

На правах рукописи

РАЗОВА ЛЮБОВЬ ФЁДОРОВНА

**ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИХ И РЕПРОДУКТИВНЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ АРТЕМИИ СИБИРСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

Тюмень – 2022

Работа выполнена на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» и в Тюменском филиале ФГБНУ "ВНИРО" ("Госрыбцентр")

Научный руководитель: доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии и рыбохозяйственных исследований ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»
Литвиненко Людмила Ильинична

Официальные оппоненты: **Руднева Ирина Ивановна,** доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории инновационного морского приборостроения ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН

Алешина Ольга Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и эволюционной экологии животных ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»**

Защита диссертации состоится «22» июня 2022 г. в 10-00 на заседании диссертационного совета Д999.114.02 при ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7. Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52, e-mail: dissgausz@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного аграрного университета Северного Зауралья и на сайте университета [http:// www.tsaa.ru](http://www.tsaa.ru)

Автореферат разослан «20» апреля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкаровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Развитие аквакультуры в России и в мире тесно связано с наличием стартовых живых кормов. Цисты жаброногого рачка *Artemia*, из которых в течение суток можно получить науплиусы, во всем мире признаны наилучшим живым стартовым кормом для многих видов рыб и ракообразных (Литвиненко, 2009).

Уникальность артемии как кормового объекта объясняется ее неприхотливостью (рачок распространен в соленых водоемах всего мира), устойчивостью к действию неблагоприятных факторов (сухие цисты не теряют жизнеспособность при -273°C и, при короткой экспозиции, до $+100^{\circ}\text{C}$). Рачки артемии могут жить и размножаться в условиях низкого содержания кислорода, широких колебаний температуры и солености. Все это позволяет получать биомассу рачков артемии и цист, варьируя условиями содержания и выращивания. Высокое значение науплиусов артемии как стартового корма для разных гидробионтов достигается малыми размерами и питательной ценностью. Кроме того, цисты артемии могут храниться длительное время без потери качества (Руднева, 1991).

На мировом рынке цист Россия занимает третью позицию после США и Китая (Litvinenko et al., 2015). В настоящее время существует некоторое равновесие между предложением и спросом цист, но с учетом развития аквакультуры в мире и климатических изменений надо быть готовыми к дефициту цист (Sorgeloos, Roubach, 2021).

О важности артемии для аквакультуры России свидетельствуют факты отнесения ее в 2009 г. приказом Росрыболовства № 191 к ценным видам биоресурсов, а в 2019 г. Постановлением Правительства РФ № 401 — к стратегически важным ресурсам. В России основные промысловые водоемы сосредоточены на юге Западной Сибири на территории от Урала до Саян. Рассредоточение биоресурсов артемии на значительной площади, а также доступность цист для промысла способствуют нелегальному промыслу.

В связи с этим разрабатываются как способы выращивания артемии для получения цист и биомассы рачков в искусственных и естественных условиях (Литвиненко, Куцанов, 2019; Литвиненко и др., 2019, 2021; Sorgeloos et al., 1986; Van Stappen et al., 2019; Camara, 2020; Litvinenko et al., 2021a и др.), так и способы популяционной дифференциации и идентификации (Егоркина и др., 2008; Литвиненко и др., 2018; Vanhaecke, Sorgeloos, 1980; Boyko et al., 2014; Asem et al., 2020; Litvinenko et al., 2021 и др.). При проведении таких работ очень важно знать продукционные и морфологические показатели разных популяций и видов артемии.

Степень разработанности темы исследования

Изучение биологических особенностей природных популяций артемии довольно широко представлено как в зарубежной (Sorgeloos et al., 1986; Van Stappen, 2002; Cohen, 2012; Shadrin et al., 2012; Zheng, Sun, 2013 и др.), так и в отечественной литературе (Соловов, Студеникина, 1990; Веснина, 2002; Литвиненко и др., 2009; Руднева и др., 2020 и др.). Также достаточно полно в зарубежной литературе представлены репродуктивные характеристики отдельных видов и популяций артемии, полученные в условиях культивирования рачков. По российским популяциям такие данные в основном отсутствуют. Вместе с тем, изучение биологических особенностей сибирских популяций артемии и их репродуктивных характеристик в экспериментальных условиях позволят не только получить новые знания, но и предложить для производства наиболее продуктивные популяции.

