

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *ARTEMIA* SPP. (CRUSTACEA: ANOSTRACA) ИЗ РАЗНОТИПНЫХ ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕР ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.В. Веснина, Д.М. Безматерных, М.В. Лассый, Ю.А. Веснин

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Барнаул, Россия

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru

Для цитирования: Морфометрические особенности *Artemia* spp. (Crustacea: Anostraca) из разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири / Л.В. Веснина, Д.М. Безматерных, М.В. Лассый, Ю.А. Веснин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 125–141. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-125-141.

Ключевые слова: артемия, жаброноги, популяции, морфометрические признаки, гипергалинные озера, рапа, Алтайский край.

Реферат. Приведены новые данные о морфометрических характеристиках жаброногих рачков рода *Artemia* из восьми разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири (Алтайский край). Выполнен статистический анализ морфометрических признаков самок и самцов взрослых особей артемии для выяснения отличий популяций. Проведенные измерения длины тела показали четкие различия между популяциями рачков из гипергалинных озер, отличающихся по степени минерализации рапы от 41,2 (оз. Малое Шкло) до 251,4 г/л (оз. Кучукское). Выявлено, что в зависимости от условий среды обитания рачки меняют свои размеры и форму. Наиболее вариabельными у самок и самцов оказались фуркальные признаки: длина фурки *fl* (у самок $C_v = 43,69\%$, у самцов $C_v = 25,47\%$), количество щетинок на правой *sf-r* и левой *sf-l* (у самок $C_v = 79,86\%$; $81,21\%$, у самцов $C_v = 28,56\%$; $29,17\%$) и отношение длины фурки к длине абдомена *fl/al* (у самок $C_v = 49,99\%$, у самцов $C_v = 27,64\%$). На основе морфометрических показателей построена дендрограмма сходства партеногенетических и бисексуальных популяций артемии в разнотипных гипергалинных озерах. Кластерный анализ позволил разделить исследованные популяции на три группы, которые обитают в озерах разного уровня минерализации рапы. Проведен корреляционный анализ морфометрических признаков с соленостью рапы. Показано, что самые сильные корреляционные связи характерны для фуркальных показателей, с отличием в том, что у самок связи отрицательные (*fl*: $r = -0,54$; $p < 0,05$), а у самцов – положительные (*fl*: $r = 0,53$; $p < 0,05$).

MORPHOMETRIC FEATURES OF *ARTEMIA* SPP. (CRUSTACEA: ANOSTRACA) FROM DIFFERENT TYPES OF HYPERHALINE LAKES IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

L.V. Vesnina, D.M. Bezmaternyh, M.V. Lassyi, Yu.A. Vesnin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru

Keywords: fairy shrimp, branchipods, populations, morphometric features, hypersaline lakes, brine, Altai Krai.

Abstract. New data on morphometric characteristics of branchipods crustaceans of the genus *Artemia* from 8 different types of hyperhaline lakes in the south of Western Siberia (Altai Krai) are presented. Statistical analysis of morphometric characters of females and males of adult *Artemia* was performed to clarify the differences between populations. Measurements of body length showed clear differences between populations of crustaceans from hyperhaline lakes differing in the degree of water salinity from 41.2 (Lake Maloe Shklo) to 251.4 g/l (Lake Kuchukskoe). It was revealed that depending on the habitat conditions, the crustaceans change their size and shape. Furcal features were the most variable in females and males: furca length *fl* (females $C_v = 43.69\%$, males $C_v = 25.47\%$), number of bristles on the right *sf-r* and left furca *sf-l* (females $C_v = 79.86\%$; 81.21% , males $C_v = 28.56\%$; 29.17%) and the ratio of furca length to abdominal length *fl/al* (females $C_v = 49.99\%$, males $C_v = 27.64\%$). Based on morphometric indices, a dendrogram of similarity between parthenogenetic and bisexual *Artemia* populations in different types of hyperhaline lakes was constructed. Cluster analysis made it possible to divide the studied populations into 3 groups, which inhabit lakes of different levels of water salinity. Correlation analysis of morphometric characters with water salinity was carried out. It is shown that the strongest correlations

are characteristic for furcal indices, with the difference that in females the correlations are negative ($fl: r = -0.54; p < 0,05$), and in males - positive ($fl: r = 0.53; p = 0,05$).

В связи с изменением климата во многих регионах Земли наблюдается увеличение солености водоемов, что ведет к росту числа гипергалинных озер. Это, в свою очередь, влияет на эффективность их использования в хозяйственной деятельности. Некоторые виды гидробионтов, обитающие в гипергалинных озерах, являются ценными биологическими ресурсами.

Во всем мире науплии *Artemia* spp. используют как стартовый корм в аквакультуре широкого спектра морских и пресноводных ракообразных и личинок рыб. С расширением производства аквакультуры спрос на цисты артемии продолжает расти. В настоящее время ежегодное потребление цист артемии составляет, как минимум, в 3500 т, что оценивается примерно 150 млн дол. США. Этот объем используется для производства более 900 млрд ракообразных и мальков рыб. Кроме того, для кормления разных видов морекультуры используется более 100 тыс. т взрослого рачка артемии стоимостью более 50 млн дол. США [1].

В настоящее время разработаны новые технологии для получения высококачественной продукции из сырья цист артемии, которые приводят к контролируемому и более оптимизированному использованию цист в практике аквакультуры [2].

Рачки артемии характеризуются высокой экологической пластичностью и могут менять свои размеры и форму в зависимости от внешних факторов, основным из которых многие исследователи считают концентрацию солей в воде [3–6].

Морфологические признаки разных популяций артемии изучаются во всем мире для дифференциации и идентификации видов. Кроме того, эти морфометрические различия между особями или популяциями одного и того же вида могут быть обусловлены средой их обитания и/или генотипической изменчивостью [7]. Более ранние исследования по морфометрии и морфологии *Artemia* spp. показали различия морфологических признаков среди популяций, обнаруженных в разных географических районах, особенно в прибрежных районах Индии, Китая, Европы и Африки [8–10]. Авторы из Индии и Тайваня обнаружили 6 морфотипов на основе изучения их морфометрических признаков [11]. По морфометрическим показателям были выявлены отличия самок и самцов артемии Северной Америки и Карибского побережья Колумбии [12]. Ранее проведенные исследования размерно-весовых

характеристик артемии разнотипных озер юга Западной Сибири пока недостаточны для достоверной дифференциации популяций артемии.

Цель исследования – изучение изменчивости морфометрических признаков самцов и самок артемии разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири в зависимости от минерализации рапы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для исследования послужили сборы ракообразных – жаброногого рачка *Artemia* spp. (Crustacea: Anostraca) в период 2024 г. с разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири (Алтайский край): оз. Мормышанское Романовского района ($52^{\circ}30'39''$ с.ш.; $81^{\circ}16'25''$ в.д.); оз. Кучукское Благовещенского района ($52^{\circ}42'06''$ с.ш.; $79^{\circ}46'40''$ в.д.); оз. Кулундинское Благовещенского, Суетского районов и г. Славгород ($52^{\circ}58'48''$ с.ш.; $79^{\circ}32'44''$ в.д.); оз. Малое Яровое, г. Славгород ($53^{\circ}02'39''$ с.ш.; $79^{\circ}07'37''$ в.д.); оз. Большое Яровое, г. Славгород ($52^{\circ}52'09''$ с.ш.; $78^{\circ}36'53''$ в.д.); оз. Малое Шкло Кулундинского района ($52^{\circ}34'20''$ с.ш.; $79^{\circ}02'47''$ в.д.); оз. Танатар III Михайловского района ($51^{\circ}39'18''$ с.ш.; $79^{\circ}47'39''$ в.д.); оз. Малиновое Михайловского района ($51^{\circ}42'10''$ с.ш.; $79^{\circ}44'49''$ в.д.) (рис. 1).

Сбор гидробиологического материала осуществляли малой планктонной сетью Апштейна (размер ячеи 64 мкм) и камерально обрабатывали в соответствии со стандартными методиками [13]. Консервацию проб проводили 4%-м раствором формалина.

Для морфометрического анализа всего было изучено 638 самок и 150 самцов рачка артемии партеногенетических и бисексуальных популяций. Анализ проводили по 14 морфометрическим признакам, из которых девять пластических: длина тела tl , длина цефалоторакса cl , длина абдомена al , ширина абдомена aw , расстояние между глазами de , диаметр глаз ed , длина первой антенны la , ширина головной капсулы hw , длина фурки fl ; и пять меристических: отношение длины абдомена к длине тела al/tl , отношение длины цефалоторакса к длине абдомена cl/al , отношение длины фурки к длине абдомена fl/al , количество щетинок на правой и левой фурках $sf-r$, $sf-l$. Обработку проб проводили с использованием стереомикроскопа МБС-10 с окуляр-микрометром.

