovered during the study. The average values of cyst diameter and linear sizes of nauplii (Instar I) of the studied five populations were in the range of $237.4 \pm 11.8 - 250.6 \pm 14.3$ microns, $412.9 \pm 27.4 - 463.3 \pm 24.6$ microns, respectively. The smallest cysts were found in lake Bol'shoe Shklo and lake Malinovoe. The smallest nauplii were derived from the cysts of the population living in lake Bol'shoe Shklo. A high positive correlation was established between the sizes of cysts and nauplii of the studied artemia populations. Experiments to study the effect of the concentration of dietary salt (98.4% NaCl) on the hatchability of nauplii have shown that for populations of artemia from lakes Malinovoe, Kulundinskoye and Kuchukskoye environments with concentrations of 25 g/l were the most favorable for breeding nauplii, while lake Maloe Yarovoe had concentrations of 10 and 25 g/l. Cysts from lake Bol'shoe Shklo population showed identical excretion in all studied salt concentrations. The optimal environmental parameters for breeding nauplii vary depending on the origin of the population. The differences in the hatchability conditions of artemia nauplii should be taken into account during the experiments and especially for the successful incubation and cultivation of artemia in fish farms.

Keywords: hypergaline lakes, artemia, population, cysts, naupliuses, biometric characteristics, hatchability

Acknowledgment: the study was carried out within the state task of the Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Academy of Sciences.

For citation: Vesnina L. V., Romanova N. S., Lassyy M. V., Vesnin Yu. A., Bezmaternykh D. M. Biological characteristics of crustaceans *Artemia* sp. from the diverse hypergaline reservoirs of the Kulunda Plain. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2024;1:29-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-29-42>. EDN ASKTCK.

Введение

Род *Artemia* Leach, 1819 относится к жаброногим ракообразным (Branchiopoda) и встречается во многих внутренних соленых озерах и прибрежных солончаках, распространенных по всему миру. Благодаря своим питательным качествам и небольшому размеру личинки артемии (науплиусы) представляют собой превосходный живой корм для выращивания различных представителей аквакультуры [1, 2].

Род *Artemia* включает несколько бисексуальных видов и большое количество облигатных партеногенетических популяций [3]. Бисексуальные виды артемии обитают в гипергалинных водоемах Старого и Нового Света в регионах с умеренным климатом [1]. На азиатском континенте, в том числе в Западной Сибири, обитают в основном партеногенетические популяции артемии [4], которые состоят из одних самок, или доля самцов ничтожно мала (не более 2 % от всего числа особей) [5]. Имеются литературные данные, что в озерах Алтая обитает вид *Artemia urmiana* Günther, 1899 [6].

Постановка задачи

В настоящее время для определения видовой и популяционной принадлежности жаброногих ракообразных большое значение имеет мультидисциплинарный подход, который подразумевает использование данных, полученных в рамках различных биологических дисциплин с использованием современных статистических методов [7]. Для описания популяций артемии используют биометрию взрослых рачков, цист и науплиусов, морфологические особенности оболочки, плавучесть цист, характери-

стики выводимости и биохимический состав науплиусов (жирные кислоты, общие липиды, содержание золы и т. д.) [8–11]. Наиболее важным и обязательным для характеристики популяций считается определение размеров цист и науплиусов, а также выводимости цист, т. к. эти параметры имеют решающее значение для оценки экономической ценности артемии, что способствует рациональному ее использованию в аквакультуре [10].

Цель исследования – изучение биометрических характеристик цист и науплиусов артемии из популяций, обитающих в разнотипных гипергалинных озерах Кулундинской равнины и имеющих промысловое значение, и некоторых особенностей инкубации цист из этих популяций.

Материал и методы

Регион исследований. Для исследований были взяты популяции гипергалинных водоемов Кулундинской равнины (Алтайский край), включающие сообщества жаброногого рачка *Artemia*, а также факторы среды, которые формируют популяционные характеристики рачков. Образцы для исследований были собраны из пяти разнотипных озер: Большое Шкло (2020 г.), Малиновое (2021 г.), Малое Яровое (2021 г.), Кулундинское (2022 г.) и Кучукское (2022 г.) (рис. 1, табл. 1).

Отбор проб и измерение факторов среды в гипергалинных озерах проведены по стандартным методикам [12, 13]. Цисты для биометрических измерений и исследования выводимости промыты в рассоле (160 г/л) и до исследования хранились в холодильной камере при отрицательной температуре 5–10 °С.

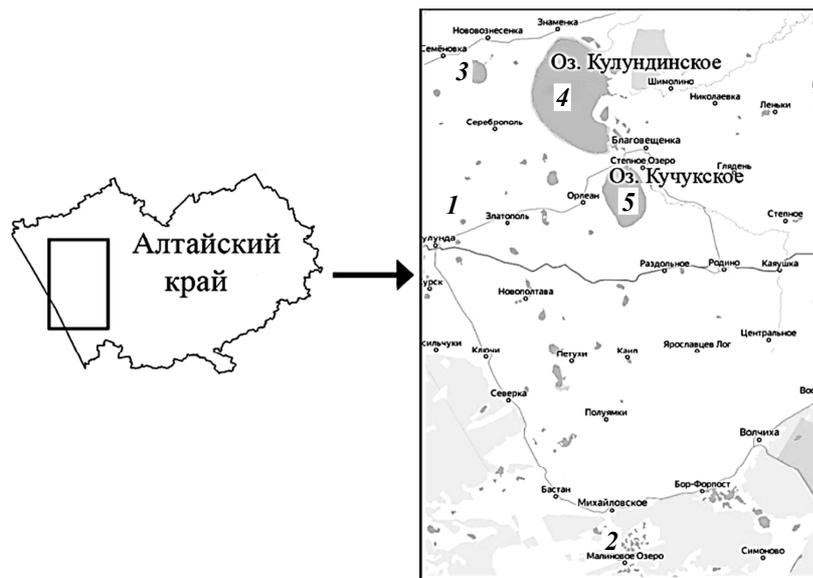


Рис. 1. Расположение мест обитания изученных популяций *Artemia* sp.:
 1 – Большое Шкло; 2 – Малиновое; 3 – Малое Яровое; 4 – Кулундинское; 5 – Кучукское

Fig. 1. Locations of habitats of the studied populations of *Artemia* sp.:
 1 – Bol'shoye Shklo; 2 – Malinovoye; 3 – Maloe Yarovoye; 4 – Kulundinskoye; 5 – Kuchukskoye

Таблица 1

Table 1

Местоположение и основные морфометрические параметры изученных озер

Location and main morphometric parameters of studied lakes

Озеро	Район	Координаты	Площадь, км ²	Глубина, м
Большое Шкло	Кулундинский	52° 63' с. ш., 79° 05' в. д.	2,5	1,2–1,9
Малиновое	Михайловский	51° 70' с. ш., 79° 74' в. д.	11,4	0,4–1,5
Малое Яровое	Табунский и Славгородский	53° 05' с. ш., 79° 10' в. д.	35,2	2,8–5,0
Кулундинское	Благовещенский	52° 95' с. ш., 79° 50' в. д.	770,0	2,3–4,5
Кучукское	Благовещенский	52° 65' с. ш., 79° 75' в. д.	181,0	2,3–3,3

Определение морфометрических параметров цист и науплиусов артемии. Измерение диаметра проводили у предварительно гидратированных в пресной воде цист. Время гидратации – 2 ч. Для получения науплиусов (Instar I) цисты инкубировали в растворе поваренной пищевой соли (98,4 % NaCl) с концентрацией 35 г/л при температуре 25 °С [17]. Через 24 ч после начала инкубации науплиусов фиксировали 1 %-м раствором Люголя в течение 12 ч [14, 15]. Все измерения выполняли с помощью бинокулярного микроскопа МБС–10 с окуляр-микрометром. Объем выборки – 50 цист и 100 науплиусов каждого образца.