Цель исследований – оценка биологических особенностей и репродуктивных характеристик артемии сибирских популяций.

Задачи исследований:

- усовершенствовать методологию по определению морфометрии цист и репродуктивных характеристик рачков артемии при их искусственном выращивании;
- оценить морфологический полиморфизм цист и выращенных рачков; выявить признаки, позволяющие дифференцировать разные популяции;
- определить репродуктивные показатели артемии сибирских популяций;
- определить факторы, влияющие на морфометрию цист, на продукционные показатели и морфометрию выращенных рачков артемии;
- выявить репродуктивные особенности сибирских партеногенетических популяций артемии и сравнить их с бисексуальной американской популяцией;
- составить рейтинг сибирских популяций по репродуктивным характеристикам для использования в аквакультуре.

Научная новизна. Впервые изучены репродуктивные показатели артемии сибирских популяций, выращенной в условиях культуры. Впервые изучена возможность популяционной идентификации по репродуктивным показателям и морфометрии цист и рачков артемии. Впервые определено влияние солености воды озер (место происхождения цист) на морфометрические параметры цист и выращенных из цист рачков артемии сибирских популяций. Составлен рейтинг сибирских популяций по репродуктивным характеристикам артемии.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные в работе данные по репродуктивным параметрам артемии сибирских популяций, по влиянию солености рапы на морфометрию цист и выращенных рачков вносят определенный вклад в развитие как продукционной гидробиологии, так и экологии в целом. Получены новые данные по морфометрии рачков и цист артемии из разных популяций, которые послужат исходным материалом при разработке методов популяционной идентификации и дифференциации.

Результаты исследования могут быть использованы при выборе наиболее продуктивного объекта для аквакультуры. Полученные результаты используются в ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья» для направления подготовки 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» по дисциплинам бакалавриата «Гидробиология» и «Промысловые беспозвоночные».

Работа выполнена в рамках государственного задания Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр») по прикладным темам «Совершенствование системы регулирования промысла и повышение эффективности использования ресурсов промысловых беспозвоночных гипергалинных водоемов Российской Федерации» и «Разработка технологической документации по выращиванию рачка артемии в условиях Юга России, Республики Крым, Сибири» (№ 076–00005–20 ПР).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Соленость материнской рапы влияет на некоторые морфометрические параметры цист и рачков артемии, выращенных из цист.
2. Сибирские популяции артемии отличаются от американской (*Artemia franciscana*) отсутствием самцов, низким живорождением, высоким цистообразованием.
3. Внутрипопуляционная изменчивость морфометрических параметров цист в большинстве случаев не позволяет достоверно дифференцировать популяции по этому признаку – из шести изученных популяций только цисты двух озер отличались по диаметру цист и толщине хориона.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на заседаниях кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ГАУ Северного Зауралья в 2015-2020 гг., а также на конференциях: «Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения» (Тюмень, 2016, 2017, 2018, 2019); на третьей международной школе молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии (Звенигород, Московская область, 2018).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 4 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК РФ, 1 статья – в журнале, индексируемом в базе Scopus.

Личный вклад. В основу настоящей работы положены собственные исследования автора, который принимал непосредственное участие в составлении методики проведения опытов; самостоятельно проводил лабораторные исследования и наблюдения; обобщил и проанализировал экспериментальные данные, подготовил публикации, сформулировал выводы и написал текст диссертации.

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 171 странице, состоит из введения, 4 глав, заключения, практических рекомендаций, содержит 25 таблиц, 41 рисунок, приложения. Список литературы включает 190 источников, в том числе 111 иностранных и 13 электронных ресурсов.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность и признательность научному руководителю – доктору биологических наук Людмиле Ильиничне Литвиненко за помощь и ценные советы, а также сотрудникам лаборатории промысловых беспозвоночных Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр») за помощь в отборе проб цист и проведении экспериментов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе представлен обзор исследований российских и зарубежных ученых по биологии артемии, экологии и распространению, репродуктивным характеристикам артемии разных популяций и влияние на них абиотических факторов, использованию артемии в аквакультуре.