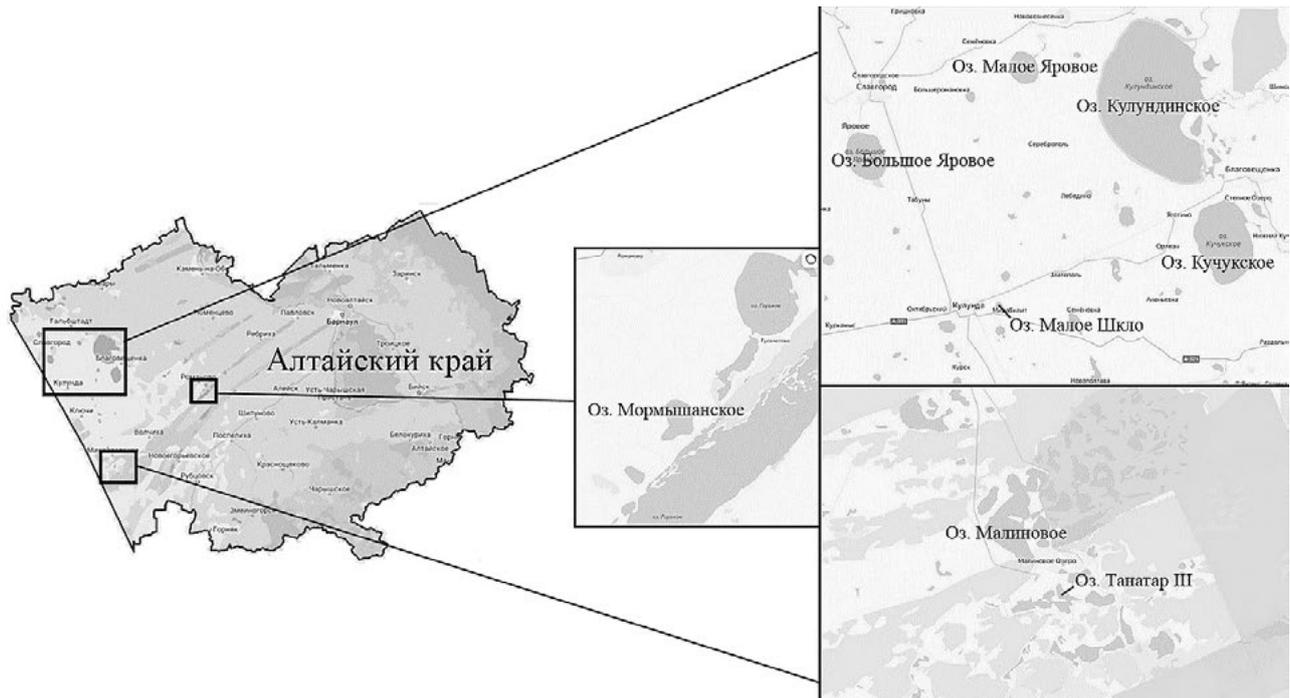


Рис. 1. Карта-схема расположения гипергалинных озер юга Западной Сибири
Map-scheme of the location of hyperhaline lakes in the south of Western Siberia

По данным ДНК-баркодинга [14], выполненного в отделе биотехнологий Алтайского государственного университета, популяции артемии из озер Мормышанское, Кулундинское, Малое Яровое, Большое Яровое и Малиновое относятся к партеногенетическим. Они соответствуют последовательности, которая обозначена в GenBank NCBI 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 [15]. Популяции из озер Кучукское, Малое Шкло и Танатар III относятся к бисексуальным. Они соответствуют последовательности, которая обозначена в GenBank NCBI как *Artemia* sp. Kazakhstan.

Для видовой идентификации образцов амплифицировали фрагмент гена COI мтДНК с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) с использованием пар праймеров – прямой LCO-1490 (GGTCAACAATCATAAAGATATTGG) и обратный HCO-2198 (TAAACTTCAGGGTGACSAAAAAATCA) [16].

Параллельно с отбором проб определяли соленость рапы с помощью портативного рефрактометра ATAGO (Kenco Instruments Co., USA),

температуру воды – с помощью пирометра UNI-T UT300A.

Статистическую обработку данных выполняли по общепринятым методикам [17] с применением программ MS Excel и Statistica 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные нами гипергалинные озера юга Западной Сибири характеризуются различными абиотическими и биотическими факторами, которые оказывают воздействие на жизнедеятельность гидробионтов. Доминирующим обитателем большинства этих озер выявлен жаброногий рачок *Artemia* spp. Исключением было оз. Кулундинское, где доминировала солоноватоводная фауна. Флуктуирующее значение минерализации рапы в озерах оказывает воздействие на динамику численных показателей, а также различий морфометрических признаков ракообразных [18–20]. Минерализация рапы определяет многие абиотические характеристики водоемов и значима для жизнедеятельности жаброногого рачка. Слишком высокая или низкая минерализация рапы проявляется в угнетении роста, развития и размножения артемии [21].

На юге Западной Сибири описано большое количество различных популяций артемии. Их таксономическое исследование продолжается, видовой статус артемии определен в небольшом количестве популяций [22–24]. Большое количество малых озер в этом регионе приводит к образованию многочисленных изолированных популяций, которые иногда называют расами, зачастую остающимися без точного видового статуса [25]. Известно, что степень генетической дифференциации находится в прямой зависимости от продолжительности изоляции и действия направленного отбора [26, 27]. Высокая пластичность артемии приводит к тому, что внешний вид рачков меняется в зависимости от изменения условий обитания. При этом меняется не только морфология, но и особенности размножения и соотношение полов [28, 29].

Нами определена видовая принадлежность артемии из восьми обследованных гипергалинных озер юга Западной Сибири. Изученные партеногенетические популяции относились к *A. parthenogenetica* (Кулундинское, Малиновое, Большое Шкло и Большое Яровое), а бисексуальные – к *Artemia* sp. Kazakhstan (Кучукское, Танатар и Малое Шкло).

Географическое расположение и основные характеристики исследованных озер представлены в табл. 1. Акватория исследованных озер сильно различалась. К крупным по площади водоемам можно отнести озера Кулундинское и Кучукское. Все озера мелководные, максимальная глубина отмечена в озерах Большое Яровое (7,4 м) и Малое Яровое (5,0 м). Минерализация исследованных озер также сильно различалась с диапазоном колебаний от 41,2 (оз. Малое Шкло) до 251,4 г/л (оз. Кучукское).

Таблица 1

Основные характеристики гипергалинных озер юга Западной Сибири
Main characters of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

Озеро	Площадь, км ²	Высота над уровнем моря, м	Глубина, м		Минерализация, г/л
			средняя	max	
Мормышанское	5,4	192	1,0	1,9	159,3
Кучукское	181,0	98	2,3	3,3	251,4
Кулундинское	728,0	99	3,2	4,9	57,2
Малое Яровое	35,2	92	2,8	5,0	152,4
Большое Яровое	66,7	79	4,4	7,4	130,4
Малое Шкло	1,3	117	0,5	1,2	41,2
Танатар III	11,0	149	0,9	1,9	110,0
Малиновое	11,4	152	1,0	2,3	162,4

Анализ пластических и меристических признаков половозрелых особей артемии из разнотипных гипергалинных озер выявил ряд особенностей у самцов и самок партеногенетических и бисексуальных популяций.

Наиболее вариabельными признаками у самок рачка артемии обоих видов оказались фуркальные показатели: длина фурки *fl*, отношение длины фурки к абдомену *fl/al*, количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r*, *sf-l*. Коэффициент вариации этих признаков изменялся от 29,54 до 60,75 % (*A. parthenogenetica*) и от 55,29 до 84,14 (*Artemia* sp. Kazakhstan) (табл. 2). Самки *Artemia* sp. Kazakhstan характеризовались большей вариabельностью, чем *A. parthenogenetica*. Меньше всего варьировали показатели длины тела *tl*,

длины цефалоторакса *cl*, ширины абдомена *aw*, расстояния между глазами *de*, диаметра глаза *ed*, ширины головы *hw*, отношение длины цефалоторакса к длине абдомена *cl/al* и отношения длины абдомена к длине тела *al/tl* – коэффициент вариации был ниже 20 %. По данным других авторов [30], в гипергалинных водоемах Крыма выявлена подобная вариabельность признаков с коэффициентом вариации от 76,62 до 108,80 %, за исключением признаков ширины абдомена *aw*, ширины головы *hw*, отношения длины цефалоторакса к длине абдомена *cl/al* с коэффициентами вариации ниже 20 %.

Морфометрические признаки самок артемии *A. parthenogenetica* и *Artemia* sp. Kazakhstan в гипергалинных озерах юга Западной Сибири
Morphometric characters of the *A. parthenogenetica* and *Artemia* sp. Kazakhstan females in the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

Морфометрический параметр	Размер, мм			σ	C _v	Выборка, экз.
	X _{min}	X _{max}	X̄			
<i>Artemia parthenogenetica</i>						
Общая длина тела <i>tl</i> , мм	6,80	15,65	9,87	1,64	16,61	406
Длина абдомена <i>al</i> , мм	3,35	9,60	5,53	1,14	20,74	406
Ширина абдомена <i>aw</i> , мм	0,25	0,65	0,43	0,07	17,25	406
Длина цефалоторакса <i>cl</i> , мм	2,65	6,25	4,16	0,61	14,72	406
Длина фурки <i>fl</i> , мм	0,07	0,41	0,20	0,06	29,54	406
Длина антенны I <i>la</i> , мм	0,50	1,50	0,87	0,18	20,11	406
Расстояние между глазами <i>de</i> , мм	0,65	2,10	1,32	0,23	17,61	406
Ширина головы <i>hw</i> , мм	0,45	1,25	0,76	0,13	17,08	406
Диаметр глаза <i>ed</i> , мм	0,14	0,41	0,25	0,04	15,92	406
Длина цефалоторакса к абдомену <i>cl/al</i>	0,49	1,50	0,77	0,12	15,10	406
Длина абдомена к длине тела <i>al/tl</i>	0,39	0,74	0,56	0,04	7,13	406
Длина фурки к абдомену <i>fl/al</i>	0,01	0,09	0,04	0,01	35,82	406
Кол-во щетинок на правой фурке <i>sf-r</i> , шт.	0,00	14,00	4,08	2,32	56,91	406
Кол-во щетинок на левой фурке <i>sf-l</i> , шт.	0,00	15,00	4,11	2,50	60,75	406
<i>Artemia</i> sp. Kazakhstan						
Общая длина тела <i>tl</i> , мм	6,25	13,9	9,21	1,28	13,91	232
Длина абдомена <i>al</i> , мм	3,10	8,35	4,88	0,86	17,57	232
Ширина абдомена <i>aw</i> , мм	0,20	0,65	0,39	0,07	18,76	232
Длина цефалоторакса <i>cl</i> , мм	2,85	5,90	4,10	0,56	13,54	232
Длина фурки <i>fl</i> , мм	0,03	0,51	0,23	0,13	55,29	232
Длина антенны I <i>la</i> , мм	0,50	1,50	0,86	0,21	24,13	232
Расстояние между глазами <i>de</i> , мм	0,85	2,15	1,37	0,24	17,62	232
Ширина головы <i>hw</i> , мм	0,45	1,25	0,76	0,15	19,33	232
Диаметр глаза <i>ed</i> , мм	0,10	0,40	0,27	0,05	17,05	232
Длина цефалоторакса к абдомену <i>cl/al</i>	0,37	1,25	0,85	0,13	14,82	232
Длина абдомена к длине тела <i>al/tl</i>	0,42	0,67	0,52	0,04	7,29	232
Длина фурки к абдомену <i>fl/al</i>	0,01	0,13	0,05	0,03	57,42	232
Кол-во щетинок на правой фурке <i>sf-r</i> , шт.	0,00	19,00	6,58	5,51	83,73	232
Кол-во щетинок на левой фурке <i>sf-l</i> , шт.	0,00	20,00	6,60	5,55	84,14	232