Исследование выводимости цист артемии. Инкубационную среду для определения процента выводимости науплиусов (количество науплиусов, которое может быть получено из 100 полных цист) [16] готовили из фильтрованной водопроводной воды и поваренной пищевой соли (98,4 % NaCl) в трех вариантах: 10, 25 и 35 г/л. Величина pH экспериментальных растворов соли составляла 7,3 (опре-

делена прибором Kellog РН-0099). Плотность цист в инкубаторе составляла 1 г/л, температура инкубационного раствора 25 ± 1 °С. Для активации онтогенеза эмбрионов артемии в инкубационные сосуды добавляли эриторбат натрия по 0,5 г/л [17]. Процент выводимости считали после 24 ч инкубации. Все эксперименты были проведены в 3-кратной повторности.

Результаты

Условия обитания ракообразных Artemia. Морфологические параметры, соленость и химизм рапы гипергалинных озер зависят от состояния водности и уровня режима водоема. Значительные изменения условий в среде обитания для популяций зоопланктона особенно характерны для мелководных и небольших по площади водоемов (оз. Большое Шкло и Малиновое). Анализ химического состава воды гипергалинных оз. Большое Шкло, Малиновое, Малое Яровое, Кулундинское и Кучукское показывает значительную вариабельность концентраций анионов и катионов (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Химический состав воды изученных озер Кулундинской равнины
 Chemical composition of the water of studied lakes of the Kulunda Plain

Параметр	Большое Шкло	Малиновое	Малое Яровое	Кулундинское	Кучукское
Минерализация, г/л	25–140	105–300	170–280	45–180	215–325
pH	8,2–9,1	8,0–9,4	7,8–8,1	7,9–8,9	7,6–8,3
Температура, °С	17,0–23,0	19,5–25,0	21,0–25,3	18,5–24,0	19,4–24,0
Na ⁺ , г/л	7,1–40,4	70,4–141,3	–	7,4–40,7	5,8–8,5
Mg ²⁺ , г/л	0,8–3,6	0,1–6,9	9,2–12,1	1,3–6,4	1,1–1,3
K ⁺ , г/л	0,02–0,08	0,1–2,7	–	0,04–0,15	–
Ca ²⁺ , г/л	0,05–0,21	0,02–0,05	0,10–0,33	0,02–0,13	0,20–0,30
Cl ⁻ , г/л	8,5–45,8	54,0–188,2	102,5–149,2	13,0–57,1	10,6–139,0
SO ₄ ²⁻ , г/л	5,6–35,9	2,0–71,3	9,8–18,3	2,7–26,3	1,9–40,9
HCO ₃ ⁻ , г/л	1,0–1,7	1,2–14,7	0,01–1,71	0,6–2,0	–
NO ₂ ⁻ , мг/л	–	–	< 0,02	0,003–0,04	0,01–0,1
NO ₃ ⁻ , мг/л	–	–	< 0,1	0,2–24	0,9–62
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,8–2,0	0,2–25	–	0,07–0,7	0,05–0,4

В воде всех озер преобладают ионы хлора и натрия. На втором месте находятся ионы сульфата и магния. В некоторых пробах воды оз. Малиновое отмечена значительная концентрация карбонатов. Соотношение основных ионов показывает, что вода оз. Большое Шкло, Малиновое, Малое Яровое, Кулундинское и Кучукское относится к хлоридному классу группы натрия [18]. Наименьшие показатели общей минерализации воды в озерах наблюдаются весной после таяния снега с водосборной площади и достигают максимальных величин в летний и осенний период. В нашем исследовании самый низкий уровень солёности можно наблюдать в оз. Большое Шкло, самый высокий в оз. Кучукское. Диапазон колебаний общей минерализации для популяций артемии весьма значителен в каждом озере, от 110 (оз. Малое Яровое) до 195 г/л (оз. Малиновое). Низкая солёность, при которой рачки *Artemia* теряют доминирующее положение в экосистеме, характерна только для оз. Большое Шкло и Кулундинское. В осенний период в некоторых озерах возможно выпадение солевого осадка (оз. Малиновое, Кучукское). Водородный показатель (pH) воды во всех озерах имеет слабощелочную реакцию. Наибольшие значения зарегистрированы в оз. Большое Шкло

и Малиновое, 9,1 и 9,4 соответственно.

Так как озера расположены в континентальной климатической зоне, для них характерны значительные сезонные колебания температуры. Температура воды, оптимальная для размножения и роста артемии, зарегистрирована в период с апреля по октябрь. В более мелководных озерах (оз. Большое Шкло, Малиновое) или озерах, имеющих большую литоральную зону (оз. Кулундинское), нагрев рапы происходит быстрее. В них наблюдается более ранний выклев науплиусов (третья декада марта) и более интенсивный рост рачков первой генерации.

В период опреснения в оз. Кулундинское и Большое Шкло отмечено развитие некоторых видов соленоводной фауны: коловратки (*Rotifera*), веслоногие (*Copepoda*) и ветвистоусые (*Cladocera*) рачки. При увеличении солёности выше 110 г/л в зоопланктоне остаются только жаброногие ракообразные из рода *Artemia*.

Морфометрические параметры цист и науплиусов артемии. Результаты исследований показали значительную межпопуляционную изменчивость диаметра цист артемии, обитающей в разнотипных гипергалинных озерах (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Диаметр цист изученных популяций *Artemia* sp.
 Cyst diameter of studied *Artemia* sp. populations

Место обитания популяции (озеро)	Диаметр гидратированных цист*, мкм					Достоверные различия с озерами по t-критерию (уровень значимости)
	M ± σ	m	min	max	CV	
Большое Шкло	237,4 ± 14,6	2,0	200,0	264,3	6,2	Малое Яровое (p < 0,01) Кучукское (p < 0,01)
Малиновое	237,4 ± 11,8	1,7	200,0	257,1	5,0	Малое Яровое (p < 0,01) Кучукское (p < 0,01)
Малое Яровое	250,3 ± 12,9	1,8	221,4	285,7	5,1	Большое Шкло (p < 0,01) Малиновое (p < 0,01) Кулундинское (p < 0,01)

Окончание табл. 3

Ending of Table 3

Место обитания популяции (озеро)	Диаметр гидратированных цист*, мкм					Достоверные различия с озерами по <i>t</i> -критерию (уровень значимости)
Кулундинское	239,7 ± 15,0	2,1	214,3	285,7	6,3	Малое Яровое ($p < 0,01$) Кучукское ($p < 0,01$)
Кучукское	250,6 ± 14,3	2,0	214,3	278,6	5,7	Большое Шкло ($p < 0,01$) Малиновое ($p < 0,01$) Кулундинское ($p < 0,01$)

* M – среднее арифметическое значение; σ – стандартное отклонение от среднего; m – ошибка среднего; min и max – минимальное и максимальное значения; CV – коэффициент вариации.

Наименьший средний размер цист был обнаружен в двух озерах – Большое Шкло и Малиновое ($237,4 \pm 14,6$ и $237,4 \pm 11,8$ мкм). Диапазон варьирования значений размера цист в оз. Большое Шкло

составляет 64,3 мкм, в оз. Малиновое – 57,1 мкм. В оз. Малиновое 94 % цист имеет размер от 220 до 259 мкм (рис. 2).