ГЛАВА 2 КРАТКАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТООБИТАНИЯ СИБИРСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ АРТЕМИИ

Рассматриваемые в исследовании популяции артемии обитают в озерах, расположенных на территории Западной Сибири от Урала до Алтая (рис. 1, табл. 1). Расстояние между наиболее удаленными озерами по прямой составляет 1080 км. Озера из Омской области и Алтайского края (Эбейты, Ульжай, Большое Яровое и Кучукское), расположенные на долготе 71–79°, находятся восточнее остальных 6 озер, территориально расположенных близко на долготе (63–68°). Южнее всех находятся озера Большое Яровое и Кучукское. Из рассматриваемых озер к самому крупному по площади относится Кучукское (166 км²), а наиболее глубокому – Большое Яровое (средняя глубина – 4,4 м, максимальная – 8 м). Площадь остальных озер находилась в пределах 2,2–83,3 км², средняя глубина – 0,4–2,3 м.

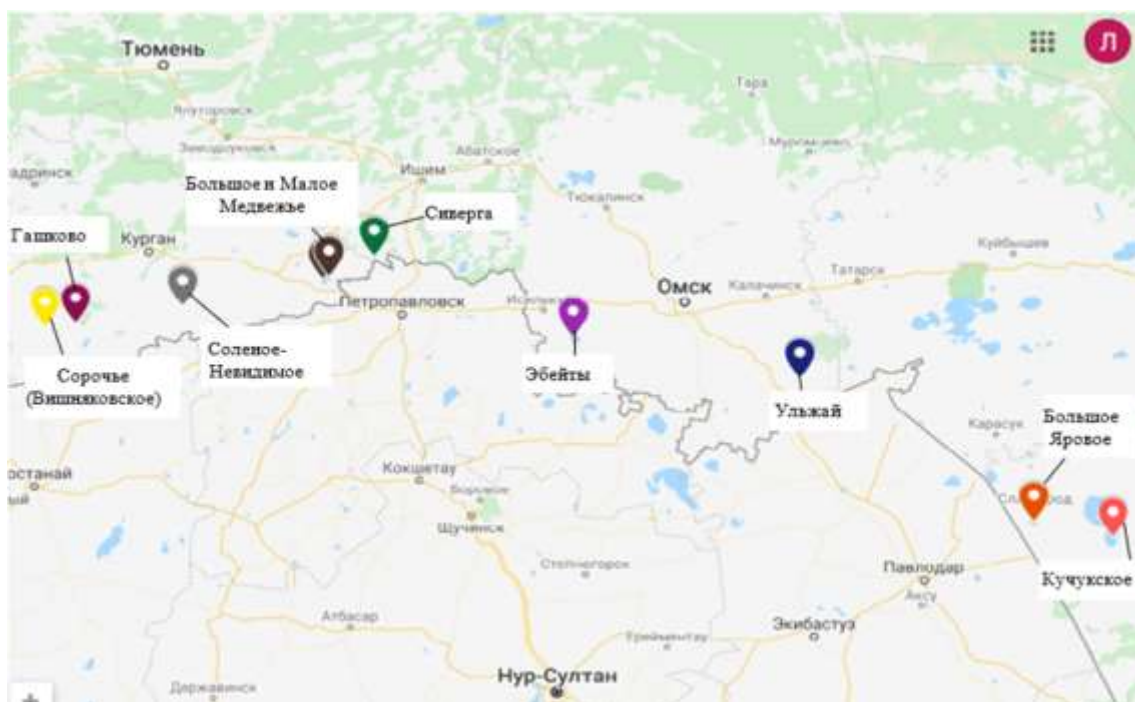


Рис. 1 – Расположение озер — местобитание исследованных популяций артемии

Таблица 1 – Географическое расположение основных артемиевых озер Западной Сибири и их некоторые характеристики