Примечание. X_{min} – минимальное значение, X_{max} – максимальное значение, X̄ – среднее значение, σ – стандартное отклонение, C_v – коэффициент корреляции.

По нашим данным, у самцов рачка артемии, как и у самок, наиболее вариабельными оказались фуркальные показатели: длина фурки *fl*, отношение длины фурки к абдомену *fl/al*, количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r*, *sf-l*. Коэф-

фициент вариации этих признаков изменялся от 25,47 до 29,17 %, что определяет их пониженную вариабельность по сравнению с самками (табл. 3). У остальных признаков, кроме длины антенны I *la*, данный показатель был ниже 20 %. По дан-

ным из озер Крыма [30], длина антенны *la* самцов была слабоварьирующей, с коэффициентом вариации ниже 20 %. По нашим данным, вариация этого признака составляла 24,70 %. Кроме того, коэффициенты вариации общей длины тела *tl*,

длины абдомена *al* и отношения длины цефалоторакса к длине абдомену *cl/al* у самцов крымских популяций составляли соответственно 21,93, 29,84 и 23,79 %, в отличие от самцов популяций юга Западной Сибири (менее 20 %).

Таблица 3

Морфометрические признаки самцов *Artemia* sp. Kazakhstan в гипергалинных озерах юга Западной Сибири
Morphometric characters of the *Artemia* sp. Kazakhstan males in the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

Морфометрический параметр	Размер, мм			σ	C _v	Выборка, экз.
	X _{min}	X _{max}	X			
Общая длина тела <i>tl</i> , мм	6,00	11,05	8,10	1,07	13,16	150
Длина абдомена <i>al</i> , мм	2,60	6,45	4,03	0,73	18,05	150
Ширина абдомена <i>aw</i> , мм	0,25	0,50	0,37	0,05	13,65	150
Длина цефалоторакса <i>cl</i> , мм	3,00	4,90	3,75	0,40	10,66	150
Длина фурки <i>fl</i> , мм	0,10	0,57	0,32	0,08	25,47	150
Длина антенны I <i>la</i> , мм	0,55	1,85	1,03	0,26	24,70	150
Расстояние между глазами <i>de</i> , мм	0,75	2,25	1,55	0,26	16,84	150
Ширина головы <i>hw</i> , мм	0,50	1,30	0,80	0,13	15,94	150
Диаметр глаза <i>ed</i> , мм	0,20	0,51	0,35	0,06	18,13	150
Длина цефалоторакса к абдомену <i>cl/al</i>	0,64	1,37	0,95	0,13	14,06	150
Длина абдомена к длине тела <i>al/tl</i>	0,40	0,58	0,50	0,03	7,00	150
Длина фурки к абдомену <i>fl/al</i>	0,03	0,15	0,08	0,03	27,64	150
Кол-во щетинок на правой фурке <i>sf-r</i> , шт.	4,00	22,00	12,54	3,58	28,56	150
Кол-во щетинок на левой фурке <i>sf-l</i> , шт.	3,00	22,00	12,73	3,71	29,17	150

Примечание. X_{min} – минимальное значение, X_{max} – максимальное значение, X – среднее значение, σ – стандартное отклонение, C_v – коэффициент корреляции.

Сравнительный анализ изменчивости морфометрических признаков половозрелых особей артемии позволил выявить особенности отдельных частей тела у самок и самцов. Такие показатели, как длина тела *tl*, цефалоторакса *cl*, длина *al* и ширина *aw* абдомена, отношение длины абдомена к длине тела *al/tl* были выше у самок. Самки вида *A. parthenogenetica* по тем же признакам крупнее, чем самки вида *Artemia* sp. Kazakhstan. Длина антенны I *la*, расстояние между глазами *de*, диаметр глаза *ed*, длина фурки *fl*, длина цефалоторакса к длине абдомена *cl/al*, длины фурки к длине абдомена *fl/al* преобладали у самцов. Количество щетинок на фуркальных ветвях *sf-r*, *sf-l* у самок было в 2 раза меньше, чем у самцов. Ширина головы *hw* у самок и самцов имела лишь незначительную разницу. Подобная разница наблюдается между самками двух видов. Вышеперечисленные признаки преобладали у самок вида *Artemia* sp. Kazakhstan.

По морфометрическим данным были построены гистограммы частотного распределения и определена нормальность по критерию Шапиро–Уилка. Все изученные признаки у половозрелых самок *A. parthenogenetica* имели непараметрическое распределение, 13 из которых обладали правосторонней асимметрией (рис. 2).

Все изученные признаки у половозрелых самок *Artemia* sp. Kazakhstan имели непараметрическое распределение, кроме отношения длины цефалоторакса к длине абдомена *cl/al* и отношения длины абдомена к длине тела *al/tl* (рис. 3).

Распределение изученных параметров у половозрелых самцов оказалось неоднозначным. Непараметрическое распределение было выявлено у длины тела *tl*, ширины абдомена *aw*, длины антенны *la*, длины головы *hw*, количества щетинок на правой фурке *sf-r*. Данные признаки также обладали правосторонней асимметрией. Остальные признаки имели нормальное распределение (рис. 4).

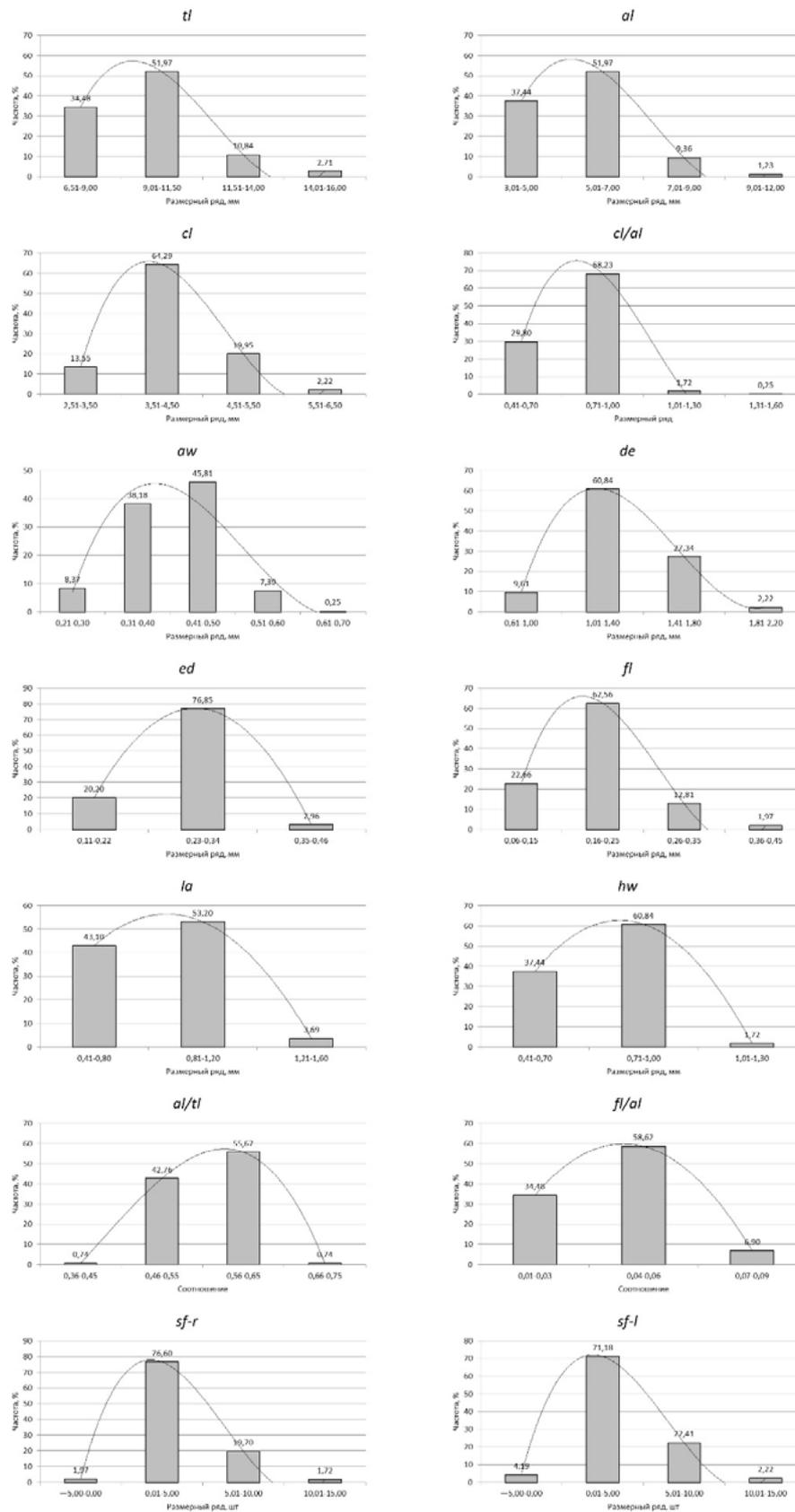


Рис. 2. Гистограммы распределения морфометрических показателей половозрелых самок *A. parthenogenetica* гипергалинных озер юга Западной Сибири
 Histograms of distribution of morphometric parameters of mature females of *A. parthenogenetica* in hypersaline lakes of the south of Western Siberia

