

УДК 595.32-115

## ВНУТРИ- И МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЦИСТ И ВЗРОСЛЫХ СТАДИЙ АРТЕМИИ (BRANCHIOPODA: ANOSTRACA) В СИБИРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ (МОРФОМЕТРИЯ)

© 2021 г. Л. И. Литвиненко<sup>1,2</sup>, К. В. Куцанов<sup>1</sup>,  
Л. Ф. Разова<sup>1</sup>, А. Ш. Гадиадуллина<sup>1</sup>,  
А. Г. Герасимов<sup>1</sup>, Е. В. Бражников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тюменский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («Госрыбцентр»), Тюмень, Российская Федерация

<sup>2</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Российская Федерация

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

Поступила в редакцию 23.12.2020; после доработки 02.03.2021;  
принята к публикации 04.06.2021; опубликована онлайн 16.06.2021.

Размеры цист артемии являются важным показателем ценности их как кормового ресурса и в некоторой степени позволяют идентифицировать популяции. В статье проанализированы показатели цист артемии партеногенетических популяций (диаметр, толщина хориона, наличие пятен на оболочке), отобранных в гипергалинных озёрах Западной Сибири в разные годы, и морфометрические показатели рачков, выращенных из цист при одинаковой солёности. Установлена значительная внутри- и межпопуляционная изменчивость рассмотренных показателей. Абсолютные значения диаметра цист находились в пределах 210–330 мкм, средние значения по пробам — 243,5–282,9 мкм, средние по популяциям — 257,8–279,6 мкм; абсолютные значения диаметра декапсулированных цист — в пределах 196–294 мкм, средние значения по пробам — 236,5–262,6 мкм, средние по популяциям — 239,9–253,2 мкм; абсолютные значения толщины хориона цист — 3,3–16,9 мкм, средние значения по популяциям — 6,6–12,4 мкм. В основных промысловых озёрах, на которые приходится около 70 % от всего вылова цист артемии в России, цисты имели близкие среднепопуляционные размеры (262–268 мкм). Дано заключение об отсутствии внутрипопуляционной закреплённости таких признаков, как диаметр цист и толщина хориона, то есть они не могут служить надёжными показателями, идентифицирующими сибирские популяции. Установлена статистически значимая связь ( $r = -0,5$ ) между солёностью материнского водоёма и диаметром эмбрионов артемии. Пятнистость цист, не превышающая 5 % почти во всех их пробах, у цист озера Кучукское составила 24 %. Анализ морфометрических показателей рачков, выращенных из цист, показал, что средняя длина рачков (9,27–11,63 мм), ширина абдомена (0,53–0,69 мм) и расстояние между глазами (1,36–1,52 мм) тесно коррелировали с солёностью материнского водоёма (значения  $r$  составили  $-0,76$ ;  $-0,62$ ;  $-0,67$  соответственно). Кластерный анализ совокупности морфометрических признаков рачков указывает на объединение популяций по признаку солёности.

**Ключевые слова:** *Artemia parthenogenetica*, диаметр цист, морфометрия рачков, толщина хориона, солёность, популяционная изменчивость, Западная Сибирь

Из семи видов артемии, обитающих на планете, в России встречаются три: в водоёмах Крыма — *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) и *Artemia urmiana* Günther, 1899; в Туве (озеро Сватиково) — *Artemia sinica* Cai, 1989 (Литвиненко и др., 2009 ; Litvinenko et al., 2016 ; Shadrin et al., 2012 ;

Shadrin & Anufrieva, 2012). Абсолютное большинство популяций России относятся к группе не определённых до вида, размножающихся партеногенетически — к *Artemia parthenogenetica* Bowen & Sterling, 1978. На необходимость идентификации коммерческих образцов цист артемии было указано ещё в 2004 г. (Ксяомей и др., 2004). К тому времени на мировой рынок стали поступать различные виды и географические расы артемии как с Американского континента, так и из Азии (Западная Сибирь, Казахстан, Туркменистан, Китай). По некоторым характеристикам эти цисты значительно отличались от цист *Artemia franciscana* Kellog, 1906 из Большого Солёного озера (США), являющихся «стандартом» в аквакультурной практике (Ксяомей и др., 2004). Это касалось особенностей диапаузы, цвета хориона, размеров цист и науплиусов, содержания высоконасыщенных жирных кислот, плавучести, процента и скорости выклева и т. д. Позже, в связи с незаконным, несообщаемым и нерегулируемым промыслом, возникла потребность в идентификации партеногенетических популяций в России. Появились многочисленные публикации (Егоркина и др., 2008 ; Литвиненко и др., 2018 ; Старовойтова и Бурмистрова, 2017 и др.), в которых речь шла либо о существенных межпопуляционных различиях диаметра цист, позволяющих идентифицировать популяции, либо о нестабильности этого признака в одной популяции в разные годы. Общим недостатком этих работ было малое количество исследованных популяций в разные годы.

В связи с этим перед нами стояла задача изучить, используя расширенный ряд данных, внутри- и межпопуляционную изменчивость цист артемии и на основе полученных данных проверить возможность идентификации популяции артемии по диаметру цист, толщине и структуре хориона, а также по размерам рачков, выращенных из цист до половозрелой стадии.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследованы цисты партеногенетических популяций артемии из 13 гипергалинных озёр Западной Сибири. Эти озёра: Большое Медвежье (солёность в годы отбора проб — 168–293 г·л<sup>-1</sup>), Малое Медвежье (164–321), Гашково (132–164), Невидим (112–175), Сорочье (213–263), Актюбан (83–190), Сиверга (74–86), Ульжай (105–235), Эбейты (135–344), Большое Яровое (147–155), Малое Яровое (201), Кучукское (240) и Кулундинское (80 г·л<sup>-1</sup>) (рис. 1). Пробы цист отобраны в 2008–2019 гг. Анализ проведён по диаметру цист (43 пробы), по толщине хориона (31 проба) и по морфометрии рачков (7 проб).

Перед измерением диаметра цисты помещали в раствор NaCl (10 г·л<sup>-1</sup>) с добавлением 1%-го раствора Люголя на 2 ч; затем их процеживали и помещали в чашку Петри с 1%-ным раствором Люголя и оставляли на 12 ч в тёмном месте. На следующий день при помощи стереоскопа Альтами СМ0870 определяли диаметр гидратированных цист (по 300 экз. из каждой пробы).

Для определения толщины хориона сначала измеряли диаметр гидратированных цист; затем для удаления оболочки цист добавляли гипохлорит натрия (5 % активного хлора) и через 10–15 мин измеряли диаметр эмбрионов. Выборка — 100 цист в каждой популяции. Толщину хориона ( $T_x$ ) находили по формуле:

$$T_x = (d_{ц} - d_{э})/2, \quad (1)$$

где  $d_{ц}$  — диаметр цисты;

$d_{э}$  — диаметр эмбриона.

Для выведения науплиусов артемии проводили инкубацию цист в конических сосудах при искусственном освещении (1000 люкс), температуре +23...+25 °С, аэрации, в солевом растворе (морская соль — 20 г·л<sup>-1</sup>, NaHCO<sub>3</sub> — 2 г·л<sup>-1</sup>) в течение 24 ч. Культивирование рачков осуществляли в стеклянных колбах объёмом 2 л при температуре +24...+26 °С, аэрации, солёности

100 г·л<sup>-1</sup> (в растворе солей: морская соль — 55 г·л<sup>-1</sup>, NaCl — 15 г·л<sup>-1</sup>, MgSO<sub>4</sub> — 11,9 г·л<sup>-1</sup>, NaHCO<sub>3</sub> — 10 г·л<sup>-1</sup>, CaCl<sub>2</sub> — 4,5 г·л<sup>-1</sup>, KCl — 3,6 г·л<sup>-1</sup>). Кормили рачков рисовой мукой и суспензией водорослей *Scenedesmus* sp. Плотность посадки науплиусов — 100 экз·л<sup>-1</sup>; по мере роста рачков их плотность уменьшали до 10–20 экз·л<sup>-1</sup>.

Рачков, достигших половозрелости, фиксировали раствором Люголя и измеряли под стереоскопическим микроскопом МБС-10, оборудованным окуляр-микрометром. Из каждой популяции измеряли 10–30 рачков. Анализ проводили по девяти признакам — восьми пластическим (длина тела, tl; длина абдомена, al; ширина абдомена, aw; расстояние между глазами, de; диаметр глаз, ed; длина фурки, fl; длина первой антенны, la; ширина головы, hw) и одному меристическому (число щетинок на фурке, sf).

Статистическую обработку данных проводили по общепринятым методикам (Лакин, 1990). Внутрипопуляционную (пробы цист из одного озера в разные годы и в разные даты одного года) и межпопуляционную (пробы цист из разных озёр) изменчивость анализировали при использовании основных статистических характеристик количественной изменчивости: средней арифметической ( $M$ ), минимальных ( $min$ ) и максимальных ( $max$ ) значений признаков, ошибки средней арифметической ( $m$ ), коэффициента вариации ( $CV$ , %), стандартного отклонения ( $SD$ ), объёма выборки ( $n$ ). Рассчитывали корреляцию ( $r$ ) между солёностью материнского водоёма (источника цист) и морфометрическими показателями цист и рачков. Достоверность различий выборок оценивали по критерию Стьюдента ( $t_{st}$ ) при уровне значимости  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,001$ . Кластерный анализ провели в программе Statistica 13.3.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### 1. Морфометрия цист.

**Диаметр.** В исследованных пробах абсолютные значения диаметра цист находились в пределах 210–330 мкм, средние по пробам — 243,5–282,9 мкм, средние по популяциям — 257,8–279,6 мкм (табл. 1, рис. 2). Наибольший диаметр цист зарегистрирован в популяциях озёр Малое Яровое [(279,6 ± 0,8) мкм], Кучукское [(278,9 ± 0,8) мкм] и Актобан [(275,9 ± 7,0) мкм]. Несколько меньше были цисты из популяций озёр Невидим и Ульжай — (273,3 ± 1,4) и (272,9 ± 2,1) мкм соответственно. Самые мелкие цисты выявлены в популяциях озёр Гашково [(257,8 ± 4,5) мкм] и Малое Медвежье [(258,4 ± 2,0) мкм]. Цисты из озёр Большое Яровое, Эбейты, Большое Медвежье и Кулундинское имели близкие значения — (261,6 ± 9,0), (265,2 ± 2,1), (265,8 ± 1,8) и (267,8 ± 0,8) мкм соответственно. Следовательно, цисты основных промысловых озёр с ежегодным средним выловом суммарно 783 т (Большое Медвежье — 102 т, Эбейты — 133, Большое Яровое — 308, Кулундинское — 240), что составляет около 70 % всего вылова по России, имеют близкие размеры — 262–268 мкм.