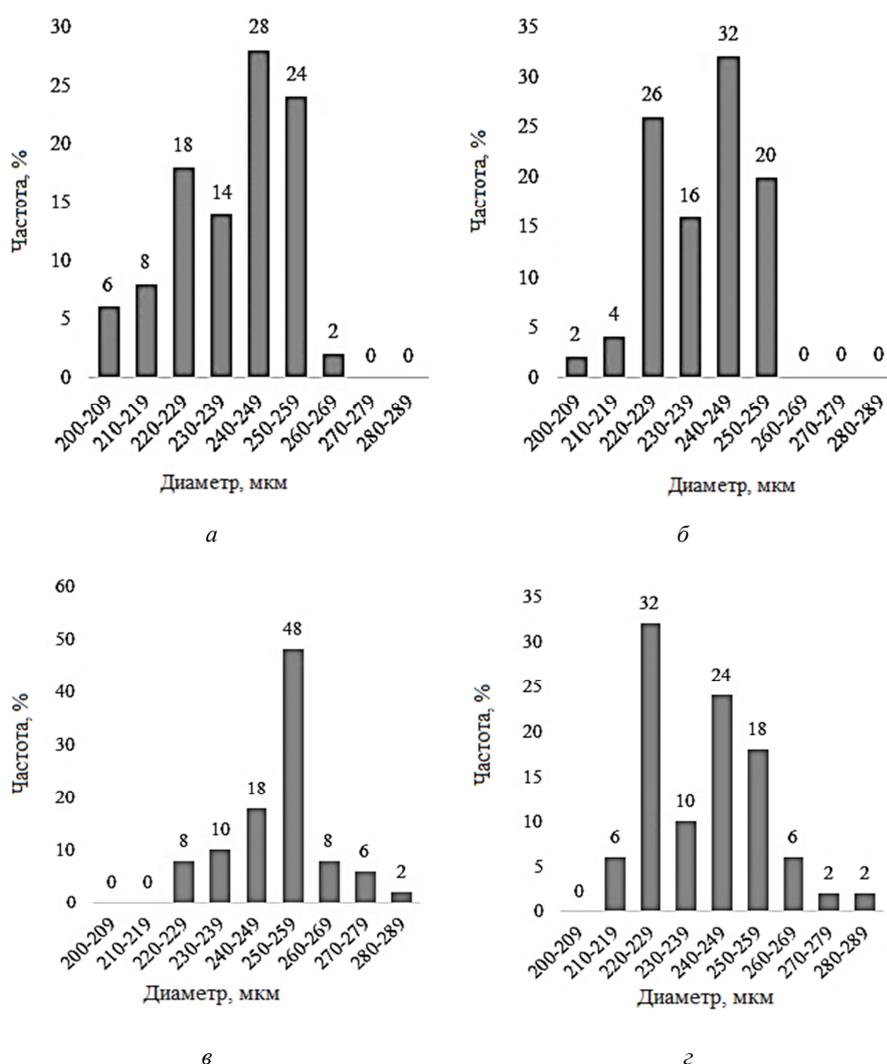


Рис. 2. Распределение значений диаметра цист *Artemia* sp.:
 а – Большое Шкло; б – Малиновое; в – Малое Яровое; г – Кулундинское

Fig. 2. Distribution of cysts diameter values of *Artemia* sp.:
 а – Bol'shoye Shklo; б – Malinovoe; в – Maloe Yarovoe; г – Kulundinskoye

Vesilina L. V., Romanova N. S., Lasyi M. V., Vesnin Yu. A., Vezhalepukh D. M. Biological characteristics of crustaceans *Artemia* sp. from the diverse hydrogalyne reservoirs of the Kulunda Plain

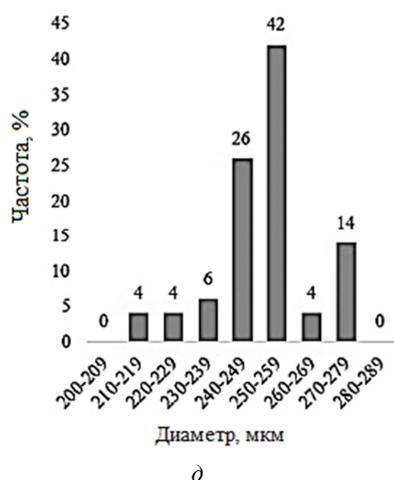


Рис. 2 (окончание). Распределение значений диаметра цист *Artemia* sp.: δ – Кучукское

Fig. 2 (ending). Distribution of cysts diameter values of *Artemia* sp.: δ – Kuchukskoye

В оз. Кулундинское отмечен наибольший среди исследованных озер диапазон варьирования – 71,4 мкм, среднее значение диаметра цист в популяции – $239,7 \pm 15,0$ мкм. Наибольший размер цист обнаружен в популяциях оз. Малое Яровое ($250,3 \pm 12,9$ мкм) и Кучукское ($250,6 \pm 14,3$ мкм). Коэффициент вариации размера цист в этих популяциях не превышал 5,70. Анализ распределения размеров цист в оз. Большое Шкло, Малиновое, Кулундинское и Кучукское показал незначитель-

ную асимметрию с коэффициентами (*As*) – 0,51; 0,38; 0,49 и –0,41. Для популяций артемии оз. Большое Шкло и Малиновое характерен отрицательный эксцесс (*Ex* – 0,69). В оз. Малое Яровое распределение размеров цист более всего приближено к нормальному (*As* – 0,09) с небольшим положительным эксцессом (*Ex* – 0,34).

Самые мелкие науплиусы были выведены из цист артемии, обитающей в оз. Большое Шкло (средний размер $412,9 \pm 27,4$ мкм) (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Линейные размеры науплиусов изученных популяций *Artemia* sp.

Linear dimensions of nauplii of the studied populations of *Artemia* sp.

Место обитания популяции (озеро)	Линейные размеры науплиусов, мкм					Достоверные различия с озерами по <i>t</i> -критерию (уровень значимости)
	$M \pm \sigma^*$	<i>m</i>	min	max	<i>CV</i>	
Большое Шкло	$412,9 \pm 27,4$	2,7	357,1	485,7	6,6	Малиновое ($p < 0,01$) Малое Яровое ($p < 0,01$) Кулундинское ($p < 0,01$) Кучукское ($p < 0,01$)
Малиновое	$440,4 \pm 23,6$	2,4	357,1	485,7	5,4	Большое Шкло ($p < 0,01$) Малое Яровое ($p < 0,01$) Кулундинское ($p < 0,01$) Кучукское ($p < 0,01$)
Малое Яровое	$454,7 \pm 26,9$	2,7	371,4	514,3	5,9	Большое Шкло ($p < 0,01$) Малиновое ($p < 0,01$) Кучукское ($p < 0,05$)
Кулундинское	$455,6 \pm 28,2$	2,8	357,1	514,3	6,2	Большое Шкло ($p < 0,01$) Малиновое ($p < 0,01$) Кучукское ($p < 0,01$)
Кучукское	$463,3 \pm 24,6$	2,5	385,7	514,23	5,3	Большое Шкло ($p < 0,01$) Малиновое ($p < 0,01$) Малое Яровое ($p < 0,05$) Кулундинское ($p < 0,05$)

Минимальный размер науплиусов из популяции оз. Большое Шкло составлял 357,1 мкм, максимальный – 485,7 мкм, при этом большая часть

науплиусов (89 %) имела размер от 380 до 460 мкм (рис. 3).