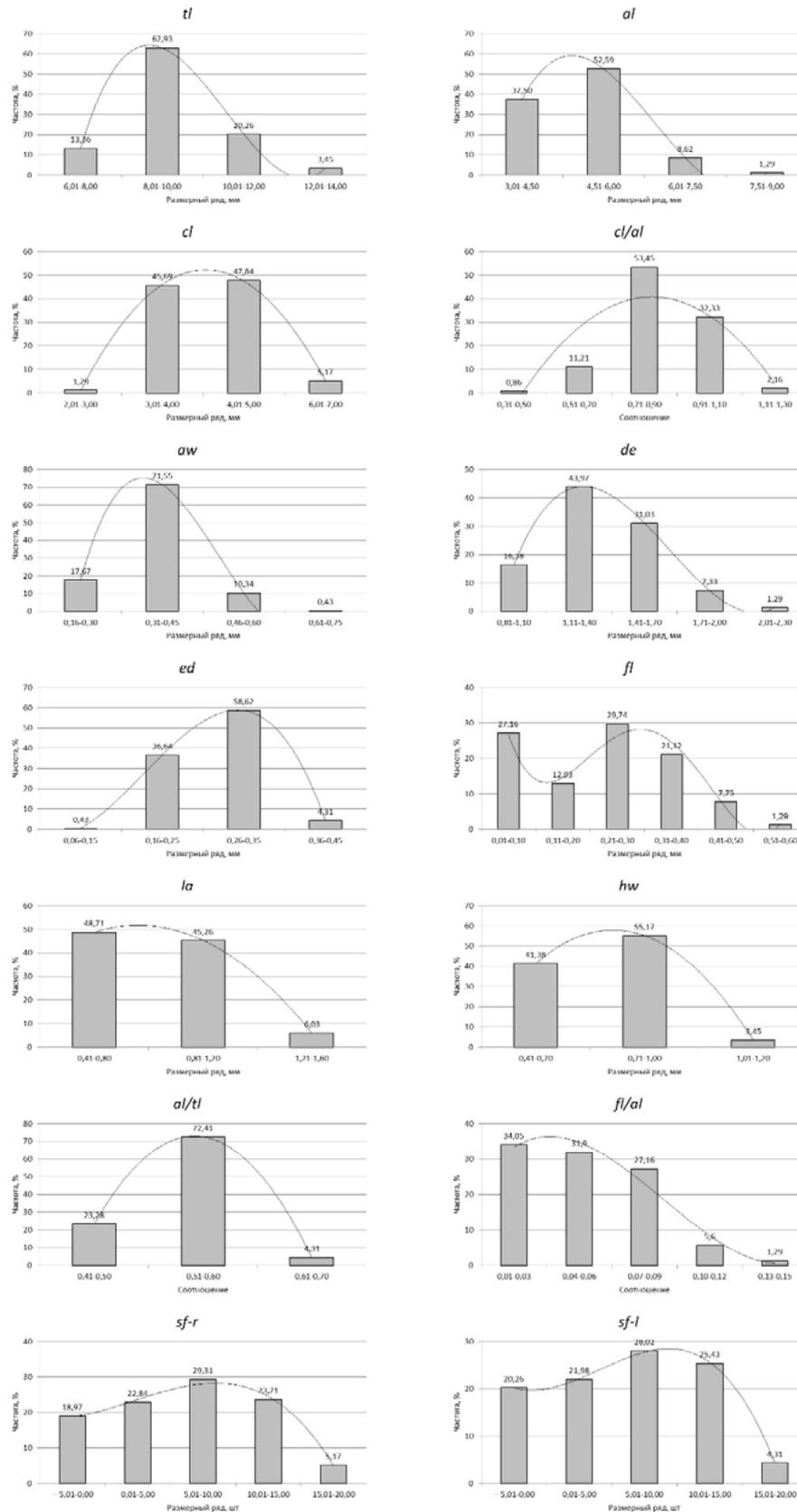


Рис. 3. Гистограммы распределения морфометрических показателей половозрелых самок *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири
 Histograms of distribution of morphometric parameters of mature females *Artemia* sp. Kazakhstan hyperhaline lakes of the south of Western Siberia

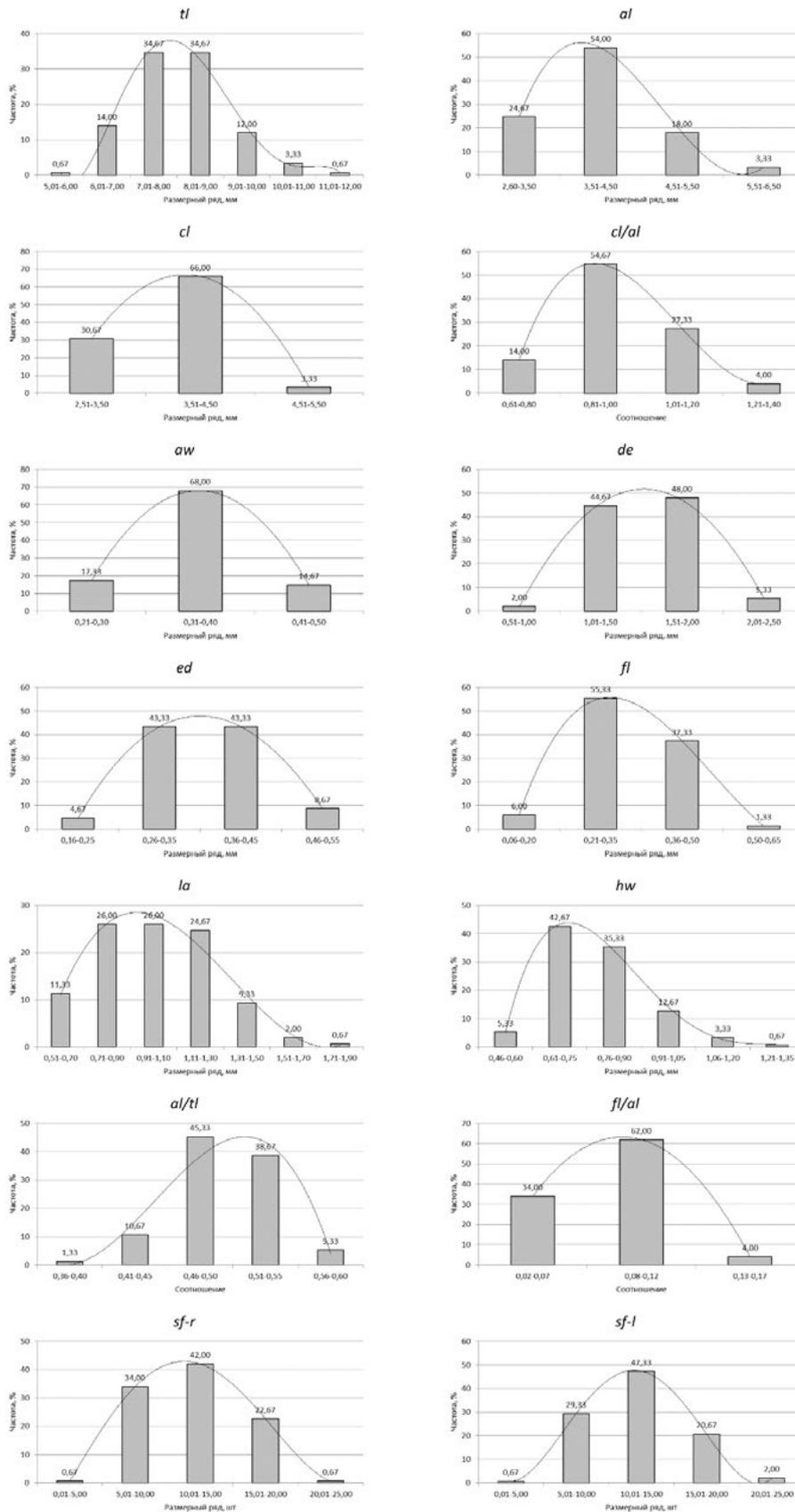


Рис. 4. Гистограммы распределения морфометрических показателей половозрелых самцов *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири

Histograms of distribution of morphometric parameters of mature males of *Artemia* sp. Kazakhstan hyperhaline lakes of the south of Western Siberia

Корреляционный анализ Спирмена признаков у самок *A. parthenogenetica* показал разную степень зависимости признаков. Длина тела находится в сильной положительной корреляции с длиной абдомена ($r = 0,93; p < 0,05$) и длиной цефалоторакса ($r = 0,84; p < 0,05$) (табл. 4). Сильная положительная связь также отмечена между

шириной головы и расстоянием между глазами ($r = 0,80; p < 0,05$), длиной фурки и индексом fl/al ($r = 0,82; p < 0,05$), количеством щетинок на правой и левой фурках ($r = 0,78$). Между индексами cl/al и al/tl наблюдается сильная отрицательная корреляция ($r = -0,99$).