**Таблица 1.** Показатели изменчивости диаметра цист в отдельных пробах и популяциях (мкм, если не указано другое)

**Table 1.** Estimates of the cyst diameter variability in individual samples and lake populations (µm, unless otherwise stated)

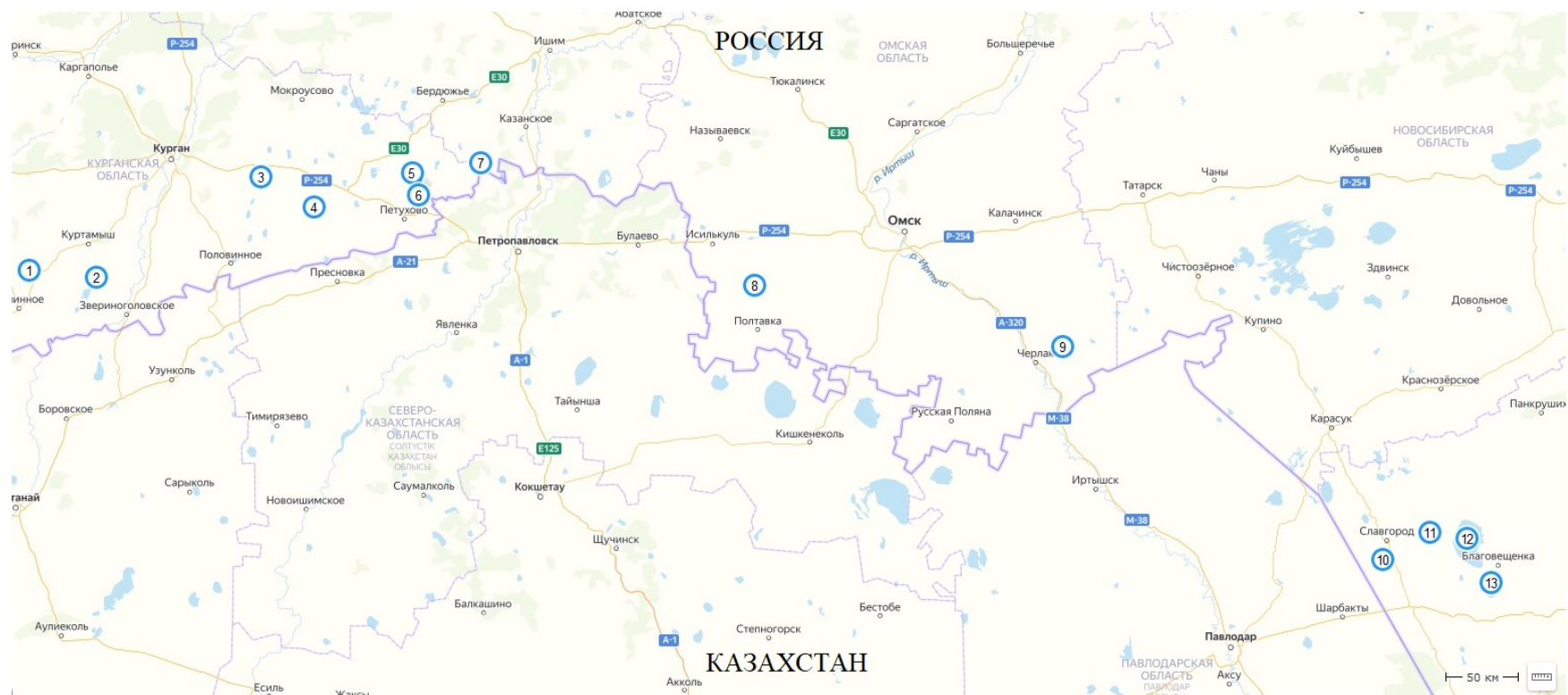
Популяции в озёрах	Год отбора проб	Изменчивость в пробах						Внутрипопуляционная изменчивость					
		$M_1$	$min$	$max$	$SD_1$	$CV_1$ , %	$m_1$	$M_2$	$min$	$max$	$SD_2$	$CV_2$ , %	$m_2$
Гашково	2015	253,45	221	281	10,1	4	0,58	257,76	247	266	9,0	3,5	5,18
	2017	264,45	234	303	11,7	4	0,68						
	2018	265,95	242	287	8,8	3	0,51						
	2019	247,19	210	314	12,0	5	0,69						

Продолжение на следующей странице...

Популяции в озёрах	Год отбора проб	Изменчивость в пробах						Внутрипопуляционная изменчивость					
		$M_1$	$min$	$max$	$SD_1$	$CV_1, \%$	$m_1$	$M_2$	$min$	$max$	$SD_2$	$CV_2, \%$	$m_2$
Невидим	2009	274,6	243	301	12,0	4	0,69	273,27	266	276	3,5	1,3	1,55
	2011	273,3	241	318	14,0	5	0,81						
	2012	275,23	247	303	10,8	4	0,63						
	2014	266,39	234	298	10,6	4	0,61						
	2015 (1)*	275,55	250	309	12,7	5	0,73						
	2015 (2)*	274,53	250	312	12,4	5	0,71						
Актобан	2017	282,87	235	326	17,0	6	0,98	275,92	234	235	9,8	3,6	9,83
	2019	268,97	234	330	14,0	5	0,81						
Эбейты	2008	270,87	226	313	13,8	5	0,8	265,16	257	271	5,6	2,1	2,28
	2011	261,84	228	298	11,6	4	0,67						
	2009	269,66	219	297	14,8	5	0,85						
	2013	256,64	223	289	13,1	5	0,76						
	2015	262,69	212	309	15,2	6	0,87						
	2017 (1)*	271,43	240	306	12,6	5	0,73						
2017 (2)*	262,99	219	300	13,1	5	0,76							
Большое Медвежье	2008	268,83	226	298	12,7	5	0,73	265,84	260	272	4,8	1,8	1,95
	2009	264,47	228	298	13,8	5	0,79						
	2010	261,48	219	300	12,9	5	0,75						
	2011	263,63	226	294	12,5	5	0,72						
	2012	259,60	216	326	13,9	5	0,8						
	2014	272,01	237	302	12,4	5	0,71						
	2017	270,88	219	295	12,0	4	0,69						
Малое Медвежье	2009	257,10	221	291	12,9	5	0,75	258,43	253	265	4,9	1,9	2,19
	2011	252,57	216	292	13,2	5	0,76						
	2013	253,55	212	296	12,3	5	0,71						
	2014	261,49	227	286	11,4	4	0,66						
	2015	260,87	217	289	12,0	5	0,69						
	2017	265,11	215	288	11,4	4	0,66						
Ульжай	2009	274,96	226	306	12,8	5	0,74	272,88	267	280	4,8	1,7	2,39
	2012	270,98	227	314	12,0	4	0,69						
	2013	267,39	236	295	9,6	4	0,55						
	2015	271,12	233	304	12,1	4	0,70						
	2018	279,95	239	315	13,6	5	0,78						
Большое Яровое	2014	269,48	215	302	13,7	5	0,79	261,55	244	272	15,7	6,0	11,0
	2017	243,52	212	289	10,7	4	0,62						
	2018	271,66	231	309	13,7	5	0,79						
Малое Яровое	2017	279,55	240	309	13,0	5	0,75	279,55					
Кучук- ское	2017	278,89	236	314	13,5	5	0,78	278,89					
Кулун- динское	2018	267,76	219	297	13,7	5	0,79	267,76					
<b>В целом:</b>													
среднее		266,02	227,44	301,95	12,58	4,7	0,73	268,82	253,5	267,1	7,3	2,7	4,54
минимум		243,52	210	281	8,8	3,0	0,51	257,76	234	235	3,5	1,3	1,55
максимум		282,87	250	330	17,0	6,0	0,98	279,55	267	280	15,7	6,0	11,0

**Примечание:** \* — пробы отобраны в один и тот же год с интервалом в один месяц.

**Note:** \* – samples were taken in the same year with an interval of one month.



**Рис. 1.** Месторасположение гипергалинных озёр (источников происхождения исследованных цист артемии):

- 1 — Сорочье;
- 2 — Гашково;
- 3 — Актобан;
- 4 — Невидим;
- 5 — Малое Медвежье;
- 6 — Большое Медвежье;
- 7 — Сиверга;
- 8 — Эбейты;
- 9 — Ульжай;
- 10 — Большое Яровое;
- 11 — Малое Яровое;
- 12 — Кулундинское;
- 13 — Кучукское

**Fig. 1.** Location of hyperhaline lakes (sources of *Artemia* cysts studied):

- 1 – Sorochie;
- 2 – Gashkovo;
- 3 – Aktoban;
- 4 – Nevidim;
- 5 – Maloye Medvezhye;
- 6 – Bolshoye Medvezhye;
- 7 – Siverga;
- 8 – Ebeyty;
- 9 – Ulzhay;
- 10 – Bolshoye Yarovoye;
- 11 – Maloye Yarovoye;
- 12 – Kulundinskoye;
- 13 – Kuchukskoye

Анализ изменчивости диаметра цист (табл. 1) в отдельно взятой пробе ( $n = 300$ ) показал, что стандартное отклонение признака находится в пределах 8,8–17,0 (в среднем  $SD_1 = 12,6$ ), коэффициент вариации — 3–6 % (в среднем  $CV_1 = 4,7$  %).

Анализ изменчивости диаметра цист (см. табл. 1) в отдельно взятой популяции ( $n = 3 \dots 7$ ) показал, что стандартное отклонение признака находится в пределах 3,5–15,7 (в среднем  $SD_2 = 7,3$ ), коэффициент вариации — 1,3–6,0 % (в среднем  $CV_2 = 2,7$  %).