Название озер	Обозначение	Географические координаты	Площадь, км ²	Глубина, м	
				средняя	максимальная
Курганская область					
Соленое-Невидимое	СН	55°08'09"N–66°54'56"E	7,18	0,7	1,6
Большое Медвежье	БМ	55°15'00"N–67°50'00"E	38,3	0,8	1,3
Малое Медвежье	ММ	55°15'00"N–68°05'00"E	18,1	0,8	1,2
Сорочье (Вишняковское)	СВ	54°44'48"N–63°48'51"E	2,2	0,9	1,8
Гашково	Г	54°42'00"N–64°32'00"E	3,51	1,1	2,0
Тюменская область					
Сиверга	С	55°23'38"N–68°45'55"E	52,13	0,6	1,3
Омская область					
Эбейты	Э	54°40'00"N–71°45'00"E	83,3	0,4	0,7
Ульжай	У	54°14'10"N–75°10'32"E	8,64	0,5	1,0
Алтайский край					
Большое Яровое	БЯ	52°52'12"N–78°36'45"E	66,7	4,4	8,0
Кучукское	К	52°41'00"N–79°46'00"E	166,0	2,3	3,0

Наиболее соленые озера – Кучукское, Большое Медвежье, Малое Медвежье, Сорочье и Эбейты. Средняя соленость рапы этих озер около 216 г/дм³ (194-268 г/дм³). Наименьшая соленость воды у озера Сиверга (около 70 г/дм³). Минерализация озер Соленое-Невидимое, Ульжай, Гашково и Большое Яровое имеет промежуточные значения (от 107 до 161 г/дм³) (табл. 2).

Таблица 2 – Соленость воды в местах обитания исследованных популяций артемии в период 2000-2019 гг. (по данным ТФ)

Озера	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	средняя
БМ	225	198	167	165	195	184	200	182	197	254	293	293	290	207	218	188	129	168	185	182	206
ММ	235	198	175	156	194	181	207	173	198	261	304	321	315	204	220	198	124	164	176	204	210
СН	126	101	68	66	79	75	95	101	130	147	185	175	148	117	147	112	92	52	60	60	107
СВ	192	112	68	83	102	93	124	118	142	213	279	319	371	244	356	263	183	230	301	291	204
У	143	109	89	92	105	77	-	72	100	105	91	136	235	226	142	125	78	107	92	81	116
Э	-	288	193	154	172	141	169	125	159	229	263	247	396	344	131	229	82	135	128	103	194
С	115	64	45	-	-	-	70	54	80	83	102	90	86	74	81	66	50	42	54	51	71
Г	107	78	53	-	-	-	-	-	-	102	134	137	155	156	172	146	107	132	141	164	127
БЯ	-	-	172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	-	161
К	-	-	-	-	-	-	268	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	223	-	246

ГЛАВА 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования послужили популяции артемии в озерах Тюменской (Сиверга), Курганской (Большое Медвежье, Малое Медвежье, Соленое-Невидимое, Сорочье, Гашково), Омской (Эбейты, Ульжай) областей и Алтайского края (Большое Яровое, Кучукское). Данные озера имеют различные характеристики по солености и химическому составу воды.

Видовой статус артемии сибирских популяций не определен. В Западной Сибири, не определенные до вида популяции, размножающиеся партеногенетически, условно объединены под общим названием *Artemia parthenogenetica* Bowen & Sterling, 1978.

Материалом для исследования послужили пробы сухих цист артемии сибирских партеногенетических популяций и артемии бисексуальной популяции *Artemia franciscana* (США, Great Salt Lake) из банка цист лаборатории промысловых беспозвоночных Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО», отобранные в разные годы и хранящиеся при температуре 5 °С в темноте в закрытых сосудах без доступа кислорода.

Исследования проводили в период с 2015 по 2021 гг. Схема экспериментальных работ представлена на рисунке 2.