Таблица 4

Корреляционная матрица морфометрических параметров самок *A. parthenogenetica* гипергалинных озер юга Западной Сибири
Correlation matrix for the morphometric parameters of the *A. parthenogenetica* females of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

	tl	al	cl	cl/al	aw	de	ed	fl	la	hw	sf-r	sf-l	al/tl	fl/al
tl	1													
al	0,93	1												
cl	0,84	0,64	1											
cl/al	-0,41	-0,67	0,06	1										
aw	0,42	0,32	0,48	0,03	1									
de	0,65	0,53	0,68	-0,06	0,51	1								
ed	0,61	0,5	0,63	-0,09	0,42	0,63	1							
fl	0,13	0,04	0,13	0,11	0,15	0,17	0,23	1						
la	0,56	0,47	0,55	-0,10	0,39	0,59	0,46	0,19	1					
hw	0,59	0,49	0,63	-0,07	0,55	0,80	0,58	0,12	0,51	1				
sf-r	0,07	0,02	0,09	0,08	0,15	0,19	0,18	0,46	0,16	0,18	1			
sf-l	0,08	0,03	0,08	0,07	0,11	0,18	0,21	0,44	0,18	0,14	0,78	1		
al/tl	0,41	0,68	-0,03	-0,99	-0,02	0,06	0,08	-0,18	0,09	0,07	-0,12	-0,11	1	
fl/al	-0,37	-0,49	-0,23	0,46	-0,06	-0,15	-0,06	0,82	-0,10	-0,16	0,38	0,36	-0,53	1

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции Спирмена ($p < 0,05$).

Такие же корреляционные связи выявлены у самок вида *Artemia* sp. Kazakhstan. Кроме того, обнаружена сильная положительная связь между расстоянием между глазами и диаметром глаза ($r = 0,73; p < 0,05$), длиной фурок и количе-

ством щетинок на правой/левой фурках ($r = 0,89; p < 0,05$) и количеством щетинок на правой/левой фурках и индексом fl/al ($r = 0,87/0,86; p < 0,05$) (табл. 5).

Таблица 5

Корреляционная матрица морфометрических параметров самок *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири
Correlation matrix for the morphometric parameters of the *Artemia* sp. Kazakhstan females of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

	tl	al	cl	cl/al	aw	de	ed	fl	la	hw	sf-r	sf-l	al/tl	fl/al
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
tl	1													
al	0,89	1												
cl	0,84	0,55	1											
cl/al	-0,23	-0,6	0,26	1										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
aw	0,5	0,29	0,58	0,2	1									
de	0,56	0,38	0,61	0,09	0,56	1								
ed	0,56	0,38	0,61	0,11	0,54	0,73	1							
fl	0,3	0,06	0,37	0,27	0,5	0,43	0,39	1						
la	0,52	0,35	0,57	0,1	0,54	0,67	0,54	0,42	1					
hw	0,55	0,34	0,62	0,15	0,65	0,74	0,66	0,64	0,64	1				
sf-r	0,25	0,03	0,33	0,26	0,49	0,41	0,33	0,89	0,4	0,62	1			
sf-l	0,28	0,06	0,34	0,26	0,51	0,42	0,36	0,89	0,39	0,63	0,93	1		
al/tl	0,18	0,57	-0,28	-0,97	-0,28	-0,15	-0,16	-0,45	-0,16	-0,25	-0,43	-0,43	1	
fl/al	0,06	-0,2	0,21	0,43	0,39	0,31	0,26	0,96	0,3	0,53	0,87	0,86	-0,59	1

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции Спирмена ($p < 0,05$).

Структура связей признаков самцов рачка артемии несколько отличалась от самок. Длина тела находилась в сильной положительной корреляции с длиной абдомена ($r = 0,94$; $p < 0,05$) и длиной цефалоторакса ($r = 0,84$; $p < 0,05$) (табл. 6). Сильная положительная связь также отмечена между длиной абдомена и индексом *al/tl* ($r = 0,78$; $p < 0,05$), расстоянием между глазами и диаметром глаз ($r = 0,80$; $p < 0,05$), шириной головы и расстоянием между глазами ($r = 0,70$;

$p < 0,05$), диаметром глаза и шириной головы ($r = 0,73$; $p < 0,05$) количеством щетинок на правой и левой фурках ($r = 0,86$; $p < 0,05$). Длина фурки сильно коррелировала с количеством щетинок на правой и левой фурках ($r = 0,70$ и $r = 0,71$; $p < 0,05$) и с индексом *fl/al* ($r = 0,76$; $p < 0,05$). Сильная отрицательная корреляция наблюдалась между длиной абдомена и индексом *cl/al* ($r = -0,78$; $p < 0,05$) и индексами *cl/al* и *al/tl* ($r = -0,98$; $p < 0,05$).

Таблица 6

Корреляционная матрица морфометрических параметров самцов *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири
Correlation matrix for the morphometric parameters of the *Artemia* sp. Kazakhstan males of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

	tl	al	cl	cl/al	aw	de	ed	fl	la	hw	sf-r	sf-l	al/tl	fl/al
tl	1													
al	0,94	1												
cl	0,84	0,64	1											
cl/al	-0,55	-0,78	-0,07	1										
aw	0,50	0,45	0,43	-0,27	1									
de	0,67	0,55	0,67	-0,20	0,45	1								
ed	0,68	0,57	0,65	-0,26	0,56	0,80	1							
fl	0,32	0,21	0,27	-0,04	0,30	0,46	0,52	1						
la	0,50	0,42	0,47	-0,18	0,38	0,60	0,56	0,36	1					
hw	0,63	0,55	0,58	-0,26	0,50	0,70	0,73	0,45	0,50	1				
sf-r	0,11	0,02	0,11	0,08	0,13	0,27	0,35	0,70	0,22	0,31	1			
sf-l	0,14	0,04	0,15	0,08	0,10	0,28	0,36	0,71	0,23	0,32	0,86	1		
al/tl	0,54	0,78	0,08	-0,98	0,24	0,17	0,21	-0,08	0,14	0,22	-0,18	-0,17	1	
fl/al	-0,29	-0,43	-0,17	0,46	-0,01	0,06	0,11	0,76	0,06	0,04	0,61	0,6	-0,57	1

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции Спирмена ($p < 0,05$).

Кластерный анализ морфометрических показателей самок по среднесезонным значениям девяти пластических и пяти меристических признаков показал принадлежность популяций к трем группам, различающимся по минерализации рапы (рис. 5).

Отдельная группа образована популяцией артемии оз. Малое Шкло (рис. 5). Диапазон минерализации рапы в вегетационный период 2024 г. составил 90,00–120,00 г/л со средним показателем – 105,00±15,00 г/л и коэффициентом вариации 20,20 %.

Вторая группа объединила популяции артемии озер Малое Яровое и Малиновое с диапазоном минерализации рапы от 146,00 до 160,00 г/л, средним показателем 151,75±2,95 г/л и коэффициентом вариации 3,89 %. Третья группа образована популяциями артемии озер Мормышанское, Большое Яровое, Кучукское, Танатар III, Кулундинское. Диапазон минерализации рапы составил 70,00–240,0 г/л со средним значением 132,79±14,97 г/л и коэффициентом вариации 42,19 %.

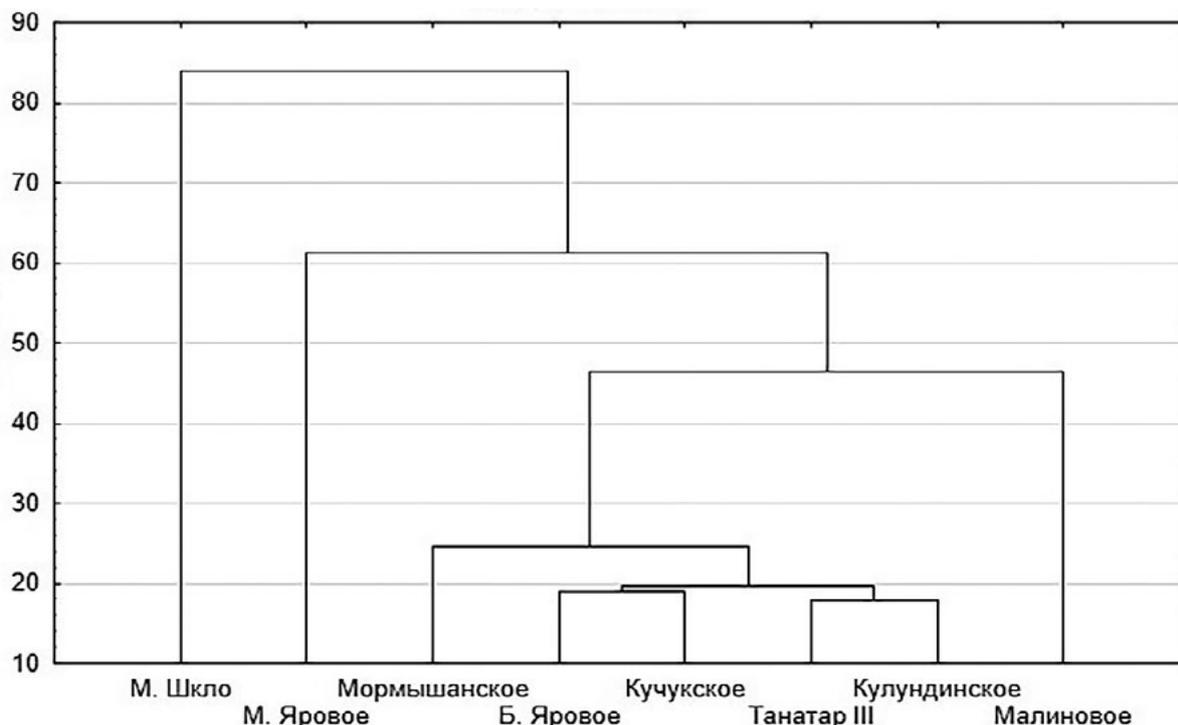


Рис. 5. Дендрограмма сходства морфометрических показателей самок исследованных популяций артемии гипергалинных озер юга Западной Сибири (метод одиночной связи)

Dendrogram of similarity of morphometric parameters of females of the studied Artemia populations of hyperhaline lakes in the south of Western Siberia (single linkage method)

Таким образом, выявлена закономерность влияния минерализации рапы разнотипных озер юга Западной Сибири как основного морфообразующего фактора на рост и развитие жаброногого рачка артемии партеногенетических и бисексуальных популяций. Подобное влияние на морфометрические признаки отмечено для популяций гипергалинных водоемов Западной Сибири [31] и Туниса [32].