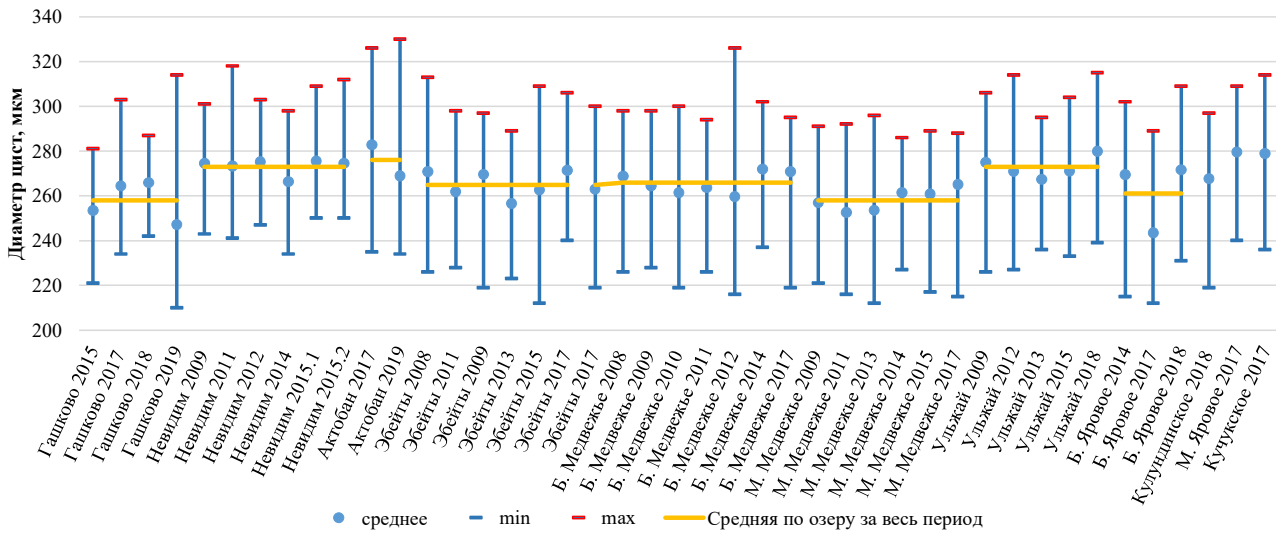


Рис. 2. Диаметр цист артемии из 11 озёр Западной Сибири

Fig. 2. Diameter of *Artemia* cysts from 11 lakes of Western Siberia

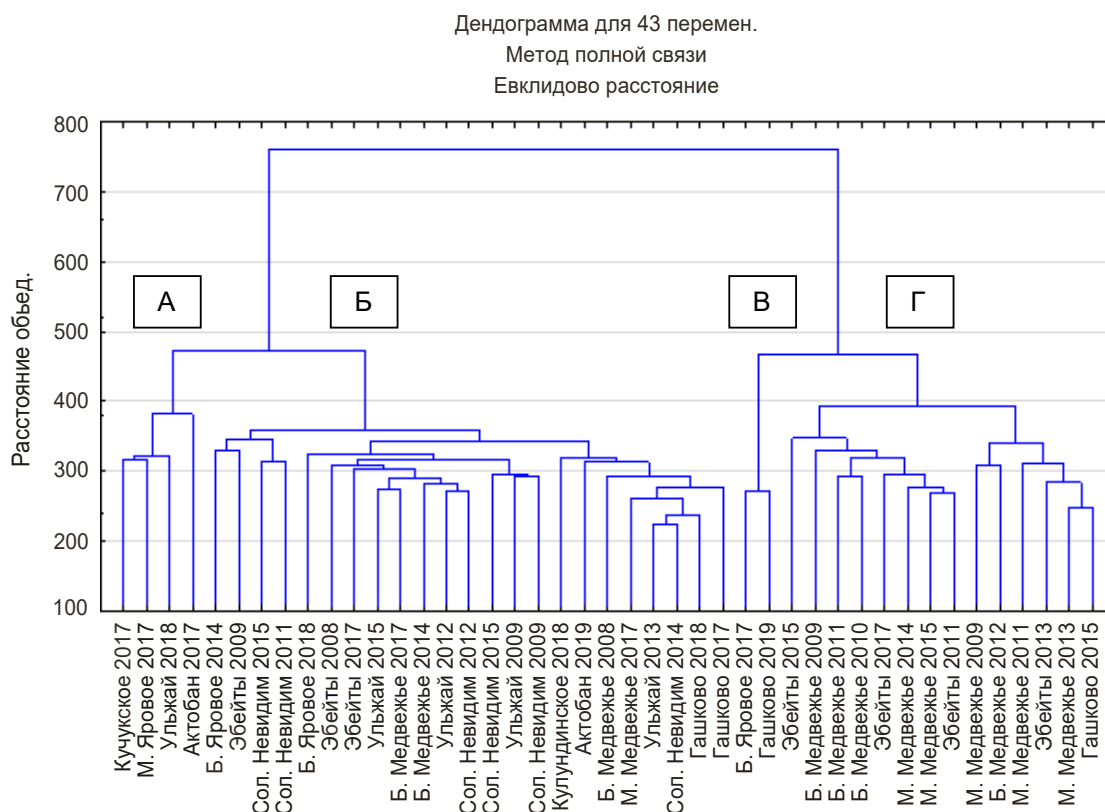
Сравнительный анализ данных межпопуляционной изменчивости исследованных сибирских популяций ( $n = 11$ ) ( $M_3$  в пределах 258–280 мкм;  $M_3 \pm m_3 = 268,82 \pm 2,47$ ;  $SD_3 = 7,8$ ;  $CV_3 = 2,9$  %) с данными внутрипопуляционной изменчивости, в том числе изменчивости отдельно взятых проб, показал, что вариабельность признаков ранжируется следующим образом:  $SD_1 > SD_3 > SD_2$  и  $CV_1 > CV_3 > CV_2$ .

По результатам исследований, изменчивость средних значений диаметра цист между популяциями несколько больше, чем в отдельной популяции в разные годы, и значительно меньше, чем в отдельно взятой пробе.

Анализ достоверности различий всех выборок (43 пробы цист) между собой показал, что 78 % сравниваемых пар имеют различия на уровне значимости  $p \leq 0,001$ , а 86 % — на уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

Анализ достоверности внутрипопуляционных различий показал, что меньше всего различаются цисты из озера Невидим (выделялся только сбор 2014 г.). В остальных популяциях доля достоверно различающихся проб разных лет находилась, с высоким уровнем значимости, в пределах 62–100 % (в среднем — 75 %), что близко к значениям сравнения по всему массиву данных.

Кластерный анализ сходства данных по диаметру цист (рис. 3) показал, что одни и те же популяции в разные годы могут входить в разные кластеры. По территориальному признаку различия также не зафиксированы. Популяции озёр Алтайского края, наиболее удалённых от других, присутствовали во всех кластерах, кроме Г. Цисты из озёр Невидим (2015) и Эбейты (2017), отобранные с разницей в месяц (см. табл. 1), на дендрограмме попали в разные кластеры.



**Рис. 3.** Дендограмма кластерного анализа по диаметрам цист артемии исследованных популяций  
**Fig. 3.** Dendrogram of cluster analysis by the diameter of *Artemia* cysts of the populations studied

По фотографиям (рис. 4) можно сделать заключение о морфологической неоднородности цист по размерам как в разных популяциях артемии, так и в одной популяции в разные годы.

**Пятнистость цист.** Цисты с тёмными пятнами (рис. 5) в большинстве популяций встречались редко; их доля в основном не превышала 5 % и только в озере Кучукское достигла 24 % (рис. 6). Этот признак, вероятно, может быть использован в качестве одного из идентифицирующих для популяции озера Кучукское.

**Диаметр эмбрионов (декапсулированных цист).** Абсолютные значения диаметра эмбрионов находились в пределах 196–294 мкм (табл. 2). Наиболее крупные эмбрионы зарегистрированы в популяциях озёр Ульжай (253 мкм) и Невидим (249 мкм), эмбрионы средних размеров — в озёрах Эбейты, Большое и Малое Медвежье (244–245 мкм), самые мелкие — в озере Гашково (240 мкм).

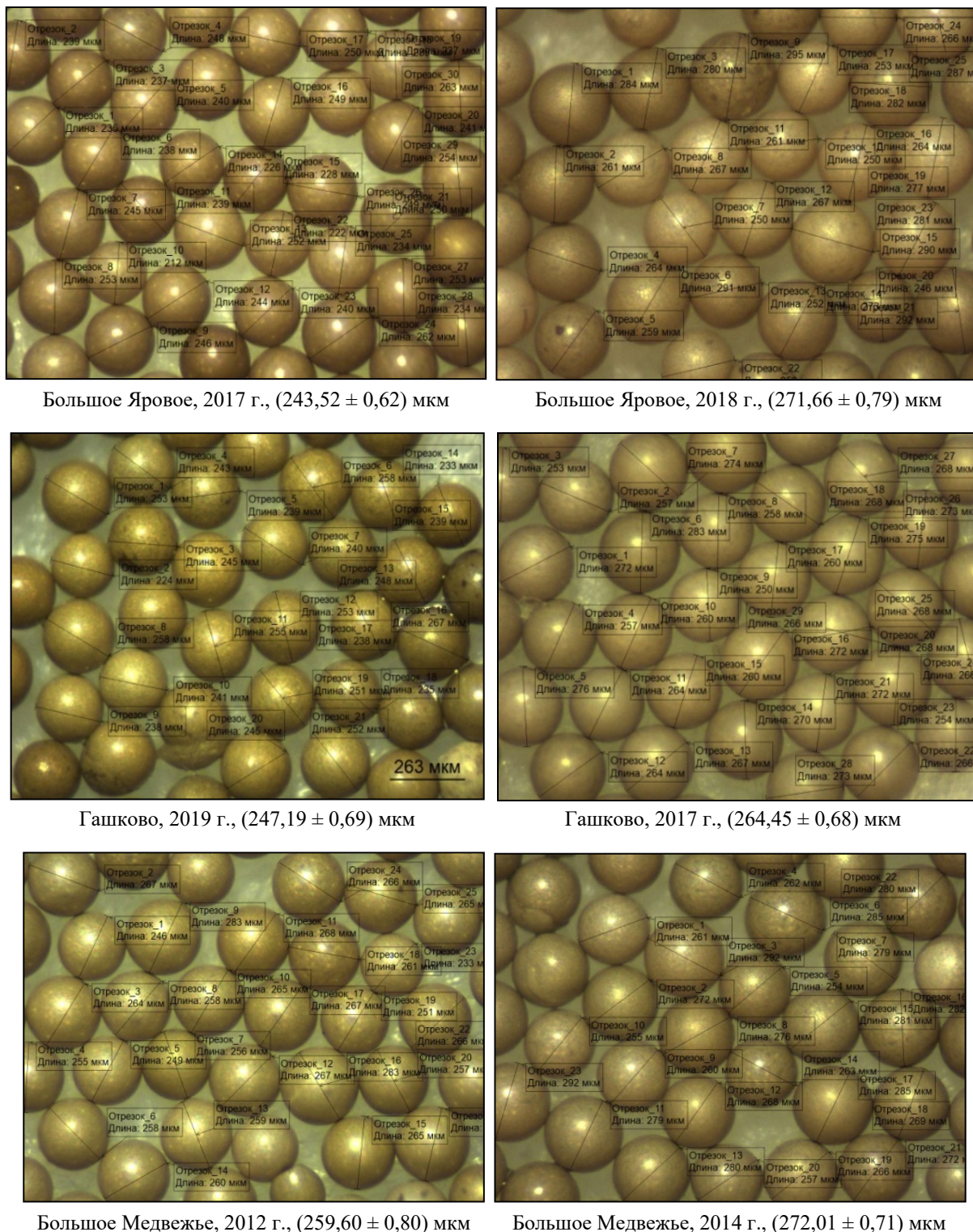
Анализ изменчивости диаметра эмбриона в отдельно взятой пробе ( $n = 100$ ) показал, что стандартное отклонение признака находится в пределах 9,3–19,1 (в среднем  $SD_1 = 13,3$ ), коэффициент вариации — 3,9–7,9 % (в среднем  $CV_1 = 5,4$  %).