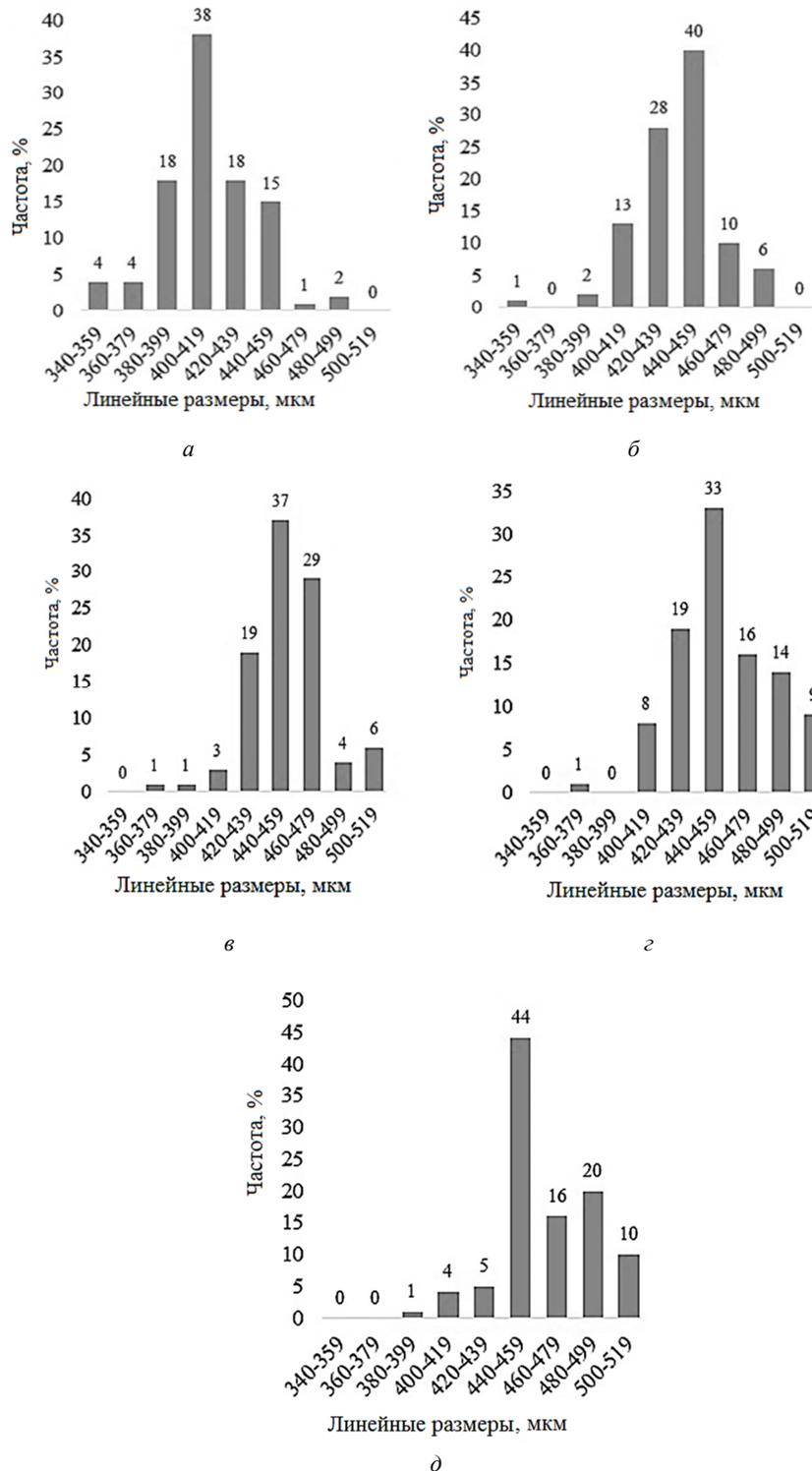


Рис. 3. Распределение значений линейных размеров науплиусов *Artemia* sp. изученных популяций: а – Большое Шкло; б – Малиновое; в – Малое Яровое; г – Кулундинское; д – Кучукское

Fig. 3. Distribution of values of linear sizes of nauplius *Artemia* sp. studied populations: а – Bol'shoye Shklo; б – Malinovoye; в – Maloe Yarovoe; г – Kulundinskoye; д – Kuchukskoye

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

Размеры науплиусов оз. Большое Шкло достоверно ($p < 0,01$) отличались от всех остальных изучаемых популяций. Немного больше были науплиусы оз. Малиновое, 91 % науплиусов имели размеры в диапазоне от 400 до 480 мкм. Наибольший средний размер науплиусов был получен в популяции оз. Кучукское ($463,3 \pm 24,6$ мкм): 90 % рачков имели размеры от 440 до 520 мкм. Анализ распределения значений линейной длины науплиусов в оз. Большое Шкло, Малое Яровое, Кулундинское и Кучукское показал почти симметричное распределение полу-

ченных данных: $As - 0,07; 0,09; 0,06$ и $-0,01$. Для размеров науплиусов оз. Малиновое определена существенная левосторонняя асимметрия распределения данных с коэффициентом (As) – 0,40 при $p < 0,05$. В изученных нами популяциях между диаметром цист и линейным размером науплиусов была обнаружена достоверная сильная положительная корреляционная связь ($r = 0,70$ при $p < 0,05$), при этом зависимость средней длины науплиусов от среднего диаметра цист в изученных популяциях является линейной (рис. 4).

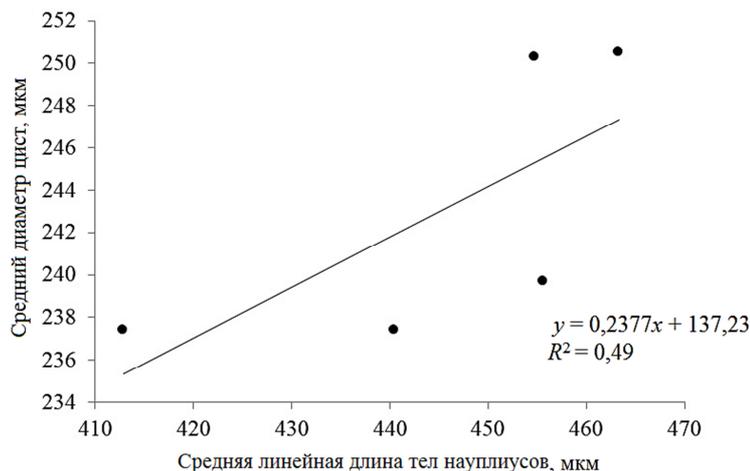


Рис. 4. Зависимость средней линейной длины тела науплиусов от среднего размера цист *Artemia* sp. в изученных популяциях

Fig. 4. Dependence of the average linear body length of nauplii on the average diameter of cysts *Artemia* sp. in the studied populations

Выводимость цист артемии при различной солености инкубационной среды. Для популяций артемии из оз. Малиновое, Кулундинское и Кучук-

ское наиболее благоприятной для выведения науплиусов была среда с концентрацией 25 г/л (табл. 5).

Таблица 5

Table 5

Выводимость науплиусов рачка *Artemia* sp. из гипергалинных озер Кулундинской равнины при различных концентрациях соли в инкубационной среде

Hatchability of naupliuses of *Artemia* sp. crustacean in hypergaline lakes of the Kulunda Plain at different salt concentrations in the incubation medium

Место обитания популяции (озеро)	Концентрация NaCl, г/л	Выводимость, %				Концентрации с достоверными различиями по <i>t</i> -критерию (уровень значимости)
		$M \pm \sigma$	<i>m</i>	min	max	
Большое Шкло	10	$46,17 \pm 2,00$	1,16	43,9	47,7	*
	25	$46,47 \pm 1,90$	1,10	44,5	48,3	*
	35	$44,70 \pm 1,80$	1,04	42,7	46,2	*
Малиновое	10	$82,93 \pm 2,00$	1,14	80,7	84,4	*
	25	$86,50 \pm 1,55$	0,90	85,0	88,1	35 ($p < 0,05$)
	35	$81,70 \pm 1,67$	0,96	80,2	83,5	25 ($p < 0,05$)
Малое Яровое	10	$88,87 \pm 0,42$	0,24	88,4	89,2	35 ($p < 0,01$)
	25	$88,83 \pm 1,17$	0,68	87,5	89,7	35 ($p < 0,01$)
	35	$84,33 \pm 0,97$	0,56	83,5	85,4	10, 25 ($p < 0,01$)

Окончание табл. 5

Ending of Table 5

Vesina L. V., Ropanova N. S., Lassiy M. V., Vesnin Yu. A., Vezhmalenjukh D. M. Biological characteristics of cyclopoids of the Kuldinda Plain

Место обитания популяции (озеро)	Концентрация NaCl, г/л	Выводимость, %				Концентрации с достоверными различиями по <i>t</i> -критерию (уровень значимости)
		$M \pm \sigma$	<i>m</i>	min	max	
Кулундинское	10	49,07 ± 1,63	0,94	47,2	50,2	25, 35 ($p < 0,05$)
	25	55,83 ± 1,45	0,84	54,4	57,3	10 ($p < 0,05$)
	35	52,97 ± 0,83	0,48	52,3	53,9	10 ($p < 0,05$)
Кучукское	10	79,20 ± 1,31	0,76	77,7	80,1	25 ($p < 0,05$)
	25	84,20 ± 1,41	0,81	82,9	85,7	10, 35 ($p < 0,05$)
	35	81,30 ± 1,23	0,71	80,8	82,5	10, 25 ($p < 0,05$)

* Значения недостоверны.

Достоверные различия обнаружены для популяции оз. Малиновое между средами с концентрациями 25 и 35 г/л при $p < 0,05$. Для популяций артемии оз. Кулундинское и Кучукское достоверные различия выводимости были определены для всех вариантов инкубационной среды. Цисты оз. Малое Яровое имели аналогичный выход науплиусов в инкубационных средах с 10 и 25 г/л пищевой соли. При концентрации 35 г/л выводимость науплиусов была достоверно ниже при $p < 0,01$. Цисты оз. Большое Шкло показали идентичную выводимость во всех изученных концентрациях соли.