Сильнее всего на изменение минерализации реагируют фуркальные показатели самок и самцов артемии. Длина фурок f_l и количество щетинок на фурках sf самок партеногенетических популяций значительно отличаются от бисексуальных (рис. 6). Внутри партеногенетических популяций

исследуемых озер лишь немногие отличаются между собой (Большое Яровое, Кулундинское, Малиновое, Малое Яровое, Мормышанское), в то время как среди бисексуальных популяций выявлена большая разница (Кучукское, Малое Шкло, Танатар III). Самые длинные фурки среди партеногенетических популяций выявлены у самок из озер Кулундинское, Малиновое и Малое Яровое; среди бисексуальных популяций – из озера Танатар III. Самые короткие фурки имеются у самок из озер Большое Яровое и Кучукское. По количеству щетинок на фурках наблюдается схожая закономерность, за исключением самок из оз. Малое Яровое.

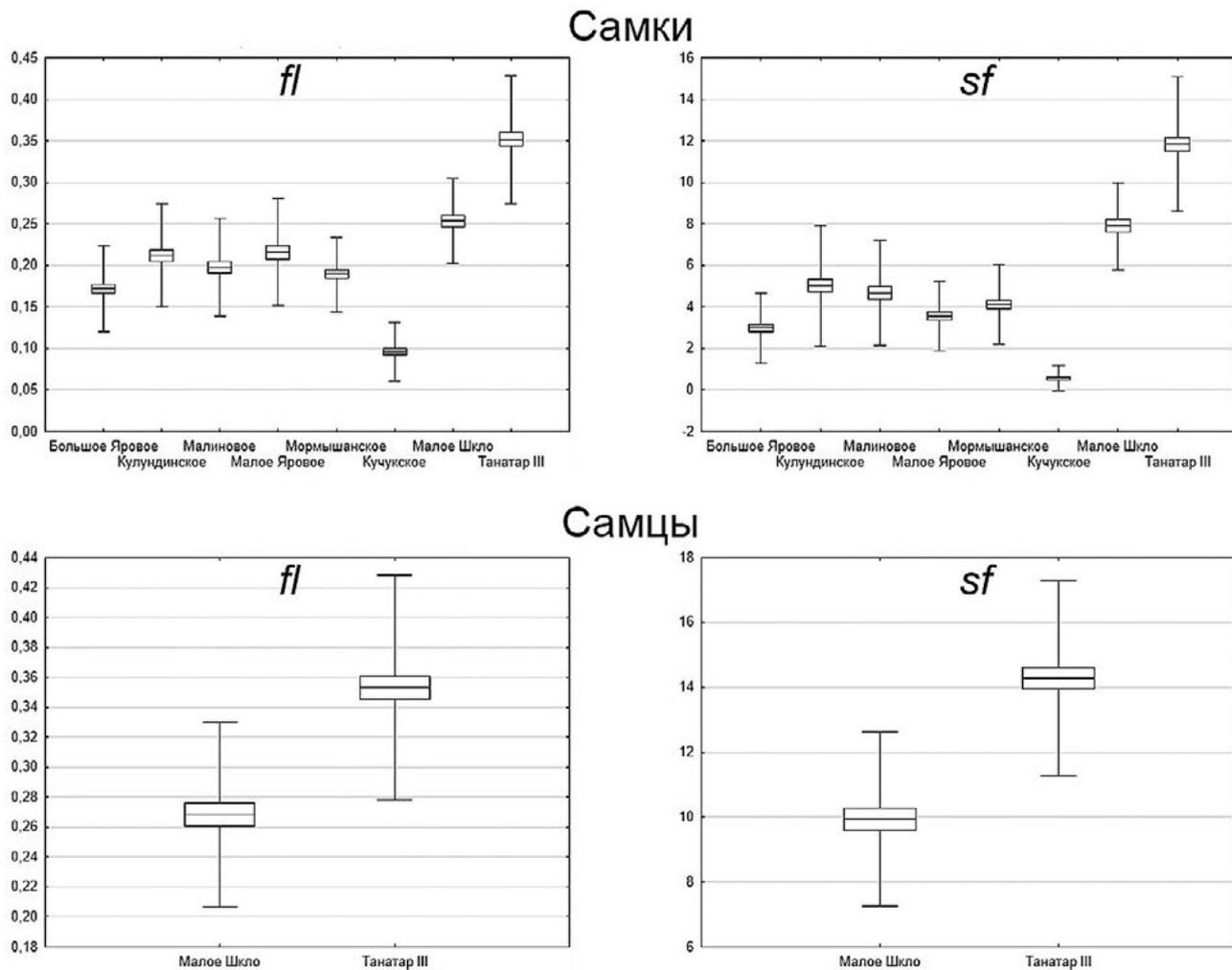


Рис. 6. Сравнение морфометрических показателей самок и самцов *A. parthenogenetica* и *Artemia* sp. Kazakhstan разнотипных гипергалинных озер

Comparison of morphometric parameters of females and males of *A. parthenogenetica* and *Artemia* sp. Kazakhstan of different types of hypersaline lakes

Длина фурок *fl* и количество щетинок на фурках *sf* самцов бисексуальных популяций значительно отличаются между собой в озерах Малое Шкло и Танатар III. По обоим морфометрическим показателям самцы озера Танатар III значительно превышают таковых из озера Малое Шкло.

Изученные морфометрические показатели самок рачка *A. parthenogenetica* характеризовались различной корреляционной связью с минерализацией разнотипных озер. Длина тела *tl* ($r = 0,35; p < 0,05$), длина абдомена *al* ($r = 0,33; p < 0,05$), длина цефалоторакса *cl* ($r = 0,33; p < 0,05$), расстояние между глазами ($r = 0,20; p < 0,05$), диаметр глаза *ed* ($r = 0,24; p < 0,05$), длина антенны *la* ($r = 0,21; p < 0,05$) и индекс длины абдомена к длине тела *al/tl* ($r = 0,16; p < 0,05$) имели слабую положительную связь. Индекс длины цефалоторакса к длине абдомену *cl/al*

($r = -0,26; p < 0,05$), количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r/sf-l* ($r = -0,11/-0,11; p < 0,05$), индекс длины фурки к длине абдомена *fl/al* ($r = -0,20; p < 0,05$) – слабую отрицательную связь. Средних и сильных связей у рачка данного вида не выявлено.

Морфометрические показатели самок рачка *Artemia* sp. Kazakhstan, в отличие от партеногенетических популяций, коррелируют с минерализацией рапы в основном отрицательно. Положительная связь выявлена у индекса длины абдомена к длине тела *al/tl* ($r = 0,34; p < 0,05$). Самые сильные связи (средние отрицательные) наблюдаются у длины фурки *fl* ($r = -0,62; p < 0,05$); зависимость имела вид $y = -11,514x + 225,42$, количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r/sf-l* ($r = -0,65; p < 0,05$); $y = -11,584x + 225,68$, индекс длины фурок к длине абдомена *fl/al*

($r = -0,66$; $p < 0,05$); $y = -2162,7x + 253,96$. Таким образом, самки бисексуальных популяций лучше коррелируют с минерализацией, чем самки партеногенетических популяций.

Корреляционные связи морфометрических показателей самцов рачка *Artemia* sp. Kazakhstan с минерализацией рапы значительно отличались от таковых у самок. Длина тела tl ($r = 0,36$; $p < 0,05$) и длина абдомена al ($r = 0,32$; $p < 0,05$) по-прежнему слабо положительно связаны с минерализацией рапы, но несколько выше, чем эти признаки у самок. Связь индекса длины цефалоторакса к длине абдомена cl/al ($r = -0,19$; $p < 0,05$) почти не изменилась (у самок $r = -0,16$; $p < 0,05$). Ширина абдомена aw ($r = 0,29$; $p < 0,05$) и ширина головы hw ($r = 0,38$; $p < 0,05$) у самцов имели слабую положительную связь (у самок эти связи были отрицательными $r = -0,29$ ($p < 0,05$) / $r = -0,38$ ($p < 0,05$)). Самые сильные корреляционные связи по-прежнему были у фуркальных показателей, которые у самцов стали положительными: длина фурук fl ($r = 0,53$ ($p < 0,05$)); зависимость имела вид: $y = 213,27x + 14,396$, количество щетинок на правой $sf-r$ ($r = 0,61$ ($p < 0,05$)); $y = 5,6477x + 11,658$ и левой фуруках $sf-l$ ($r = 0,61$, $p < 0,05$); $y = 5,4562x + 13,004$. Индекс длины фурук к длине абдомена fl/al ($r = 0,27$, $p < 0,05$); $y = 418,87x + 48,567$ у самцов имел слабую связь с минерализацией, в отличие от самок.