Анализ внутривидовой изменчивости диаметра эмбрионов в отдельно взятой популяции ( $n = 3 \dots 7$ ) показал, что стандартное отклонение признака находится в пределах 2,3–6,3 (в среднем  $SD_2 = 4,4$ ), коэффициент вариации — 0,9–2,5 % (в среднем  $CV_2 = 1,8$  %).

Анализ межпопуляционной изменчивости диаметра эмбрионов исследованных популяций ( $n = 6$ ) показал, что  $SD_3 = 4,7$ , а  $CV_3 = 1,9$  %.

Сравнительный анализ трёх видов изменчивости показал, что варибельность признаков ранжируется следующим образом:  $SD_1 > SD_3 > SD_2$  и  $CV_1 > CV_3 > CV_2$ .

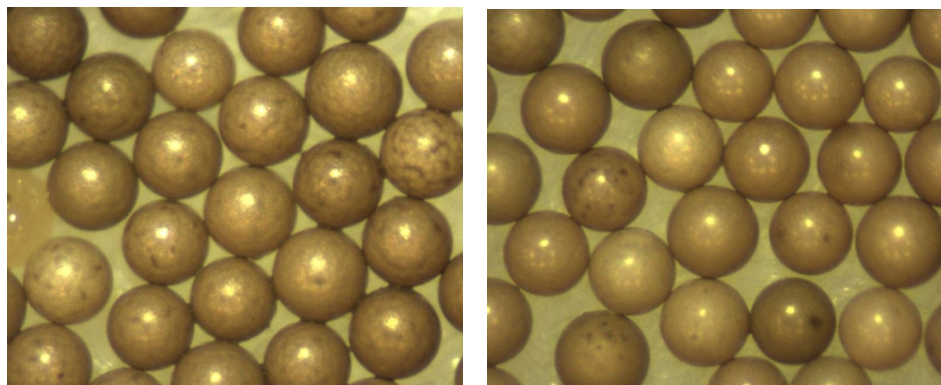
По результатам исследований, изменчивость размеров эмбрионов в отдельных пробах является максимальной, а межпопуляционная изменчивость средних значений превышает внутривидовую.



**Рис. 4.** Фотографии цист популяций, исследованных в разные годы, с наибольшим различием размеров

**Fig. 4.** Photos of cysts of the populations, studied in different years, with the greatest size variability



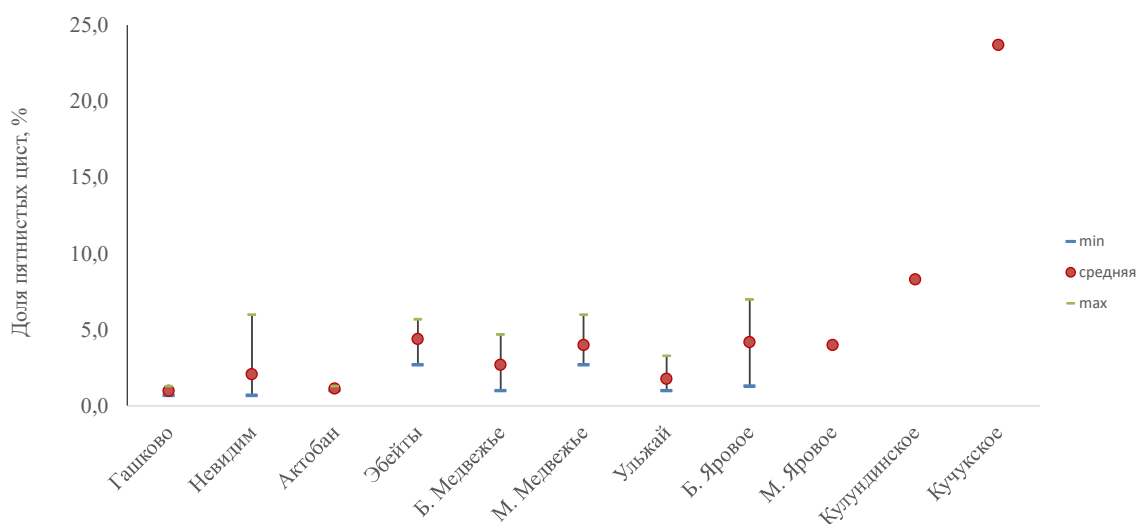


Кучукское, 2017 г., (278,89 ± 0,78) мкм,  
24 % цист с пятнами

Малое Яровое, 2017 г., (279,55 ± 0,75) мкм,  
4 % цист с пятнами

**Рис. 5.** Цисты с пятнами на оболочке

**Fig. 5.** Cysts with spots on a shell



**Рис. 6.** Доля цист с пятнами в популяциях артемии, исследованных в разные годы

**Fig. 6.** Ratio of cysts with spots in *Artemia* populations, studied in different years

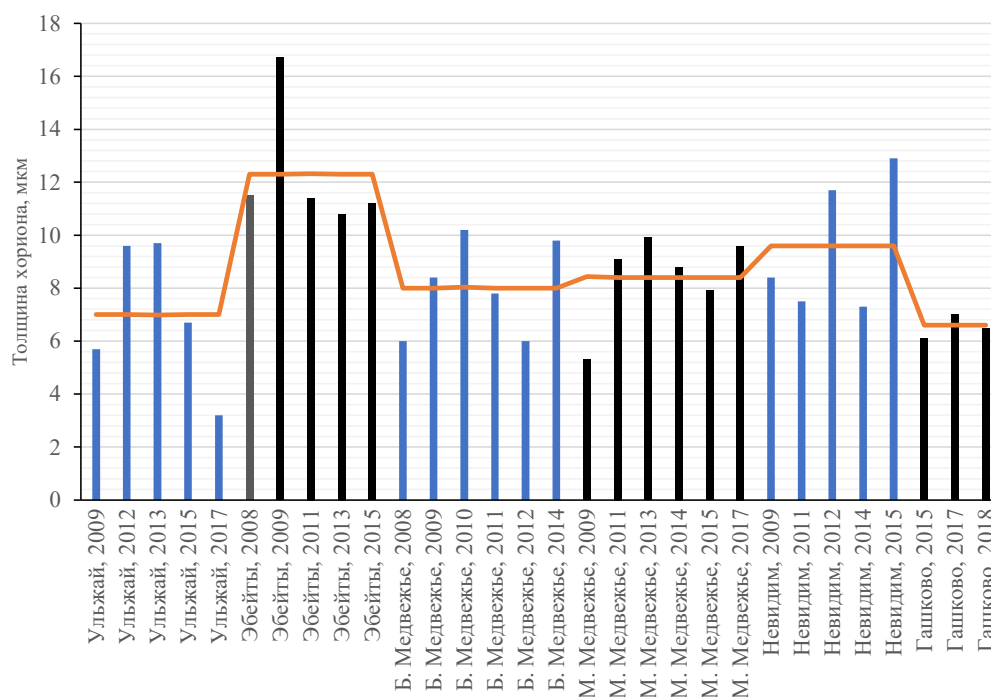
Статистически значимые различия отмечены для 87 % сравниваемых пар средних по популяциям; только для пар Эбейты — Большое Медвежье и Эбейты — Малое Медвежье различия были недостоверными (при  $p \leq 0,05$ ).

Таким образом, для целей популяционной идентификации возможно использовать диаметры эмбрионов, межпопуляционная изменчивость которых, как и в случае с диаметром цист, превышает внутривидовую. При этом следует учитывать, что основные промысловые озёра (Эбейты, Большое Медвежье, Малое Медвежье) характеризуются наличием эмбрионов близких размеров.

*Толщина хориона цист.* В исследованных популяциях артемии абсолютные значения толщины хориона находились в пределах от 3,3 мкм (Ульжай, 2017 г.) до 16,9 мкм (Эбейты, 2009 г.). Сравнение средней толщины хориона по всем изучаемым популяциям показало, что наиболее тонкий хорион — у популяций из озёр Гашково и Ульжай [(6,56 ± 0,29) и (7,01 ± 1,22) мкм соответственно], а наиболее толстый хорион — у цист озера Эбейты [(12,43 ± 1,13) мкм]. Цисты из озёр Большое Медвежье, Малое Медвежье и Невидим имели промежуточные значения толщины [(8,08 ± 0,74), (8,54 ± 0,75) и (9,56 ± 1,38) мкм соответственно] (рис. 7).