3.1 Пробоподготовка и морфометрия цист

Материалом послужили цисты артемии, отобранные в озерах Западной Сибири в разные годы. При исследовании морфометрии цист было обнаружено изменение их диаметра во времени, вероятно, обусловленное метаболизмом живых цист. Стояла задача: прекратить метаболизм наиболее приемлемым способом. Для этого были проведены исследования с неактивированными цистами сибирской популяции из озера Большое Медвежье Курганской области. Цисты перед экспериментом гидратировали (выдерживали в пресной воде около 1 ч), затем через 10 мин, 2 ч и 1 сут измеряли диаметр цист, эмбрионов и толщину хориона. Для прекращения метаболизма в цистах, приводящего к искажению их размеров, были проведены опыты с воздействием 1%-ного раствора Люголя в течение 18 ч (в темноте), электромагнитного излучения микроволновой печи (700 ватт, 10 мин) и температуры воды 100 °С (цисты заливались кипятком), температуры воздуха 90 °С (цисты помещали во влагомер на 10 мин).



Рис. 2 – Схема проведенных исследований

3.2 Инкубация цист

Для инкубации помещали цисты артемии в конусовидный сосуд, заполненный раствором солей (20 г/дм^3 морской соли и 2 г/дм^3 пищевой соды), согласно инструкции (Литвиненко и др., 2000). Для наилучшего выклева в сосуд добавляли 3%-ный раствор перекиси водорода в количестве $0,6 \text{ мл/л}$. Инкубацию проводили 24–36 ч при температуре $25\text{--}30^\circ\text{C}$, при постоянном освещении и аэрации.

3.3 Выращивание рачков

После массового вылупления из цист науплиусы пересаживали в 3-х литровые емкости, заполненные отстоянной водопроводной водой при минерализации 100 г/дм^3 (NaCl (морская соль) – 55 г/дм^3 , NaCl (химическая соль) – 15 г/дм^3 , MgSO_4 – $11,9 \text{ г/дм}^3$, NaHCO_3 – 10 г/дм^3 , CaCl_2 – $4,5 \text{ г/дм}^3$, KCl – $3,6 \text{ г/дм}^3$) и 150 г/дм^3 (NaCl (морская соль) – 93 г/дм^3 , NaCl (химическая соль) – 21 г/дм^3 , MgSO_4 – 21 г/дм^3 , NaHCO_3 – 9 г/дм^3 , CaCl_2 – 3 г/дм^3 , KCl – $2,9 \text{ г/дм}^3$). В качестве корма использовали перемолотый рис и протококковые зеленые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. Выращивание рачков проводили при постоянной аэрации воды и температуре $25\text{--}27^\circ\text{C}$.

3.4 Морфометрия науплиусов и рачков

Длину определяли у свежевыклюнувшихся науплиусов. В течение выращивания на каждые третьи сутки измеряли длину рачков. При достижении выращенными рачками половозрелости, проводили их полный морфологический анализ по 9 признакам: 8 пластических и 1 меристический.

3.5 Определение репродуктивных параметров

Рачков артемии после вылупления выращивали при солености 100 и 150 г/дм^3 . В период выращивания определяли: продолжительность жизни в сутках (ПЖ),

предрепродуктивного периода (прРП), репродуктивного (РП) и пострепродуктивного периодов (постРП) рачков, количество потомков на самку (экз.) и процент цистообразования (Ц%). Относительную скорость роста длины тела рачков (C_L) до достижения ими половозрелой стадии определяли по формуле И. И. Шмальгаузена и С. Броди (Козлов, Абрамович, 1982).

3.6 Статистический анализ

Статистический анализ проводили по общепринятым методикам (Лакин, 1990). При анализе использовались: средняя арифметическая (M), минимальные (min) и максимальные (max) значения признаков, ошибка средней арифметической (m), коэффициент вариации (C_v , %), стандартное отклонение (SD , σ), выборка (n), коэффициент корреляции (r). Достоверность различий выборок оценивали по критерию Стьюдента (t_{st}) при уровнях значимости $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,005$. Расчет всех числовых показателей произведен в программах Microsoft Excel. Кластерный анализ проведен в программе Statistica 13.3. Объем исследованного материала приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем исследованного материала

Показатели	Количество популяций	Количество проб	Количество особей
Морфометрия цист для методики	1	15	1500
Морфометрия цист	6	31	3100
Морфометрия науплиусов I стадии	8	12	340
Морфометрия рачков	9	15	575
Плодовитость самок	10	16	893
Итого	11*	62	4568