Обсуждение результатов

Широкий диапазон колебаний температурных условий, общей минерализации воды, состава ионов и различного их соотношения в континентальных биотопах приводит к появлению множества популяций с различными морфологическими, биохимическими и физиологическими характеристиками, которые связаны с комплексом экологических особенностей гипергалинных водоемов. Межпопуляционные различия морфологических характеристик артемии поддерживаются географической изоляцией, которая способствует выработке толерантности к определенному составу и концентрации ионов маточного водоема [19, 20].

Соленость среды обитания – важный морфообразующий фактор для рачков артемии [7, 21]. В лабораторных экспериментах показано, что ростовые параметры взрослых самок артемии зависят от концентрации и времени экспозиции рачков в определенной концентрации соли [22]. Размеры цист и науплиусов обусловлены генетическими характеристиками популяции, но имеют зависимость от параметров окружающей среды опосредованно через материнских особей. По этой причине между разными выборками в одной и той же популяции может существовать значительная разница биометрических характеристик цист и науплиусов [23]. Исследования диаметра цист артемии из оз. Малое Яровое показали значительную вариабельность

межгодовых значений в популяции. Средние значения диаметра цист изменялись в пределах от 226 до 256 мкм [24]. Полученные нами результаты по биометрии цист оз. Малое Яровое ($250,3 \pm 12,9$ мкм) находятся в диапазоне размеров, определенных ранее для этой популяции.

В результате исследований P. Vanhaecke и P. Soggelees [25] цисты из 32 бисексуальных и партеногенетических популяций были классифицированы на 3 группы:

1) самые маленькие цисты, относящиеся к популяции Adelaide (Австралия) и артемии из залива Сан-Франциско – 225,5 и 235,6 мкм соответственно;

2) самые большие цисты с диаметром от 267,0 до 284,9 мкм из партеногенетических популяций Китая, Франции, Италии и Индии;

3) популяции с цистами среднего размера, но с тонким хорионом характерны для штаммов *A. franciscana* Kellogg, 1906 (бисексуальная популяция), из озер Чаплин и Большого Соленого озера с диаметром 240,0 мкм и 244,2–252,2 мкм соответственно.

Авторы предположили, что наибольший диаметр цист обусловлен партеногенезом [24]. Более поздние исследования показали, что в партеногенетических популяциях также могут быть относительно небольшие цисты – 243,1 мкм [23], а самые крупные цисты были обнаружены в бисексуальной популяции *A. tibetiana* (323–330 мкм) [26]. Цисты *A. urmiana* на различных участках оз. Урмия в Иране имели средний диаметр от 262,7 до 286,6 мкм, а общая длина науплиусов – 466,3–505,0 мкм. При этом в данном озере обитают как бисексуальные, так и партеногенетические популяции с различной плоидностью: $2n$, $4n$ и $5n$ [27]. Исследованные нами цисты из популяций артемии оз. Большое Шкло, Малиновое, Кулундинское, Малое Яровое и Кучукское имеют размеры, сравнимые с цистами *A. franciscana* и *A. urmiana*.

Различия размеров цист в партеногенетических популяциях многие авторы связывают с уровнем плоидности рачков. В популяции из Намибии (размер

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

цист 246,7 мкм) основная часть клеток у рачков имеет диплоидный набор хромосом ($2n = 42$), а в популяции из Мадагаскара (размер цист 258,9 мкм) – триплоидный ($3n = 63$) [28]. В партеногенетических популяциях могут встречаться диплоидные ($2n = 42$), триплоидные ($3n = 63$), тетраплоидные ($2n = 84$) и пентаплоидные ($2n = 105$) организмы [1, 29]. Увеличение числа хромосом, как правило, способствует увеличению размера клеток, что может привести к изменению морфологии, а именно – к увеличению биометрических параметров [28, 30].

Для популяций оз. Кулундинское, Кучукское и Малое Яровое был установлен широкий спектр чисел хромосом в клетках науплиусов артемии – от гаплоидного до пентаплоидного. У рачков, обитающих в оз. Малое Яровое (2006 г.), 73,7 % диплоидных ($2n$), 13,2 % триплоидных ($3n$), 2,3 % тетраплоидных ($4n$), 0,8 % пентаплоидных ($5n$) особей; в оз. Кучукское (2006 г.) 21,0 % диплоидных; 20,0 % триплоидных; 51,0 % тетраплоидных и 6,0 % пентаплоидных особей. Популяция оз. Кулундинское

(2002, 2003 гг.) преимущественно (93,0–97,6 %) состоит из диплоидных рачков [30]. Полученные нами данные показали, что цисты артемии из оз. Кулундинское имеют меньший размер, чем в оз. Кучукское и Малое Яровое. В настоящее время взаимосвязь между степенью плоидности и размером цист не доказана, и их размер, скорее всего, обусловлен совокупным влиянием степени плоидности и параметров среды обитания популяции.

Соленость среды обитания – одна из наиболее важных переменных гипергалинных озер, которая контролирует жизненный цикл популяций артемии [31]. Несмотря на высокую степень эвригалинности артемии, для каждой популяции существует оптимальный (комфортный) диапазон солености, определяющий максимальную выживаемость, скорость роста, продолжительность жизни и продуктивность рачков [7]. В результате многолетних исследований продуктивности озер Алтайского края были определены оптимальные уровни минерализации для продукции цист в 25 популяциях (рис. 5).

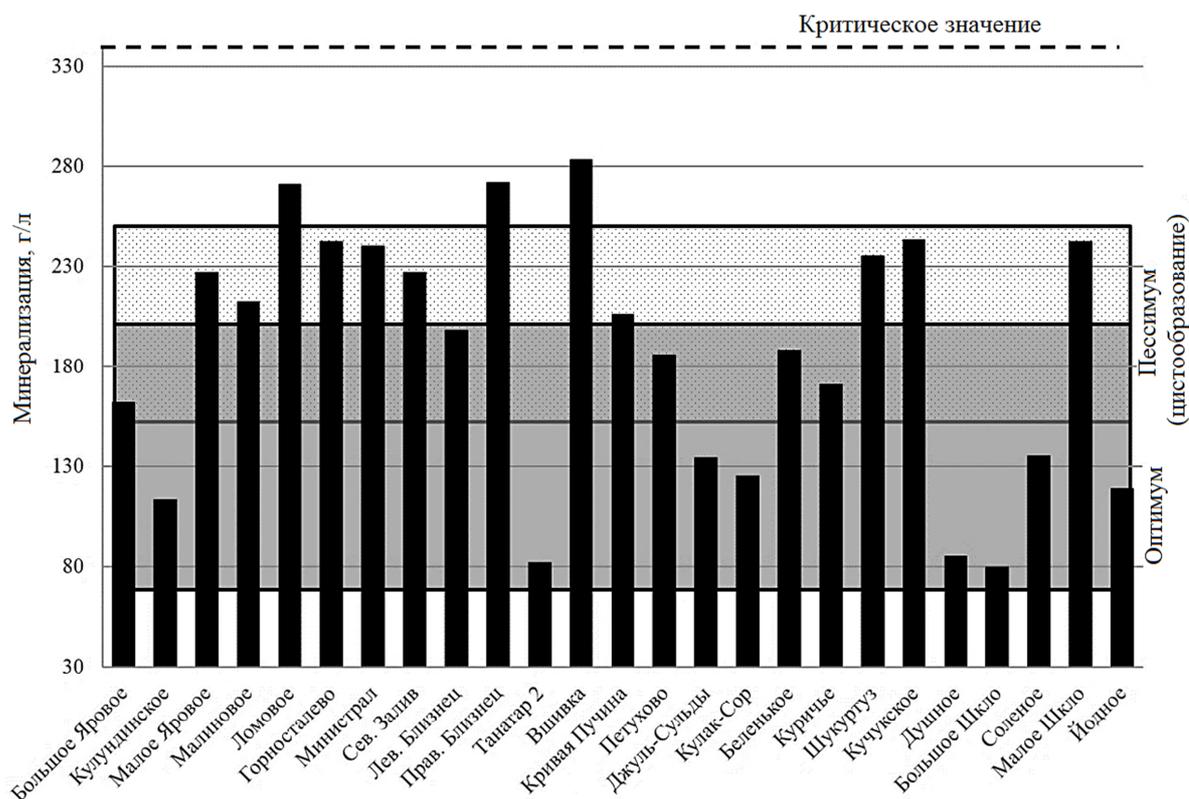


Рис. 5. Уровень минерализации воды в гипергалинных озерах Алтайского края для периода активной жизнедеятельности в популяциях рачка *Artemia* sp.