**Таблица 2.** Предельные и средние значения диаметров декапсулированных цист (эмбрионов) в исследованных популяциях и их вариабельность**Table 2.** Limit and mean values of the decapsulated cyst (embryo) diameters in the populations studied and their variability

Озеро	Годы сбора цист	Изменчивость диаметра эмбриона (мкм)		
		в пробе, абсолютные значения	внутрипопуляционная, средние по годам	межпопуляционная, среднепопуляционные значения
Ульжай	2009, 2012, 2013, 2015, 2017	196–294	245,1–262,6	253,2
Эбейты	2008, 2009, 2011, 2013, 2015	210–280	238,7–251,0	243,9
Большое Медвежье	2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014	210–294	240,8–246,1	243,7
Малое Медвежье	2009, 2011, 2013, 2014, 2015 (1)*, 2015 (2), 2017	210–280	237,0–250,0	245,2
Невидим	2009, 2011, 2012, 2014, 2015	210–280	244,4–255,6	249,0
Гашково	2015, 2017, 2018	196–266	236,5–242,3	239,9

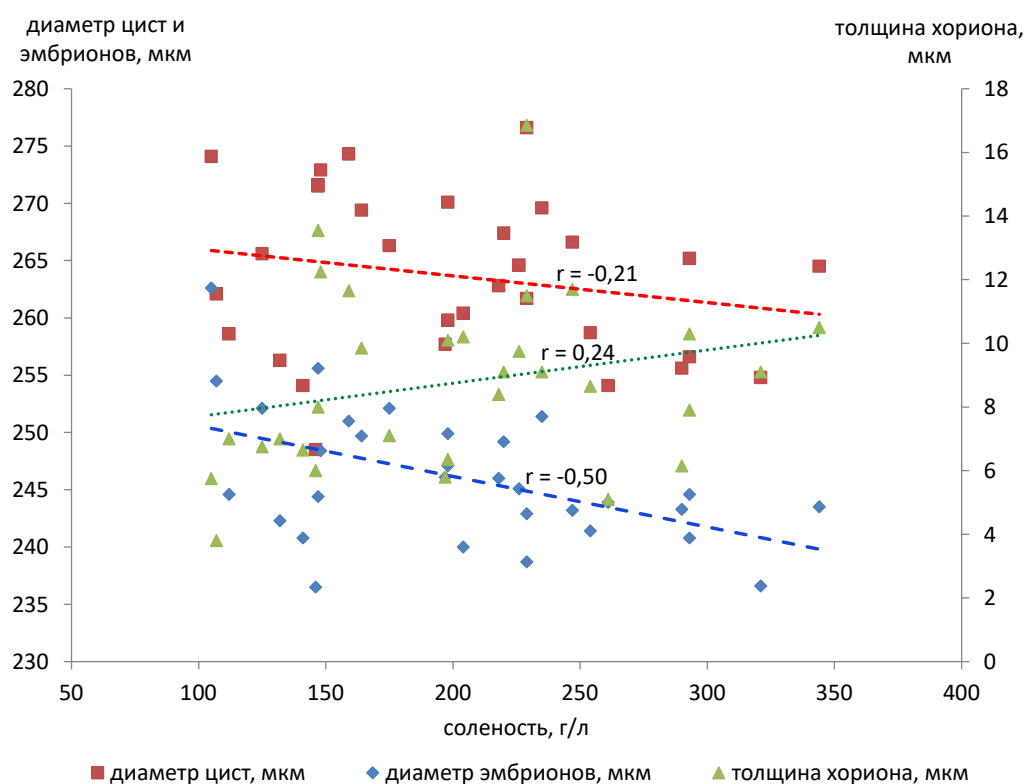
**Примечание:** \* — см. пояснение к табл. 1.**Note:** \* – see explanation to Table 1.**Рис. 7.** Толщина хориона исследованных популяций артемии**Fig. 7.** Chorion thickness of *Artemia* populations studied

Внутрипопуляционный размах варьирования толщины хориона, выраженный через отношение максимальных и минимальных значений в озёрах в разные годы, был незначительным в популяции озера Гашково (1,2), средним в популяциях озёр Невидим, Малое Медвежье и Большое Медвежье (1,8–2,0) и значительным в популяциях озёр Ульжай и Эбейты (2,9–3,0).

Достоверные различия в толщине хориона отмечены для 33 % пар — для Гашково — Малое Медвежье и для Эбейты со всеми озёрами, кроме Невидим.

Таким образом, из изученных цист наиболее обособленными по комплексу параметров являются цисты озера Гашково, как самые мелкие, с тонким хорионом и малой пятнистостью, а также цисты озера Кучукское, имеющие ярко выраженную пятнистость.

*Влияние солёности.* Солёность оказывает большое влияние на рост и размножение артемии в природной среде, поэтому нам важно было выяснить степень влияния солёности рапы материнских озёр на морфометрию цист. На рис. 8 приведены графики зависимости морфометрических параметров цист от солёности. Корреляционный анализ показал наличие слабой отрицательной связи ( $r = -0,21$ ) солёности с диаметром цист и слабой положительной связи ( $r = 0,25$ ) с толщиной хориона. Статистически достоверная отрицательная связь ( $r = -0,5$ ) установлена между солёностью и диаметром эмбрионов при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .



**Рис. 8.** Диаграмма зависимости морфометрических параметров цист от солёности рапы озера (места происхождения цист)

**Fig. 8.** Diagram of the dependence of morphometric indicators of cysts on brine salinity in a lake (source of cysts)

## 2. Морфометрия взрослых артемий.

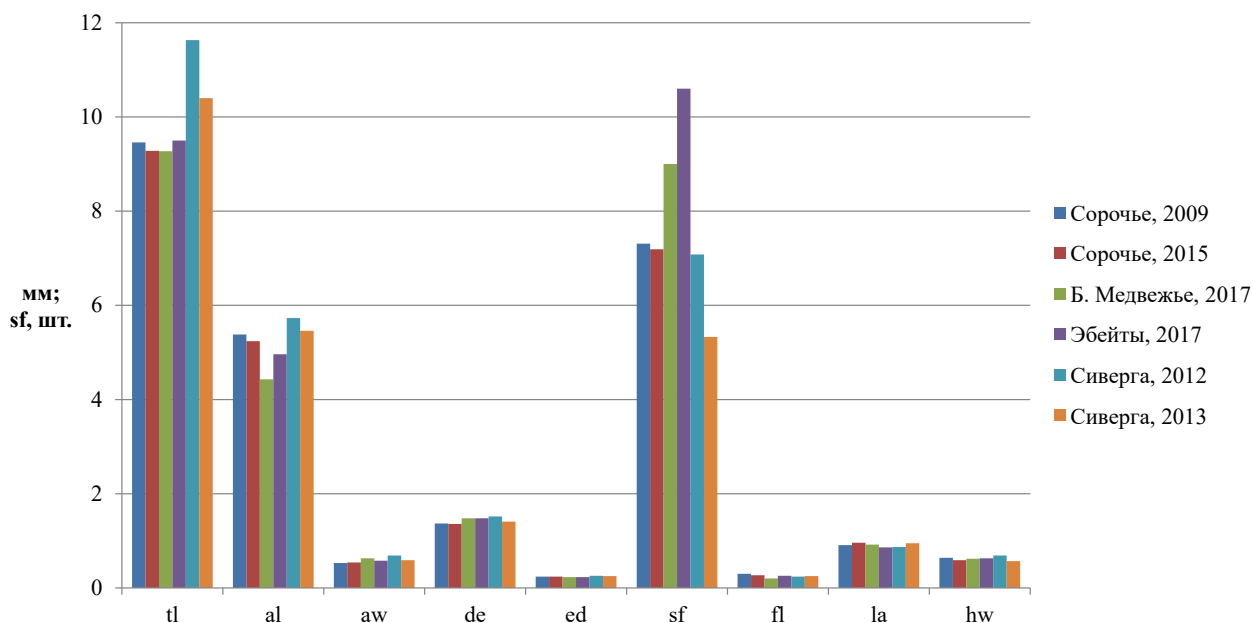
Известно, что солёность среды является главным морфообразующим фактором для взрослых артемий. Чтобы устранить его влияние, мы провели сравнение показателей рачков, выращенных при одинаковой солёности. В табл. 3 и на рис. 9 представлены данные по морфометрии рачков сибирских партеногенетических популяций, выращенных при солёности  $100 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ . Корреляционный анализ морфометрических параметров и солёности материнского водоёма показал, что длина тела выращенных рачков находится в достоверной сильной отрицательной связи с солёностью; для ширины абдомена и расстояния между глазами отмечена средняя отрицательная связь с солёностью.

**Таблица 3.** Морфометрические параметры взрослых артемий исследованных популяций (мм, если не указано другое)**Table 3.** Morphometric indicators of *Artemia* adults of the populations studied (mm, unless otherwise stated)

Озеро, год	tl	al	aw	de	ed	sf, шт.	fl	la	hw	$\Sigma u$ , г·л <sup>-1</sup>
Сорочье, 2009	9,46 ± 0,09	5,38 ± 0,07	0,53 ± 0,01	1,37 ± 0,02	0,24 ± 0,01	7,31 ± 0,28	0,30 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,64 ± 0,01	213
Сорочье, 2015	9,28 ± 0,12	5,24 ± 0,07	0,54 ± 0,01	1,36 ± 0,02	0,24 ± 0,01	7,19 ± 0,51	0,27 ± 0,01	0,96 ± 0,02	0,59 ± 0,01	263
Большое Медвежье, 2017	9,27 ± 0,64	4,43 ± 0,35	0,63 ± 0,03	1,48 ± 0,04	0,23 ± 0,02	9,0 ± 0,00	0,20 ± 0,01	0,92 ± 0,07	0,62 ± 0,02	168
Эбейты, 2017	9,50 ± 0,31	4,96 ± 0,41	0,58 ± 0,04	1,48 ± 0,01	0,23 ± 0,01	10,6 ± 0,4	0,26 ± 0,01	0,86 ± 0,03	0,63 ± 0,03	135
Ульжай, 2015	9,55 ± 0,26	5,02 ± 0,14	0,56 ± 0,03	1,45 ± 0,03	0,24 ± 0,01	10,7 ± 0,45	0,30 ± 0,01	0,91 ± 0,02	0,64 ± 0,03	125
Сиверга, 2012	11,63 ± 0,17	5,73 ± 0,13	0,69 ± 0,02	1,52 ± 0,02	0,26 ± 0,01	7,08 ± 0,4	0,24 ± 0,03	0,87 ± 0,03	0,69 ± 0,01	86
Сиверга, 2013	10,4 ± 0,14	5,46 ± 0,10	0,59 ± 0,02	1,41 ± 0,02	0,25 ± 0,01	5,33 ± 0,58	0,25 ± 0,01	0,95 ± 0,03	0,57 ± 0,01	74
Корреляция с солёностью, <i>r</i>	-0,76*	-0,25	-0,62	-0,67	-0,48	0,04	0,25	0,40	-0,22	