Также среди корреляционных связей морфометрических показателей самцов с минерализацией рапы были выявлены новые, которых не было у самок. Слабые связи: длина антенны la ($r = 0,35$; $p < 0,05$). Средние связи: расстояние между глазами de ($r = 0,43$; $p < 0,05$); зависимость имела вид: $y = 53,659x - 0,8697$, ed ($r = 0,45$; $p < 0,05$); $y = 239,14x - 2,3575$. Связи с индексом длины абдомена к длине тела al/tl у самцов выявлено не было.

ВЫВОДЫ

1. Морфометрический анализ восьми популяций артемии показал, что наиболее вариabельными признаками являются фуркальные параметры: длина фуруки fl (у самок $C_v = 43,69$ %, у самцов $C_v = 25,47$), количество щетинок на правой $sf-r$ и левой фуруках $sf-l$ (у самок $C_v = 79,86$ %; $81,21$ %, у самцов $C_v = 28,56$ %; $29,17$ %) и отношение длины фуруки к длине абдомена fl/al (у самок $C_v = 49,99$ %, у самцов $C_v = 27,64$ %). Наиболее стабильные признаки ($C_v < 20$ %) у самок – tl , aw , cl , de , hw , ed , cl/al , al/tl ; у самцов – tl , al , aw , cl , de ,

hw , ed , cl/al , al/tl . Морфометрические показатели самок гораздо более пластичные и вариabельные, чем у самцов. Самки бисексуальных популяций характеризовались большей вариabельностью, чем самки партеногенетических популяций.

2. Сравнение изменчивости морфометрических показателей самок и самцов рачка артемии показал различия между ними. Длина тела tl , цефалоторакса cl , длина al и ширина aw абдомена, отношение длины абдомена к длине тела al/tl были выше у самок. Длина антенны I la , расстояние между глазами de , диаметр глаза ed , длина фуруки fl , длина цефалоторакса к длине абдомена cl/al , длины фуруки к длине абдомена fl/al преобладали у самцов. Количество щетинок на фуркальных ветвях $sf-r$, $sf-l$ у самок было в два раза меньше, чем у самцов. Ширина головы hw у самок и самцов имела лишь незначительную разницу. В целом самки имеют более крупные размеры по сравнению с самцами. Самки партеногенетических популяций крупнее, чем самки бисексуальных популяций.

3. Кластерный анализ позволил определить принадлежность исследованных озер к трем группам, различающимся по степени минерализации рапы. В полученных результатах прослеживается влияние общей минерализации рапы озер как основного морфообразующего фактора на рост и развитие рачка артемии.

4. Корреляционный анализ связей морфометрических показателей от общей минерализации рапы озер (от 41,2 до 251,4 г/л) позволил выявить влияние данного фактора на рост и развитие рачка артемии. Средними по силе связями характеризовались фуркальные показатели самок и самцов. fl самок: $r = -0,54$ ($p < 0,05$); зависимость имела вид: $y = -337,79x + 207,38$ (отрицательная), fl самцов: $r = 0,53$ ($p < 0,05$); $y = 213,27x + 14,396$ (положительная). Средними положительными связями у самцов характеризовались de ($r = 0,43$; $p < 0,05$); $y = 53,659x - 0,8697$) и ed ($r = 0,45$; $p < 0,05$); $y = 239,14x - 2,3575$). Остальные признаки слабо коррелируют с общей минерализацией рапы. Самцы подвержены большему влиянию солености, чем самки. Самки партеногенетических популяций коррелируют с минерализацией рапы слабее, чем самки бисексуальных популяций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-26-00148).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Manual on Artemia production and use* / G. Van Stappen, P. Sorgeloos, G. Rombaut [et al.] // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers. – 2024. – N 702. – 192 p. – DOI: 10.4060/cd0313en.
2. *Продуктивность* цист рачка *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных озерах Алтайского края / Л.В. Веснина, Р.А. Клепиков, Е.В. Пищенко, И.В. Морузи. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой Колос», 2021. – 147 с.
3. *Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil* / A.B. Nobile, A.M. Cunico, J.R. Vitule [et al.] // *Rev. Aquacult.* – 2020. – Vol. 12, N 3. – P. 1495–1517. – DOI: 10.1111/raq.12393.
4. *Aquaculture facilities drive the introduction and establishment of non-native Oreochromis niloticus populations in Neotropical streams* / S.C. Forneck, F.M. Dutra, M.P. de Camargo [et al.] // *Hydrobiologia.* – 2021. – Vol. 848, N 9. – P. 1955–1966. – DOI: 10.1007/s10750-020-04430-8.
5. *Review on integrated production of the brine shrimp Artemia in solar salt ponds* / G. Van Stappen, L. Sui, V.N. Hoa [et al.] // *Rev. Aquacult.* – 2020. – Vol. 12, N 2. – P. 1054–1071. – DOI: 10.1111/raq.12371.
6. *Morphology and morphometry of morphotypes in the population of Artemia franciscana* (Kellogg, 1906) from salt-erns of the southeastern coast of India / S. Thirunavukkarasu, G. Murugan, J.-S. Hwang, N. Munuswamy // *Heliyon.* – 2024. – Vol. 10, N 1. – P. 1–13. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29796.
7. *Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N.* Genetic variability of *Artemia franciscana* populations from different salterns of southeast coast of India // *Human Gene.* – 2021. – N 28. – P. 100887. – DOI: 10.1016/j.mgene.2021.100887.
8. *Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N.* Morphometric and phylogenetic analysis of morphotypes in *Artemia franciscana* Kellogg, 1906m (Crustacea: Anostraca) // *Reg Stud Mar Sci.* – 2022. – N 54. – P. 102411. – DOI: 10.1016/j.rsma.2022.102411.
9. *Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N.* Genetic diversity and population structure of *Artemia franciscana* from southeast coast of India // *J. Sea Res.* – 2021. – N 178. – P. 102127. – DOI: 10.1016/j.seares.2021.102127.
10. *Ruebhart D.R., Cock I.E., Shaw G.R.* Invasive character of the brine shrimp *Artemia franciscana* Kellogg 1906 (Branchiopoda: Anostraca) and its potential impact on Australian inland hypersaline waters // *Mar. Freshw. Res.* – 2008. – Vol. 59, N 7. – P. 587–595. – DOI: 10.1071/MF07221.
11. *Maniatsi S., Baxevanis A.D., Abatzopoulos T.J.* The intron 2 of p26 gene: a novel genetic marker for discriminating the two most commercially important *Artemia franciscana* subspecies // *J. Biol. Res. (Thessalon.)*. – 2009. – N 11. – P. 73–82. – DOI: 10.3390/ijms10125455.
12. *Жадин В.И.* Методы гидробиологического исследования. – М.: Высш. шк., 1960. – 191 с.
13. *Kress W., Erickson D.* DNA Barcodes: Methods and Protocols, *Methods in Molecular Biology.* – 2012. – Vol. 858. – P. 3–8.
14. *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, N 3. – P. 501–506. – DOI: 10.3856/vol38-issue3-fulltext-14.
15. *DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates* / O. Folmer, M. Black, W. Hoeh [et al.] // *Molecular Marine Biology and Biotechnology.* – 1994. – Vol. 3, N 5, P. 294–299.
16. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
17. *Веснина Л.В., Веснин Ю.А.* Современное состояние зоопланктона озера Кулундинское Алтайского края в период фазы трансгрессии // *Инновации и продовольственная безопасность.* – 2022. – № 3(37). – С. 20–35.
18. *Роль солоноватоводной фауны и состояние биоресурса экосистемы гипергалинного озера Кулундинское в фазе трансгрессии (Алтайский край)* / Л.В. Веснина, Ю.А. Веснин, Н.С. Романова, И.В. Морузи // *Рыбное хозяйство.* – 2023. – № 2. – С. 65–72.
19. *Vesnina L.V., Bezmaternykh D.M.* Long-term and seasonal dynamics of zooplankton in hypergaline lake Kulundinskoye (Kulunda Steppe, Russia) // *Acta Biologica Sibirica.* – 2023. – Vol. 9. – P. 387–396. – DOI: 10.5281/zenodo.7927562.
20. *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.
21. *Алтайские стартовые корма: вчера, сегодня, завтра* / Л.В. Веснина, Т.О. Ронжина, Г.В. Пермякова, Р.А. Клепиков // *Аквакультура центральной и восточной Европы: настоящее и будущее: сб. докл.* – Кишинев: Pontos, 2011. – С. 48–53.
22. *Котова Л.И., Иванов А.Т.* Заготовка и использование артемии // *Рыбное хозяйство.* – 1969. – № 4. – С. 92–93.
23. *Результаты многолетних исследований и практического использования промысловых беспозвоночных Западной Сибири* / А.И. Литвиненко, Л.И. Литвиненко, В.П. Соловов // *Проблемы гидробиологии Сибири: мат-лы Всерос. конф. «Современные проблемы гидробиологии Сибири»* / под ред. В.И. Романова. — Томск: Дельтаплан, 2005. – С. 146–164.