Fig. 5. Level of water mineralization in hyperhaline lakes of Altai for the period of active life in populations of the crustacean *Artemia* sp.

Уровень солености в среде оказывает значительное влияние на процесс выхода цист из диапаузы и на их выводимость. Для появления науплиусов

в водоеме необходимо значительное разбавление рассолов, которое происходит при поступлении пресной воды с дождями, при таянии снега и льда,

притока пресных поверхностных вод с прибрежной территории. Активный метаболизм в инцистированных эмбрионах артемии может быть инициирован только при низкой солености окружающей среды, способной обеспечить достаточное увлажнение цисты [32].

Полученные нами данные по выведению науплиусов при разной солености согласуются с результатами других авторов, которые показали, что разные популяции артемии могут иметь различный отклик на изменение солености инкубационной среды. В лабораторных экспериментах цисты *A. franciscana* из Португалии показали наибольший выход науплиусов при минерализации 50 г/л, в то время как в популяциях из Испании и США – при 25 г/л [33]. Исследования G. Alal и R. J. Olendi [34] показали влияние различных концентраций поваренной соли (4, 28 и 40 г/л) на выводимость и выживаемость науплиусов *A. salina* (Linnaeus, 1758). Наибольший выход науплиусов и значительно большая выживаемость (50 дней) оказалась у науплиусов, инкубированных при солености 40 г/л. У науплиусов, инкубированных при солености 28 и 4 г/л, выживаемость науплиусов составила 9 дней и 22 ч соответственно.

Сравнительные исследования выводимости цист различного происхождения показывают значительное варьирование процента, скорости, эффективности выведения и выживаемости науплиусов при различной солености. В то же время температура,

освещенность и pH могут изменять действие солености на всех этапах жизни жаброногих ракообразных [35, 36].

Заключение

Установлены достоверные межпопуляционные различия биометрических характеристик *Artemia* sp. во всех изученных озерах. Вариабельность биометрических параметров науплиусов и цист артемии обусловлена обнаруженными в исследовании физико-химическими различиями условий обитания каждой изученной популяции.

Средние значения диаметра цист исследованных нами популяций находились в пределах $237,4 \pm 11,8$ (оз. Малиновое) – $250,6 \pm 14,3$ мкм (оз. Кучукское), средние значения линейных размеров науплиусов (Instar I) – в пределах $412,9 \pm 27,4$ (оз. Большое Шкло) – $465,3 \pm 24,6$ мкм (оз. Кучукское). Между размерами цист и науплиусов исследованных популяций артемии установлена высокая положительная корреляционная связь.

Оптимальные параметры среды для выведения науплиусов варьируют в зависимости от происхождения популяции. Различия условий выводимости науплиусов артемии следует принимать во внимание в ходе экспериментов, и особенно для успешной инкубации и культивирования артемии на рыбных предприятиях.

Список источников

1. Abatzopoulos T. J., Beardmore J. A., Clegg J. S., Sorgeloos P. *Artemia: basic and applied biology*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002. 286 p.
2. Van Stappen G., Sui L., Hoa V. N., Tamtin M., Nyonje B., de Medeiros R. R., Sorgeloos P., Gajardo G. Review on integrated production of the brine shrimp *Artemia* in solar salt ponds // *Reviews in Aquaculture*. 2020. V. 12. N. 2. P. 1054–1071. <https://doi.org/10.1111/raq.12371>.
3. Asem A., Eimanifar A., Rastegar-Pouyani N., Hontoria F., De Vos S., Van Stappen G., Shi-Chun Sun. An overview on the nomenclatural and phylogenetic problems of native Asian brine shrimps of the genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea, Anostraca) // *ZooKeys*. 2020. V. 902. P. 1–15. <https://doi.org/10.3897/zookeys.902.34593>.
4. Shadrin N., Anufrieva E. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Russia // *International Journal of Artemia Biology*. 2012. V. 2. N. 1. P. 51–61.
5. Веснина Л. В., Лукерина Г. В., Ронжина Т. О., Савоськин А. В., Сурков Д. А. Морфометрические исследования самцов артемии из разных популяций гипергалинных водоемов Алтайского края // *Рыбное хозяйство*. 2020. № 2. С. 74–80. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2007-03>.
6. Shadrin N., Anufrieva E., Galagovets E. Distribution and historical biogeography of *Artemia* Leach 1819 (Crustacea: Anostraca) in Ukraine // *Int. J. Artemia Biology*. 2012. V. 2. N. 2. P. 30–42.
7. Triantaphyllidis G. V., Pouloupoulou K., Abatzopoulos T. J., Pinto Pérez C. A., Sorgeloos P. Salinity effects on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and lifespan characteristics of a bisexual and a parthenogenetic population of *Artemia* // *Hydrobiologia*. 1995. V. 302. P. 215–227.
8. Asem A., Sun S. SEM study of diversity in the cyst surface topography of nine parthenogenetic *Artemia* (Crustacea: Anostraca) populations from China // *Microscopy Research and Technique*. 2014b. V. 77. P. 1005–1014. <https://doi.org/10.1002/jemt.22429>.
9. Moruzi I. V., Pishchenko E. V., Djakovskay E. E., Kropachev D. V., Bibikov I. V., Vesnina L. V., Tokarev V. S., Farhod R. M. Biochemical Composition of *Artemia* Cysts Used as Food for Juvenile Fish from Different Hypersaline Lakes of the Altai Territory // *Ekoloji*. 2017. V. 26. N. 102. P. 1–4.
10. Sellami I., Ben Naceur H., Kacem A. Study of Cysts Biometry and Hatching Percentage of the Brine Shrimp *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) from the Sebkh of Sidi El Hani (Tunisia) According to Successive Generations // *Aquaculture Studies*. 2020. V. 21. N. 1. P. 41–46. https://doi.org/10.4194/2618-6381-v21_1_05.
11. Zhou J., Huang Z., Guo Y., Sun S. A Comparative Study on the Buoyancy of Resting Eggs from Different *Artemia* Populations, with Emphasis on Its Relationships with Habitat Salinity and Biometric Characters of Resting Eggs // *Environmental Science // Biology Journal of Ocean University of China*. 2022. V. 21. N. 6. P. 1585–1596. <https://doi.org/10.1007/s11802-022-5031-1>.
12. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

13. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. Л. В. Боевой. Ростов н/Д.: НОК, 2009. Ч. 1. 1032 с.
14. Ben Naceur H., Ben Rejeb Jenhani A., Romdhane M. S. Biometrical study of *Artemia* spp. (Anostraca: Artemiidae) cysts harvested from different salt lakes in Tunisia // North-Western Journal of Zoology. 2012. V. 8. N. 2. P. 308–314.
15. Castro J. M., Castro G. M., de Oliveira Costa D., Bridi R. Biometric comparison of four populations of *Artemia franciscana* Kellogg, 1906 (Crustacea: Anostraca) from Mexico and Peru // International Journal of Artemia Biology. 2013. V. 3. N. 1. P. 3–11.
16. Rahman M., Sorgeloos P. A training manual on Artemia cyst hatching and decapsulation. WorldFish, 2022. 32 p.
17. Пат. РФ № 2352108С2. Способ получения науплий артемии и композиция для осуществления способа / Клепиков Р. А.; заявл. 30.12.2004; опублик. 20.04.2009.
18. Никаноров А. М. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 351 с.
19. Asem A., Sun S. Biometric characterization of Chinese parthenogenetic *Artemia* (Crustacea: Anostraca) cysts, focusing on its relationship with ploidy and habitat altitude // North-Western Journal of Zoology. 2014. V. 10. N. 1. P. 149–157.
20. Triantaphyllidis G. V., Abatzopoulos T. J., Miasa E., Sorgeloos P. Characterization of two *Artemia* populations from Namibia and Madagascar: Cytogenetics, biometry, hatching characteristics and fatty acid profile // Hydrobiologia. 1996. V. 335. P. 97–106.
21. Соловов В. П., Студеникина Т. Л. Рачок артемия в озерах Западной Сибири: морфология, экология, перспективы хозяйственного использования. Новосибирск: Наука, 1990. 42 с.
22. Mueller C. A., Willis E., Burggren W. W. Salt sensitivity of the morphometry of *Artemia franciscana* during development: a demonstration of 3D critical windows // Journal of Experimental Biology. 2016. V. 219. P. 571–581. <https://doi.org/10.1242/jeb.125823>.
23. Abatzopoulos T. J., Agh N., Van Stappen G., Razavi Rouhani S. M., Sorgeloos P. Artemia sites in Iran // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 2006. V. 86. N. 2. P. 299–307. <https://doi.org/10.1017/S0025315406013154>.
24. Старовойтова Д. А., Бурмистрова О. С. Размеры цист и микроморфология поверхности хориона цист в популяции артемии озера Малое Яровое // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования: сб. науч. ст. Междунар. конф. (Барнаул, 14–17 ноября 2017 г.). Барнаул: Изд-во Алтайс. гос. ун-та, 2017. С. 1440–1446.
25. Vanhaecke P., Sorgeloos P. The biometrics of Artemia strains from different geographical origin // The Brine Shrimp Artemia. Wetteren: Universa Press, 1980. V. 3. Ecology. Culturing, Use in Aquaculture. P. 393–405.
26. Abatzopoulos T. J., Zhang B., Sorgeloos P. Artemia tiberiana: preliminary characterization of a new Artemia species found in Tibet (People's Republic of China). International Study on Artemia. LIX // International Journal of Salt Lake Research. 1998. V. 7. P. 41–44.
27. Abatzopoulos T. J., Baxevanis A. D., Triantaphyllidis G. V., Criel G., Pador E. L., Van Stappen G., Sorgeloos P. Quality evaluation of *Artemia urmiana* Günther (Urmia Lake, Iran) with special emphasis on its particular cyst characteristics (International Study on Artemia LXIX) // Aquaculture. 2006. V. 254. Iss. 1–4. P. 442–454. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.007>.
28. Triantaphyllidis G. V., Abatzopoulos T. J., Miasa E., Sorgeloos P. Characterization of two Artemia populations from Namibia and Madagascar: Cytogenetics, biometry, hatching characteristics and fatty acid profile // Hydrobiologia. 1996. V. 335. P. 97–106.
29. Егоркина Г. И., Павлова Е. К., Верещагин А. Л., Бычин Н. В., Кириллов В. В., Романова Н. С. К вопросу об идентификации партеногенетических популяций артемии в Сибирском регионе // Вестн. Алтайс. гос. ун-та. 2008. Т. 6. № 44. С. 44–46.
30. Егоркина Г. И., Романова Н. С., Bender Yu. A. Micromorphology of cyst chorion surface in Artemia parthenogenetic races of West Siberia: its functional and ecological importance // Advances in zoology research. 2012. V. 1. N. 6. P. 132–154.
31. Browne R. A., Wanigasekera G. Combined effects of salinity and temperature on survival and reproduction of five species of Artemia // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2000. V. 244. N. 1. P. 29–44. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(99\)00125-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00125-2).
32. Rahman M. M., Hoa N. V., Sorgeloos P. Handbook for Artemia pond culture In Bangladesh. Malaysia: WorldFish, 2022. 72 p.
33. Speer F. W., Weider L. J. Examining population-specific hatching cues of salinity and light for *Artemia franciscana* // Hydrobiologia. 2018. V. 805. N. 1. P. 391–397. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3326-9>.
34. Alal G., Olendi R. J. Effect of different salinity levels on the hatchability and survival of brine shrimp, *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) from Malindi, Kenya // African Journal of Education, Science and Technology. 2014. V. 3. N. 4. P. 1–6. <https://doi.org/10.2022/ajest.v3i4.35>.
35. Abatzopoulos T. J., El-Bermawi N., Vasdekis C., Baxevanis A. D., Sorgeloos P. Effects of salinity and temperature on reproductive and life span characteristics of clonal Artemia. International Study on Artemia. LXVI // Hydrobiologia. 2003. V. 492. P. 191–199. <https://doi.org/10.1023/A:1024826702830>.
36. Nargesi E. A., Falahatkar B., Abdollahpour H. The interaction of light intensity and pH on the hatching performance of *Artemia franciscana* in laboratory condition (in Persian) // Journal of Aquatic Ecology. 2017. V. 6. N. 4. P. 124–129.

References

1. Abatzopoulos T. J., Beardmore J. A., Clegg J. S., Sorgeloos P. *Artemia: basic and applied biology*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2002. 286 p.
2. Van Stappen G., Sui L., Hoa V. N., Tamtin M., Nyonje B., de Medeiros R. R., Sorgeloos P., Gajardo G. Review on integrated production of the brine shrimp Artemia in solar salt ponds. *Reviews in Aquaculture*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 1054–1071. <https://doi.org/10.1111/raq.12371>.
3. Asem A., Eimanifar A., Rastegar-Pouyani N., Hontoria F., De Vos S., Van Stappen G., Shi-Chun Sun. An overview on the nomenclatural and phylogenetic problems of native Asian brine shrimps of the genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea, Anostraca). *ZooKeys*, 2020, vol. 902, pp. 1–15. <https://doi.org/10.3897/zookeys.902.34593>.
4. Shadrin N., Anufrieva E. Review of the biogeography of Artemia Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Russia.

International Journal of Artemia Biology, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 51-61.

5. Vesnina L. V., Lukerina G. V., Ronzhina T. O., Savos'kin A. V., Surkov D. A. Morfometricheskie issledovaniia samtsov artemii iz raznykh populiatsii gipergalinykh vodoemov Altaiskogo kraia [Morphometric studies of artemia males from different populations of hyperhaline reservoirs of the Altai Territory]. *Pybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 2, pp. 74-80. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2007-03>.

6. Shadrin N., Anufrieva E., Galagovets E. Distribution and historical biogeography of Artemia Leach 1819 (Crustacea: Anostraca) in Ukraine. *Int. J. Artemia Biology*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 30-42.

7. Triantaphyllidis G. V., Pouloupoulou K., Abatzopoulos T. J., Pinto Pérez C. A., Sorgeloos P. Salinity effects on survival, maturity, growth, biometrics, reproductive and lifespan characteristics of a bisexual and a parthenogenetic population of Artemia. *Hydrobiologia*, 1995, vol. 302, pp. 215-227.

8. Asem A., Sun S. SEM study of diversity in the cyst surface topography of nine parthenogenetic Artemia (Crustacea: Anostraca) populations from China. *Microscopy Research and Technique*, 2014b, vol. 77, pp. 1005-1014. <https://doi.org/10.1002/jemt.22429>.

9. Moruzi I. V., Pishchenko E. V., Djakovskaya E. E., Kropachev D. V., Vibikov I. V., Vesnina L. V., Tokarev V. S., Farhod R. M. Biochemical Composition of Artemia Cysts Used as Food for Juvenile Fish from Different Hypersaline Lakes of the Altai Territory. *Ekoloji*, 2017, vol. 26, no. 102, pp. 1-4.

10. Sellami I., Ben Naceur H., Kacem A. Study of Cysts Biometry and Hatching Percentage of the Brine Shrimp Artemia salina (Linnaeus, 1758) from the Sebkhah of Sidi El Hani (Tunisia) According to Successive Generations. *Aquaculture Studies*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 41-46. https://doi.org/10.4194/2618-6381-v21_1_05.

11. Zhou J., Huang Z., Guo Y., Sun S. A Comparative Study on the Buoyancy of Resting Eggs from Different Artemia Populations, with Emphasis on Its Relationships with Habitat Salinity and Biometric Characters of Resting Eggs Environmental Science. *Biology Journal of Ocean University of China*, 2022, vol. 21, no. 6, pp. 1585-1596. <https://doi.org/10.1007/s11802-022-5031-1>.

12. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Pod redaktsiei V. A. Abakumova. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992. 318 p.

13. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi* [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters]. Pod redaktsiei L. V. Boevoi. Rostov-on-Don, NOK Publ., 2009. Part 1. 1032 p.

14. Ben Naceur H., Ben Rejeb Jenhani A., Romdhane M. S. Biometrical study of Artemia spp. (Anostraca: Artemiidae) cysts harvested from different salt lakes in Tunisia. *North-Western Journal of Zoology*, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 308-314.

15. Castro J. M., Castro G. M., de Oliveira Costa D., Bridi R. Biometric comparison of four populations of Artemia franciscana Kellogg, 1906 (Crustacea: Anostraca) from Mexico and Peru. *International Journal of Artemia Biology*, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 3-11.

16. Rahman M., Sorgeloos P. *A training manual on Artemia cyst hatching and decapsulation*. WorldFish, 2022. 32 p.

17. Klepikov R. A. *Sposob polucheniia nauplii artemii i kompozitsiia dlia osushchestvleniia sposoba* [A method for

obtaining artemia nauplium and a composition for implementing the method]. Patent RF № 2352108C2; 20.04.2009.

18. Nikanorov A. M. *Gidrokhiimiia* [Hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989. 351 p.

19. Asem A., Sun S. Biometric characterization of Chinese parthenogenetic Artemia (Crustacea: Anostraca) cysts, focusing on its relationship with ploidy and habitat altitude. *North-Western Journal of Zoology*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 149-157.

20. Triantaphyllidis G. V., Abatzopoulos T. J., Miasa E., Sorgeloos P. Characterization of two Artemia populations from Namibia and Madagascar: Cytogenetics, biometry, hatching characteristics and fatty acid profile. *Hydrobiologia*, 1996, vol. 335, pp. 97-106.

21. Solovov V. P., Studenikina T. L. *Rachok artemii v ozerakh Zapadnoi Sibiri: morfologiia, ekologiia, perspektivy khoziaistvennogo ispol'zovaniia* [Artemia crustacean in the lakes of Western Siberia: morphology, ecology, prospects for economic use]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 42 p.

22. Mueller C. A., Willis E., Burggren W. W. Salt sensitivity of the morphometry of Artemia franciscana during development: a demonstration of 3D critical windows. *Journal of Experimental Biology*, 2016, vol. 219, pp. 571-581. <https://doi.org/10.1242/jeb.125823>.

23. Abatzopoulos T. J., Agh N., Van Stappen G., Razavi Rouhani S. M., Sorgeloos P. Artemia sites in Iran. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2006, vol. 86, no. 2, pp. 299-307. <https://doi.org/10.1017/S0025315406013154>.

24. Starovoitova D. A., Burmistrova O. S. Razmery tsist i mikromorfologiia poverkhnosti khoriona tsist v populiatsii artemii ozera Maloe Iarvoe [Cyst sizes and micromorphology of the surface of the chorion of cysts in the artemia population of Lake Maloe Yarvoe]. *Lomonosovskie chteniia na Altae: fundamental'nye problemy nauki i obrazovaniia: sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi konferentsii (Barnaul, 14-17 noiabria 2017 g.)*. Barnaul, Izd-vo Altai. gos. un-ta, 2017. Pp. 1440-1446.

25. Vanhaecke P., Sorgeloos P. *The biometrics of Artemia strains from different geographical origin. The Brine Shrimp Artemia*. Wetteren, Universa Press, 1980. Vol. 3. Ecology. Culturing, Use in Aquaculture. Pp. 393-405.

26. Abatzopoulos T. J., Zhang B., Sorgeloos P. Artemia tiberiana: preliminary characterization of a new Artemia species found in Tibet (People's Republic of China). International Study on Artemia. LIX. *International Journal of Salt Lake Research*, 1998, vol. 7, pp. 41-44.

27. Abatzopoulos T. J., Baxevanis A. D., Triantaphyllidis G. V., Criel G., Pador E. L., Van Stappen G., Sorgeloos P. Quality evaluation of Artemia urmiana Günther (Urmia Lake, Iran) with special emphasis on its particular cyst characteristics (International Study on Artemia LXIX). *Aquaculture*, 2006, vol. 254, iss. 1-4. Pp. 442-454. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.007>.

28. Triantaphyllidis G. V., Abatzopoulos T. J., Miasa E., Sorgeloos P. Characterization of two Artemia populations from Namibia and Madagascar: Cytogenetics, biometry, hatching characteristics and fatty acid profile. *Hydrobiologia*, 1996, vol. 335, pp. 97-106.

29. Egorkina G. I., Pavlova E. K., Vereshchagin A. L., Bychin N. V., Kirillov V. V., Romanova N. S. K voprosu ob identifikatsii partenogeneticheskikh populiatsii artemii v Sibirskom regione [On the identification of parthenogenetic artemia populations in the Siberian region]. *Vestnik Altaiskogo gos-*

darstvennogo universiteta, 2008, vol. 6, no. 44, pp. 44-46.

30. Egorkina G. I., Romanova N. S., Bender Yu. A. Micromorphology of cyst chorion surface in *Artemia* parthenogenetic races of West Siberia: its functional and ecological importance. *Advances in zoology research*, 2012, vol. 1, no. 6, pp. 132-154.

31. Browne R. A., Wanigasekera G. Combined effects of salinity and temperature on survival and reproduction of five species of *Artemia*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2000, vol. 244, no. 1, pp. 29-44. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(99\)00125-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00125-2).

32. Rahman M. M., Hoa N. V., Sorgeloos P. *Handbook for Artemia pond culture In Bangladesh*. Malaysia, WorldFish, 2022. 72 p.

33. Speer F. W., Weider L. J. Examining population-specific hatching cues of salinity and light for *Artemia franciscana*. *Hydrobiologia*, 2018, vol. 805, no. 1, pp. 391-397.

<https://doi.org/10.1007/s10750-017-3326-9>.

34. Alal G., Olendi R. J. Effect of different salinity levels on the hatchability and survival of brine shrimp, *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) from Malindi, Kenya. *African Journal of Education, Science and Technology*, 2014, vol. 3, no. 4, pp. 1-6. <https://doi.org/10.2022/ajest.v3i4.35>.

35. Abatzopoulos T. J., El-Bermawi N., Vasdekis C., Baxevanis A. D., Sorgeloos P. Effects of salinity and temperature on reproductive and life span characteristics of clonal *Artemia*. International Study on *Artemia*. LXVI. *Hydrobiologia*, 2003, vol. 492, pp. 191-199. <https://doi.org/10.1023/A:1024826702830>.

36. Nargesi E. A., Falahatkar B., Abdollahpour H. The interaction of light intensity and pH on the hatching performance of *Artemia franciscana* in laboratory condition (in Persian). *Journal of Aquatic Ecology*, 2017, vol. 6, no. 4, pp. 124-129.

Статья поступила в редакцию 10.11.2023; одобрена после рецензирования 17.01.2024; принята к публикации 14.03.2024
The article was submitted 10.11.2023; approved after reviewing 17.01.2024; accepted for publication 14.03.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Любовь Викторовна Веснина – доктор биологических наук, профессор; главный научный сотрудник артемиевого центра; Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; artemia.vesnina@mail.ru

Наталья Станиславовна Романова – младший научный сотрудник лаборатории водной экологии; Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; na-st@bk.ru

Михаил Владимирович Лассый – инженер лаборатории водной экологии; Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; mihalassy@mail.ru

Юрий Александрович Веснин – инженер артемиевого центра; Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; artemia.vesnina@mail.ru

Дмитрий Михайлович Безматерных – доктор биологических наук, доцент; заместитель директора по научной работе; Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; bezmater@iwep.ru

Lyubov V. Vesnina – Doctor of Biological Sciences, Professor; Head Researcher of *Artemia* center; Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; artemia.vesnina@mail.ru

Natalia S. Romanova – Junior Researcher of the Laboratory of Aquatic Ecology; Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; na-st@bk.ru

Mikhail V. Lassyi – Engineer of the Laboratory of Aquatic Ecology; Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; mihalassy@mail.ru

Yuri A. Vesnin – Engineer of *Artemia* center; Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; artemia.vesnina@mail.ru

Dmitry M. Bezmaternykh – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Deputy Director for Research Work; Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; bezmater@iwep.ru