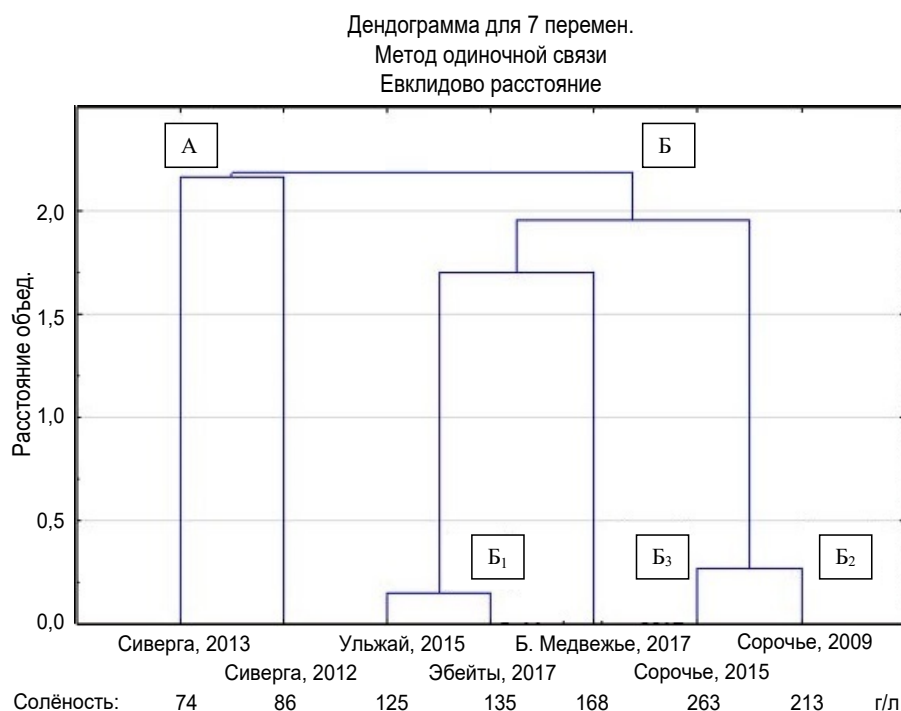
**Примечание:** \* — достоверная связь. Расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы».

**Note:** \* – statistically significant correlation. Abbreviations are explained in “Material and Methods” section.

**Рис. 9.** Морфометрические параметры выращенных рачков из цист разных популяций**Fig. 9.** Morphometric indicators of *Artemia* adults, reared from cysts of different populations

Для оценки совокупности морфометрических параметров был проведён кластерный анализ (рис. 10). Он показал наличие обособленного кластера А, образованного популяцией озера Сиверга (2012 и 2013 гг., с наименьшей солёностью природного водоёма — 74–86 г·л<sup>-1</sup>), и кластера Б, который, в свою очередь, делится на подкластеры Б<sub>1</sub> (Ульжай, 2015 и 2017 гг., 125–135 г·л<sup>-1</sup>), Б<sub>2</sub> (Сорочье, 2009 и 2015 гг., 213–263 г·л<sup>-1</sup>) и Б<sub>3</sub> (Большое Медвежье, 2017 г., 168 г·л<sup>-1</sup>).

Таким образом, рачки артемии, выращенные из цист при одинаковой солёности, несут информацию об условиях обитания, при которых они были сформированы.



**Рис. 10.** Кластерный анализ морфометрических данных выращенных рачков из цист разных западносибирских популяций

**Fig. 10.** Cluster analysis of morphometric data on *Artemia* adults, reared from cysts of different West Siberian populations

## ОБСУЖДЕНИЕ

По мнению некоторых учёных (Vanhaecke & Sorgeloos, 1980), такие показатели, как размеры цист и эмбрионов, а также толщина хориона, определяют вид и в основном неизменны в новых условиях среды. Практика показала, что сложности есть как в определении видов артемии, так и в популяционной дифференциации цист. Известно (Abatzopoulos et al., 1998; Amat, 1980; Asem et al., 2007; Camargo et al., 2005; Eskandari & Saygi, 2019; Litvinenko et al., 2016; Pilla & Beardmore, 1994 и др.), что в морфологическом отношении хорошо обособлен вид *Artemia tibetiana* Abatzopoulos, Zhang & Sorgeloos, 1998 с наибольшими размерами цист (до 330 мкм). Самые мелкие цисты (в среднем — 220–250 мкм) встречаются у трёх видов: *Artemia salina*, *Artemia persimilis* Piccinelli & Prosdocimi, 1968 и *Artemia franciscana* Kellog, 1906. Остальные виды (*A. urmiana*, *A. sinica*) и партеногенетические популяции имеют цисты в основном в пределах 250–280 мкм. В изученных нами водоёмах диаметр цист варьировал в диапазоне 210–330 мкм, в среднем по пробам составляя 244–283 мкм.

В отношении бисексуальных видов и партеногенетических популяций артемий, обитающих в России, имеются трудности в дифференциации по размерам цист из-за отсутствия чётких разделений. Согласно литературным данным (Ануфриева, 2014; Клепиков, 2012; Литвиненко и др., 2018, 2009; Соловов и Студеникина, 1990; Старовойтова и Бурмистрова, 2017; Litvinenko et al., 2016), размерный ряд абсолютных показателей диаметра цист укладывается в градацию от 220 до 290 мкм, а среднепопуляционных — от 240 до 280 мкм. Более крупные размеры для популяций *A. parthenogenetica* отмечены в водоёмах Большое Яшалтинское и Джама (Калмыкия) — от 225 до 370 мкм, в среднем (300 ± 30) мкм (Иванова и др., 2012). Для донных

отложений водоёмов Крыма (Ануфриева, 2014) приведены две размерные группы цист, относящихся к *A. parthenogenetica*, — 243 мкм для диплоидных рас и 279 мкм для полиплоидных. Всё это свидетельствует о генетической неоднородности партеногенетических рас. Анализ диаметра цист 25 партеногенетических популяций артемии Сибири (Литвиненко и др., 2018) показал, что более 50 % популяций имеют близкие (в среднем — 253–261 мкм) к размерам цист основных промысловых озёр размеры и не идентифицируются по этому показателю (различия недостоверны); 33 % популяций имеют более мелкие цисты (240–245 мкм), 14 % — более крупные (265–278 мкм). В нашем исследовании показано, что основные промысловые озёра (Большое Медвежье, Эбейты, Большое Яровое, Кулундинское), на которые приходится до 70 % всего вылова цист артемии в России, имеют близкие среднепопуляционные размеры цист — 262–268 мкм.

Проведённые нами исследования выявили значительную внутривидовую изменчивость цист в разные годы. При сравнении с более ранними литературными данными разница оказалась ещё больше, чем в данном анализе. Так, согласно опубликованным сведениям (Старовойтова и Бурмистрова, 2017), в озере Кулундинское в 1998–2005 гг. средний по году диаметр цист находился в пределах 233–245 мкм, в озере Большое Яровое в 1997–2012 гг. — 235–249 мкм, в озере Малое Яровое в 1998–2016 гг. — 226–256 мкм, то есть в среднем в 1,1 раза (в некоторые годы — в 1,2 раза) ниже, чем зафиксировано нами. Возможно, такая разница связана не только с варьированием размеров цист в одной популяции в разные годы, но и с выбором методики измерений. В нашем исследовании использована более точная микроскопическая техника и изучена большая выборка (300 экз.). Всё это свидетельствует о сложности применения диаметра цист в качестве идентифицирующего признака.

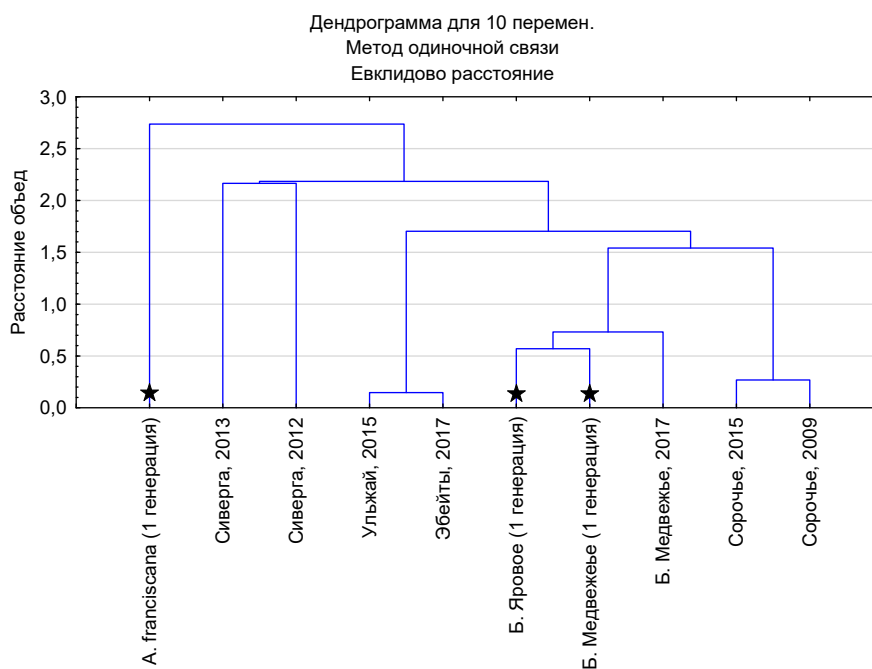
Идентичность проб цист на озере Невидим в 2015 г., отобранных с разницей в месяц, и значительная разница размеров цист в озере Эбейты, собранных в 2017 г., также вызывают сомнения в возможности идентификации популяций даже при наличии банка цист по каждому водоёму во все периоды промысла. Пятнистость цист, не превышающая 5 % почти во всех их пробах, у цист озера Кучукское составила 24 %. В перспективе данный факт может оказаться важным для популяционной идентификации. Об этом свидетельствуют и структурные отличия поверхности цист озера Кучукское, выявленные при использовании сканирующей электронной микроскопии (Егоркина и др., 2008).