24. Студеникина Т.Л. Биологические особенности рачка *Artemia salina* (L.) соленых озер юга Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 1986. – 17 с.
25. *Артемия* в гипергалинных водоемах России (география, биоразнообразие, экология, биология и практическое использование) / Л.И. Литвиненко, М.А. Корентович, Е.Г. Бойко [и др.]. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. – 372 с.
26. *Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives* / P. Williot, L. Sabeaub, J. Gessner [et al.] // *Aquat. Living Resour.* – 2001. – Vol. 14. – P. 363–374.
27. Богатова И.Б., Шмакова З.И. Активация диапаузирующих яиц *Artemia salina* (L.) // *Гидробиол. журн.* – 1980. – Т. 16, Вып. 3. – С. 180.
28. *Технология* получения стартовых кормов из артемии соленых озер Алтайского края / Л.В. Веснина, Т.О. Ронжина, Г.В. Пермякова, Р.А. Клепиков // *Рыбоводство и рыбное хозяйство.* – 2012. – № 3. – С. 52–59.
29. *Сравнительный анализ* популяции жаброногого рачка рода *Artemia* в гипергалинных озерах Крыма по морфометрическим признакам / А.М. Семик, Е.А. Замятина, А.В. Паршин-Чудин, Д.В. Тырин // *Рыбоводство и рыбное хозяйство.* – 2024. – № 12. – С. 862–875. – DOI: 10.33920/sel-09-2412-03.
30. 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. – № 2(57). – С. 11–19. – DOI: 10.35524/2687-0436_2022_02_11.
31. Naceur H.B., Rejeb Jenhani A.B., Romdhane M.S. Morphometric Characterization of Adult *Artemia* (Crustacea: Branchiopoda) Populations from Coastal and Inland Tunisian Salt Lakes // *African Invertebrates.* – 2013. – Vol. 54, N 2. – P. 543–555.

REFERENCES

1. Van Stappen G., Sorgeloos P., Rombaut G. et al., Manual on *Artemia* production and use, *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers*, 2024, No. 702, 192 p, DOI: 10.4060/cd0313en.
2. Vesnina L.V., Klepikov R.A., Pishhenko E.V., Moruzi I.V., *Produktivnost' cist rachka Artemia Leach, 1819 v giper-galinnih ozerah Altajskogo kraja* (Productivity of cysts of the crustacean *Artemia* Leach, 1819 in hypersaline lakes of Altai Krai), Novosibirsk: IC NGAU «Zolotoj Kolos», 2021, 137 p.
3. Nobile A.B., Cunico A.M., Vitule J.R., Queiroz J., Vidotto-Magnoni A.P., Garcia D.A. et al., Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil, *Rev. Aquacult.*, 2020, Vol. 12, No. 3, pp. 1495–1517, DOI: 10.1111/raq.12393.
4. Forneck S.C., Dutra F.M., de Camargo M.P., Vitule J.R.S., Cunico A.M., Aquaculture facilities drive the introduction and establishment of non-native *Oreochromis niloticus* populations in Neotropical streams, *Hydrobiologia*, 2021, Vol. 848, No. 9, pp. 1955–1966, DOI: 10.1007/s10750-020-04430-8.
5. Van Stappen G., Sui L., Hoa V.N., Tamtin M., Nyonje B., de Medeiros Rocha R. et al., Review on integrated production of the brine shrimp *Artemia* in solar salt ponds, *Rev. Aquacult.*, 2020, Vol. 12, No. 2, pp. 1054–1071, DOI: 10.1111/raq.12371.
6. Thirunavukkarasu S., Murugan G., Hwang J.-S., Munuswamy N., Morphology and morphometry of morphotypes in the population of *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906) from salterns of the southeastern coast of India, *Heliyon*, 2024, Vol. 10, No. 1, pp. 1–13, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29796.
7. Thirunavukkarasu S., Karunasagar G., Munuswamy N., Genetic variability of *Artemia franciscana* populations from different salterns of southeast coast of India, *Human Gene*, 2021, No. 28, pp. 100887, DOI: 10.1016/j.mgene.2021.100887.
8. Thirunavukkarasu S., Karunasagar G., Munuswamy N., Morphometric and phylogenetic analysis of morphotypes in *Artemia franciscana* Kellogg, 1906m (Crustacea: Anostraca), *Reg Stud Mar Sci*, 2022, No. 54, pp. 102411, DOI: 10.1016/j.risma.2022.102411.
9. Thirunavukkarasu S., Karunasagar G., Munuswamy N., Genetic diversity and population structure of *Artemia franciscana* from southeast coast of India, *J. Sea Res*, 2021, No. 178, pp. 102127, DOI: 10.1016/j.seares.2021.102127.
10. Ruebhart D.R., Cock I.E., Shaw G.R., Invasive character of the brine shrimp *Artemia franciscana* Kellogg 1906 (Branchiopoda: Anostraca) and its potential impact on Australian inland hypersaline waters, *Mar. Freshw. Res.*, 2008, Vol. 59, No. 7, pp. 587–595, DOI: 1071/MF07221.
11. Maniatsi S., Baxevanis A.D., Abatzopoulos T.J., The intron 2 of p26 gene: a novel genetic marker for discriminating the two most commercially important *Artemia franciscana* subspecies, *J. Biol. Res. (Thessalon.)*, 2009, No. 11, pp. 73–82, DOI: 10.3390/ijms10125455.
12. Zhadin V.I., *Metody gidrobiologicheskogo issledovanija* (Methods of hydrobiological research), Moscow: Vysshaja shkola, 1960, 191 p.
13. Kress W., Erickson D., DNA Barcodes: Methods and Protocols, *Methods in Molecular Biology*, 2012, Vol. 858, pp. 3–8.

14. 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, No. 3, pp. 501–506, DOI: 10.3856/vol38-issue3-fulltext-14.
15. Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R. et al., DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates, *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 1994, Vol. 3, No. 5, pp. 294–299.
16. Lakin G.F., *Biometrija* (Biochemistry), Moscow: Vysshaja shkola, 1990, 352 p.
17. Vesnina L.V., Vesnin Ju.A., *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'*, 2022, No. 3(37), pp. 20–35. (In Russ.)
18. Vesnina L.V., Vesnin Ju.A., Romanova N.S., Moruzi I.V., *Rybnoe hozjajstvo*, 2023, No. 2, pp. 65–72. (In Russ.)
19. Vesnina L.V., Bezmaternykh D.M., Long-term and seasonal dynamics of zooplankton in hypergaline lake Kulundinskoye (Kulunda Steppe, Russia), *Acta Biologica Sibirica*, 2023, Vol. 9, pp. 387–396, DOI: 10.5281/zenodo.7927562.
20. Vesnina L.V., Bezmaternykh D.M., *Ecology*, 2023, No. 3, pp. 243–250, DOI: 10.31857/S0367059723030095. (In Russ.)
21. Vesnina L.V., Ronzhina T.O., Permjakova G.V., Klepikov R.A., *Akvakul'tura central'noj i vostochnoj Evropy: nastojashhee i budushhee* (Aquaculture in central and eastern Europe: present and future), Abstracts of Papers, 2011, Kishinev: Pontos, pp. 48–53. (In Russ.)
22. Kotova L.I., Ivanov A.T., *Rybnoe hozjajstvo*, 1969, No. 4, pp. 92–93. (In Russ.)
23. Litvinenko A.I., Litvinenko L.I., Solovov V.P., Vesnina L.V., Jasjuchenja T.L., Vizer L.S., Kozlov O.V., *Sovremennye problemy gidrobiologii Sibiri* (Modern problems of hydrobiology of Siberia), Proceeding of the All-Russian Conference, Tomsk: Del'taplan, 2005, pp. 146–164. (In Russ.)
24. Studenikina T.L., Biologicheskie osobennosti rachka *Artemia salina* (L.) solenih ozer juga Zapadnoj Sibiri (Biological features of the crustacean *Artemia salina* (L.) of salt lakes in the south of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 1986, 17 p. (In Russ.)
25. Litvinenko L.I., Korentovich M.A., Bojko E.G., Litvinenko A.I., Zenkovich P.A., *Artemija v gipergalinnyh vodoemah Rossii (geografija, bioraznool'zovanie, jekologija, biologija i prakticheskoe ispol'zovanie)* (*Artemia* in hypersaline reservoirs of Russia (geography, biodiversity, ecology, biology and practical use)), Tjumen': GAU Severnogo Zaural'ja, 2024, 372 p. (In Russ.)
26. Williot, P., Sabeaub L., Gessner J. et al., Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives, *Aquat. Living Resour.*, 2001, Vol. 14, pp. 363–374.
27. Bogatova I.B., Shmakova Z.I., *Gidrobiologicheskij zhurnal*, 1980, T. 16, Vol. 3, pp. 180. (In Russ.)
28. Vesnina L.V., Ronzhina T.O., Permjakova G.V., Klepikov R.A., *Rybovodstvo i rybnoe hozjajstvo*, 2012, No. 3, pp. 52–59. (In Russ.)
29. Sjomik A.M., Zamjatina E.A., Parshin-Chudin A.V., Tyrin D.V., *Rybovodstvo i rybnoe hozjajstvo*, 2024, No. 12, pp. 862–875, DOI: 10.33920/sel-09-2412-03. (In Russ.)
30. Bojko E.G., Litvinenko L.I., Voroncova P.I., *APK: innovacionnye tehnologii*, 2022, No. 2(57), pp. 11–19, DOI: 10.35524/2687-0436_2022_02_11. (In Russ.)
31. Naceur H.B., Rejeb Jenhani A.B., Romdhane M.S., Morphometric Characterization of Adult *Artemia* (Crustacea: Branchiopoda) Populations from Coastal and Inland Tunisian Salt Lakes, *African Invertebrates*, 2013, Vol. 54, No. 2, pp. 543–555.

Информация об авторах:

Л.В. Веснина, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник
 Д.М. Безматерных, доктор биологических наук, доцент, зам. директора по научной работе
 М.В. Лассый, лаборант
 Ю.А. Веснин, инженер

Contribution of the authors:

L.V. Vesnina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Scientist
 D.M. Bezmaternykh, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work
 M.V. Lassyi, Laboratory assistant
 Yu.A. Vesnin, Engineer

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.