Известно (Vanhaecke & Sorgeloos, 1980), что толщина хориона не всегда зависит от диаметра цист: встречаются популяции, имеющие малый диаметр и толстый хорион. В основном толщина хориона находится в диапазоне 4,7–11,2 мкм (Vanhaecke & Sorgeloos, 1980), однако имеются популяции с меньшей и большей средней толщиной: 1,31–9,37 мкм — в озере Урмия (Asem et al., 2007); 3,1–13,2 мкм — в озёрах Колумбии (Camargo et al., 2005); 0,6–8,6 мкм — в водоёмах Турции (Eskandari & Saygi, 2019). Полученные нами абсолютные (3,3–16,9 мкм) и средние (6,56–12,43 мкм) значения расширяют диапазон известных значений толщины хориона в большую сторону, что объясняется, вероятно, более суровыми условиями жизни сибирских популяций. Сравнение полученных данных с ранее опубликованными (Литвиненко и др., 2000) показало, что толщина оболочки цист в отдельных озёрах может значительно меняться. Так, внутривидовая изменчивость толщины хориона в озере Эбейты имела размах колебаний от 3,9 мкм в 2007 г. (Литвиненко и др., 2009) до 12,4 мкм в 2009 г.; в озере Ульжай — от 11,4 мкм в 1999 г. (Литвиненко и др., 2000) до 3,3 мкм в 2017 г. В других популяциях колебания не столь значительны: в озёрах Большое и Малое Медвежье в 1999 г. — 9,3 мкм, в 2007 г. — 7,6 мкм, в 2008–2015 гг. — в пределах 5,1–10,3 мкм (в среднем — 8,3 мкм); в озере Невидим в 1999 г. — 11,6 мкм, в 2007 г. — 8,6 мкм, в 2009–2015 гг. — 7,0–13,5 мкм (в среднем — 9,6 мкм). Полученные данные свидетельствуют о слабой закреплённости признака за популяцией, что связано, по-видимому, с влиянием комплекса природных факторов, в том числе солёности,

на толщину оболочки. Так, для популяций артемии озёр Северо-Казахстанской области, где средняя толщина хориона колебалась в пределах 4,0–8,4 мкм при диаметре цист 279–307 мкм, отмечено, что с увеличением солёности происходит уменьшение толщины хориона (Вольф, 2010). В нашем исследовании между этими признаками зарегистрирована слабая положительная связь.

Морфометрический полиморфизм рачков артемии под влиянием факторов среды, в первую очередь солёности, учёные отмечали ещё на рубеже XIX–XX вв. (Гаевская, 1916 ; Schmankewitsch, 1875). В многочисленных исследованиях (Бойко и др., 2016 ; Воронов, 1979 ; Разова, 2019 ; Ронжина, 2009 ; Соловов и Студеникина, 1990 ; Boyko et al., 2012 ; Litvinenko & Boiko, 2008 ; Litvinenko et al., 2016 и др.) указано, что размеры половозрелых рачков различаются в пределах одного вида и в значительной степени зависят от солёности природного водоёма. Анализ морфометрии рачков из водоёмов Азии, Европы, Африки и Америки, выращенных в лабораторных условиях при одинаковой солёности (Litvinenko & Boiko, 2008), показал, что формирование фенотипа бисексуальных и партеногенетических популяций зависит также от генотипа, о чём свидетельствовала установленная дифференциация между американскими и всеми остальными популяциями Старого Света. В наших опытах с выращенными при одинаковой солёности рачками чёткое разделение на кластеры по популяциям можно объяснить влиянием не только генотипа, но и солёности материнского водоёма, в котором были сформированы цисты.

Дендрограмма сходства (рис. 11), построенная с привлечением литературных данных о морфометрии выращенных рачков первой генерации (Разова, 2019), показала, что американская популяция выделилась в отдельный кластер, а к подкластеру Б<sub>3</sub> (Большое Медвежье, 2017 г.) (см. рис. 10) присоединились популяции озёр Большое Яровое (2016) и Большое Медвежье (2016) со сходной солёностью природной рапы 150–160 г·л<sup>-1</sup>. Размеры рачков последующих генераций имели тенденцию к снижению (Разова, 2019), поэтому можно предположить, что фенотип артемии, несущий информацию о среде, в которой были сформированы цисты, проявляется в первой генерации и частично во второй.



**Рис. 11.** Дендрограмма морфометрических параметров выращенных рачков (★ — привлечённые литературные данные)

**Fig. 11.** Dendrogram of morphometric indicators of reared *Artemia* adults (★ – referenced literature data)

**Выводы:**

1. Цисты артемии сибирских популяций характеризуются значительной внутри- и межпопуляционной изменчивостью диаметра цист и эмбрионов, а также толщины хориона.
2. Морфометрические параметры цист, отобранных в водоёме в разные даты одного года, демонстрируют сезонную изменчивость.
3. В основных промысловых озёрах, на которые приходится около 70 % всей добычи цист артемии по России, цисты имеют близкие среднепопуляционные размеры (262–268 мкм).
4. Между солёностью материнского водоёма и диаметром эмбриона обнаружена отрицательная достоверная связь средней силы.
5. Значительная межгодовая вариабельность признаков цист артемии в одной и той же популяции свидетельствует о том, что морфологические характеристики цист не могут служить надёжными показателями, идентифицирующими популяцию.
6. Пятна на цистах, возможно проявляемые в результате пробоподготовки, в перспективе могут быть использованы в дифференциации некоторых популяций артемии.
7. Морфометрические показатели рачков первой генерации, выращенных из цист при одинаковой солёности, несут информацию о солёности материнского водоёма, что следует учитывать при популяционной идентификации.

Работа выполнена в рамках государственного задания Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр») по прикладной теме «Совершенствование системы регулирования промысла и повышение эффективности использования ресурсов промысловых беспозвоночных гипергалинных водоёмов Российской Федерации» (№ 076-00005-20-ПР).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ануфриева Е. В. *Ракообразные гиперсолёных водоёмов Крыма: фауна, экология, распространение* : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. Севастополь, 2014. 23 с. [Anufrieva E. V. *Rakoobraznye gipersolenykh vodoemov Kryma: fauna, ekologiya, rasprostraneniye* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.02.10. Sevastopol, 2014, 23 p. (in Russ.)]
2. Бойко Е. Г., Литвиненко Л. И., Литвиненко А. И. Сравнительная морфометрическая характеристика рачков рода *Artemia* уральских и западно-сибирских популяций в годы с разной водностью // *Агропродовольственная политика России*. 2016. № 12 (60). С. 63–70. [Boiko E. G., Litvinenko L. I., Litvinenko A. I. Sravnitel'naya morfometrisheskaya kharakteristika rachkov roda *Artemia* ural'skikh i zapadno-sibirskikh populyatsii v gody s raznoi vodnost'yu. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*, 2016, no. 12 (60), pp. 63–70. (in Russ.)]
3. Вольф Л. А. *Экологические особенности жаброногого рачка *Artemia parthenogenetica* Varigozzi в солёных водоёмах Северного Казахстана* : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08. Павлодар, 2010. 23 с. [Volf L. A. *Ekologicheskie osobennosti zhabronogogo rachka *Artemia parthenogenetica* Varigozzi v solenykh vodoemakh Severnogo Kazakhstana* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.02.08. Pavlodar, 2010, 23 p. (in Russ.)]
4. Воронов П. М. Солевой состав и изменчивость *Artemia salina* (L.) // *Зоологический журнал*. 1979. Т. 58, вып. 2. С. 175–179. [Voronov P. M. Salt composition of water variability of *Artemia salina* (L.). *Zoologicheskii zhurnal*, 1979, vol. 58, iss. 2, pp. 175–179. (in Russ.)]
5. Гаевская Н. С. Изменчивость у *Artemia salina* (L.) // *Труды Особой зоологической лаборатории Академии наук. Серия II*. 1916. Т. 3. С. 1–37. [Gajevskaya N. S. Izmenchivost' u *Artemia salina* (L.). *Trudy Osoboi zoologicheskoi laboratorii Akademii nauk, Seriya II*, 1916, vol. 3, pp. 1–37. (in Russ.)]
6. 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 // *Вестник Алтайского*



- государственного аграрного университета. 2008. № 6 (44). С. 44–47. [Egorkina G. I., Pavlova E. K., Vereshchagin A. L., Bychin N. V., Kirillov V. V., Romanova N. S. On identification of *Artemia* parthenogenetic populations in Siberian region. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2008, no. 6 (44), pp. 44–47. (in Russ.)]
7. Иванова В. И., Кониева Г. Н., Бакташева Н. М. Влияние экологических факторов на рост и продуктивность артемии в гипергалинных водоёмах Калмыкии // *Естественные науки*. 2012. № 3 (40). С. 51–55. [Ivanova V. I., Konieva G. N., Baktasheva N. M. Influence of environmental factors on the growth and productivity in *Artemia* hypersaline lakes Kalmykia. *Estestvennye nauki*, 2012, no. 3 (40), pp. 51–55. (in Russ.)]
  8. Клепиков Р. А. Цисты рачка *Artemia Leach, 1819* в гипергалинных озёрах Алтайского края : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. Новосибирск, 2012. 23 с. [Klepikov R. A. *Tsisty rachka Artemia Leach, 1819 v gipergalinykh ozerakh Altaiskogo kraia* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.02.10. Novosibirsk, 2012, 23 p. (in Russ.)]
  9. Ксяомей В., Катанья Ф., Думс Ф., Ван Стаппен Ж., Нассенс Э., Соргелос П., Босси П. Идентификация коммерческих образцов цист галофильного рачка *Artemia* методом RFLP анализа митохондриальной р-ДНК // *Биоразнообразие артемии в странах СНГ: современное состояние ее запасов и их использование*. Тюмень : Госрыбцентр, 2004. С. 157–160. [Xiaomei W., Catania F., Dooms F., Van Stappen G., Sorgeloos P., Bossier P. Authentication of commercial *Artemia* cyst samples by RELP of mitochondrial rDNA. In: *Artemia Biodiversity in the Newly Independent States: Current Global Resources and Their Sustainable Exploitation*. Tyumen : Gosrybtsentr, 2004, pp. 157–160. (in Russ.)]
  10. Лакин Г. Ф. *Биометрия. Учебное пособие для биол. спец. вузов*. Москва : Высшая школа, 1990. 352 с. [Lakin G. F. *Biometriya. Uchebnoe posobie dlya biol. spets. vuzov*. Moscow : Vysshaya shkola, 1990, 352 p. (in Russ.)]
  11. Литвиненко Л. И., Бойко Е. Г., Куцанов К. В., Герасимов А. Г., Разова Л. Ф., Побединцева М. А., Литвиненко А. И. К вопросу идентификации популяционной принадлежности артемии водоёмов России по цистам // *Вестник рыбохозяйственной науки*. 2018. Т. 5, № 1 (17). С. 5–26. [Litvinenko L. I., Boiko E. G., Kutsanov K. V., Gerasimov A. G., Razova L. F., Pobeditseva M. A., Litvinenko A. I. On matters of identification the population of *Artemia* from waters of Russia by cysts. *Vestnik rybkhozyaistvennoi nauki*, 2018, vol. 5, no. 1 (17), pp. 5–26. (in Russ.)]
  12. Литвиненко Л. И., Литвиненко А. И., Бойко Е. Г. *Артемия в озёрах Западной Сибири*. Новосибирск : Наука, 2009. 304 с. [Litvinenko L. I., Litvinenko A. I., Boiko E. G. *Artemiya v ozerakh Zapadnoi Sibiri*. Novosibirsk : Nauka, 2009, 304 p. (in Russ.)]
  13. Литвиненко Л. И., Мамонтов Ю. Г., Иванова О. В., Литвиненко А. И., Чебанов М. С. *Инструкция по использованию артемии в аквакультуре*. Тюмень : СибрыбНИИПроект, 2000. 58 с. [Litvinenko L. I., Mamontov Yu. G., Ivanova O. V., Litvinenko A. I., Chebanov M. S. *Instruktsiya po ispol'zovaniyu artemii v akvakul'ture*. Tyumen : SibrybNIIProekt, 2000, 58 p. (in Russ.)]
  14. Разова Л. Ф. Морфометрические показатели рачков артемии, выращенных в лабораторных условиях // *Современные направления развития науки в животноводстве и ветеринарной медицине* : материалы междунар. науч.-практ. конф., 25 апреля 2019 г. Тюмень : [б. и.], 2019. С. 234–238. [Razova L. F. Morphometric parameters of shrimp *Artemia* grown in the laboratory. In: *Sovremennye napravleniya razvitiya nauki v zhivotnovodstve i veterinarnoi meditsine* : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 25 April, 2019, Tyumen : [s. n.], pp. 234–238. (in Russ.)]
  15. Ронжина Т. О. *Динамика численности популяции галофильного рачка *Artemia sp.* в гипергалинных озёрах юга Западной Сибири* : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Новосибирск, 2009. 19 с. [Ronzhina T. O. *Dinamika chislennosti populyatsii galofil'nogo rachka Artemia sp. v gipergalinykh ozerakh yuga Zapadnoi Sibiri* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.16. Novosibirsk, 2009, 19 p. (in Russ.)]
  16. Соловов В. П., Студеникина Т. Л. *Рачок артемия в озёрах Западной Сибири: морфология, экология, перспективы хозяйственного использования*. Новосибирск : Наука, 1990. 81 с. [Solovov V. P., Studenikina T. L. *Rachok artemiya v ozerakh Zapadnoi Sibiri: morfologiya, ekologiya, perspektivy khozyaistvennogo ispol'zovaniya*. Novosibirsk : Nauka, 1990, 81 p. (in Russ.)]

- Rachok artemiya v ozerakh Zapadnoi Sibiri: morfologiya, ekologiya, perspektivy khozyaistvennogo ispol'zovaniya*. Novosibirsk : Nauka, 1990, 81 p. (in Russ.)]
17. Старовойтова Д. А., Бурмистрова О. С. Размеры цист популяций артемии разнотипных озёр Кулундинской низменности // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2017. № 4 (47). С. 84–92. [Starovoitova D. A., Burmistrova O. S. Size of *Artemia* cysts in different lakes of Kulunda lowland. *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Rossiiskogo geograficheskogo obshchestva*, 2017, no. 4 (47), pp. 84–92. (in Russ.)]
  18. Abatzopoulos T. J., Zhang B., Sorgeloos P. *Artemia tibetiana*: 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, iss. 1, pp. 41–44. <https://doi.org/10.1007/BF02449923>
  19. Amat D. Differentiation in *Artemia* strains for Spain. In: *The Brine Shrimp Artemia*. Vol. 1. *Morphology. Genetics. Radiobiology. Toxicology* / G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels, E. Jaspers (Eds). Wetteren, Belgium : Universa Press, 1980, pp. 19–39.
  20. Asem A., Rastegar-Pouyani N., Agh N. Biometrical study of *Artemia urmiana* (Anostraca: Artemiidae) cysts harvested from Lake Urmia (West Azerbaijan, Iran). *Turkish Journal of Zoology*, 2007, vol. 31, no. 2, pp. 171–180.
  21. Boyko E. G., Litvinenko L. I., Kutsanov K. V., Gabdullin M. A. Specific features of the biology of *Artemia* in lakes of the Urals and Western Siberia. *Russian Journal of Ecology*, 2012, vol. 43, no. 4, pp. 333–340. <https://doi.org/10.1134/S1067413612040054>
  22. Camargo W. N., Duran G. C., Rada O. C., Hernández L. C., Linero J.-C. G., Muelle I. M., Sorgeloos P. Determination of biological and physicochemical parameters of *Artemia franciscana* strains in hypersaline environments for aquaculture in the Colombian Caribbean. *Saline Systems*, 2005, vol. 1, iss. 1, art. no. 9 (11 p.). <https://doi.org/10.1186/1746-1448-1-9>
  23. Eskandari A., Saygi Y. Ecological surveys on the parthenogenetic *Artemia* populations in the hypersaline lakes of Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 2019, vol. 43, no. 4, pp. 367–378. <https://doi.org/10.3906/zoo-1902-24>
  24. Litvinenko L. I., Boiko E. G. The morphological characteristics of *Artemia* shrimps from Siberian populations. *Inland Water Biology*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 37–45. <https://doi.org/10.1007/s12212-008-1007-0>
  25. Litvinenko L. I., Litvinenko A. I., Boyko E. G. *Brine Shrimp Artemia in Western Siberia Lakes*. Novosibirsk : Nauka, 2016, 295 p.
  26. Pilla E. J. S., Beardmore J. A. Genetic and morphometric differentiation in Old World bisexual species of *Artemia* (the brine shrimp). *Heredity*, 1994, no. 73, pp. 47–56. <https://doi.org/10.1038/hdy.1994.97>
  27. Schmankewitsch W. I. Über das Verhältnis der *Artemia salina* Miln-Edw. zur *Artemia salina mulchausenii* Miln-Edw. und dem genus *Branchipus* Schaff. *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie*, 1875, Bd. 25, S. 103–116.
  28. Shadrin N., Anufrieva E., Galagovets E. Distribution and historical biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Ukraine. *International Journal of Artemia Biology*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 30–42.
  29. 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.
  30. Vanhaecke P., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. IV. The biometrics of *Artemia* strains from different geographical origin. In: *The Brine Shrimp Artemia*. Vol. 3. *Ecology, Culturing, Use in Aquaculture* / G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels, E. Jaspers (Eds). Wetteren, Belgium : Universa Press, 1980, pp. 393–405.

**INTRA- AND INTERPOPULATION VARIABILITY  
OF CYSTS AND ADULTS OF ARTEMIA (BRANCHIOPODA: ANOSTRACA)  
IN SIBERIAN POPULATIONS (MORPHOMETRY)**

**L. I. Litvinenko<sup>1,2</sup>, K. V. Kutsanov<sup>1</sup>, L. F. Razova<sup>1</sup>,  
A. Sh. Gadiadullina<sup>1</sup>, A. G. Gerasimov<sup>1</sup>,  
and E. V. Brazhnikov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tyumen branch of the FSBSI “Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography”  
 (“Gosrybtsentr”), Tyumen, Russian Federation

<sup>2</sup>Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russian Federation  
E-mail: [opb@gosrc.ru](mailto:opb@gosrc.ru)

The size of *Artemia* cysts is an important indicator of their value as a food resource; to some extent, it allows to identify populations. The data on cysts of *Artemia* parthenogenetic populations (diameter, chorion thickness, and presence of spots on a shell), sampled in hyperhaline lakes of Western Siberia in different years, were analyzed, as well as the data on the morphometry of *Artemia* adults, reared from cysts at the same salinity. Significant intra- and interpopulation variability in the indicators was established. The absolute values of the cyst diameter were in the range of 210–330  $\mu\text{m}$ , the mean values for the samples – 243.5–282.9  $\mu\text{m}$ , the mean values for populations – 257.8–279.6  $\mu\text{m}$ ; the absolute values of the decapsulated cyst diameter were in the range of 196–294  $\mu\text{m}$ , the mean values for the samples – 236.5–262.6  $\mu\text{m}$ , the mean values for populations – 239.9–253.2  $\mu\text{m}$ ; the absolute values of the cyst chorion thickness were in the range of 3.3–16.9  $\mu\text{m}$ , and the mean values for populations – 6.6–12.4  $\mu\text{m}$ . In the main commercial fishing lakes, which account for about 70 % of the total catch of *Artemia* cysts in Russia, the cysts had similar mean population sizes: 262–268  $\mu\text{m}$ . The absence of intrapopulation anchoring of the cyst diameter and chorion thickness values is concluded; so, they cannot serve as reliable indicators, identifying Siberian populations. Statistically significant correlation ( $r = -0.5$ ) was established between salinity of a mother water body and *Artemia* embryo diameter. Cyst spotting, not exceeding 5 % in almost all the samples, reached 24 % in cysts of Kuchukskoye Lake. Analysis of morphometric indicators of *Artemia* adults, reared from cysts, showed as follows: the mean body length (9.27–11.63 mm), abdomen width (0.53–0.69 mm), and distance between eyes (1.36–1.52 mm) were closely correlated with salinity of a water body ( $r$  values were of  $-0.76$ ;  $-0.62$ ; and  $-0.67$ , respectively). Cluster analysis of a set of morphometric indicators of *Artemia* adults showed the unification of populations based on salinity.

**Keywords:** *Artemia parthenogenetica*, cyst diameter, morphometry of *Artemia* adults, chorion thickness, salinity, population variability, Western Siberia