Примечание: *популяции озер: Сиверга; Сорочье (Вишняковское); Большое Медвежье; Малое Медвежье; Эбейты; Ульжай; Гашково; Соленое Невидимое; Большое Яровое; Кучукское; GSL.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Морфометрия цист

4.1.1 Разработка усовершенствованного метода определения морфометрических параметров цист

Проведены четыре эксперимента (воздействие 1%-ным раствором Люголя, кратковременное воздействие горячей водой (около 100 °C), горячим воздухом (90 °C), электромагнитным излучением). Наилучший результат остановки метаболизма цист для дальнейшего проведения морфометрического анализа — воздействие раствором Люголя, который в отличие от других факторов воздействия полностью прекращает метаболизм в цистах, не повреждает оболочку цист и не приводит к искажению результатов измерения во времени.

4.1.2 Диаметр цист

Абсолютные значения диаметра цист исследованных популяций (рисунок 3) были в пределах 210–392 мкм, средние по пробам: от 248,5±1,2 (Гашково, 2015 г.) до 276,64±1,63 мкм (Эбейты, 2009 г.), средние по популяциям (за ряд лет) — от 252,98±2,02 мкм (Гашково) до 268,72±3,22 мкм (Эбейты). По этим показателям цисты озера Гашково на высоком уровне значимости ($p \leq 0,01$) достоверно отличались от цист трех озер (Ульжай, Эбейты и Соленое Невидимое), на уровне значимости $p \leq 0,05$ — от остальных озер.

4.1.3 Диаметр эмбрионов

Абсолютные значения диаметра эмбрионов в исследованных популяциях были в пределах 196-294 мкм (рис. 4), средние по пробам – от 236,5±1,03 (Гашково, 2015 г.) до 262,64±1,52 мкм (Ульжай, 2009 г.). При сравнении среднего диаметра эмбрионов по всем исследованным популяциям (пробы одного озера за ряд лет) выяснилось, что более мелкие эмбрионы находятся в озере Гашково – 239,88±1,51 мкм. Наиболее крупные размеры эмбриона артемии отмечены в озере Ульжай – 253,18±3,16 мкм.

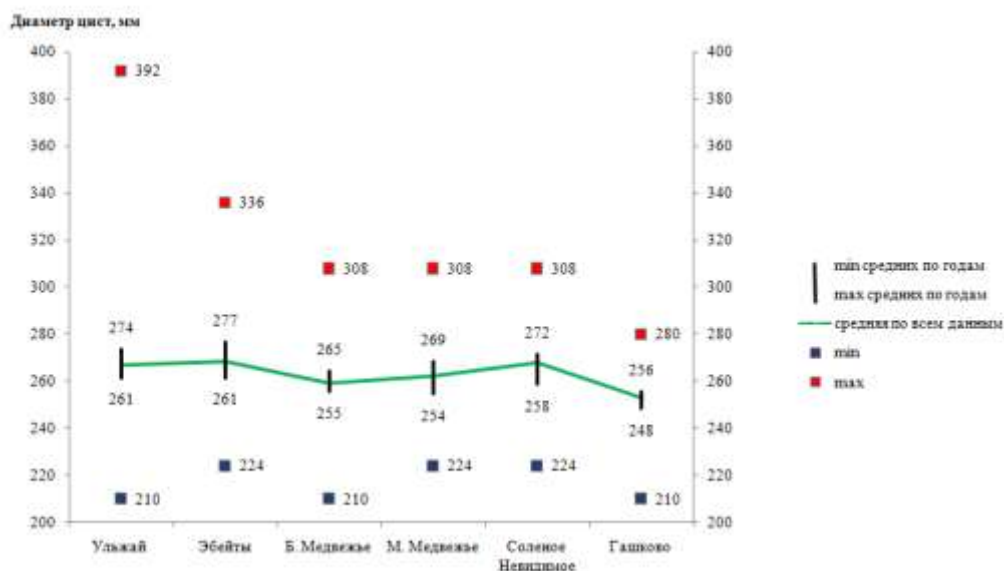


Рис. 3 – Диаметр цист в популяциях озер за ряд лет

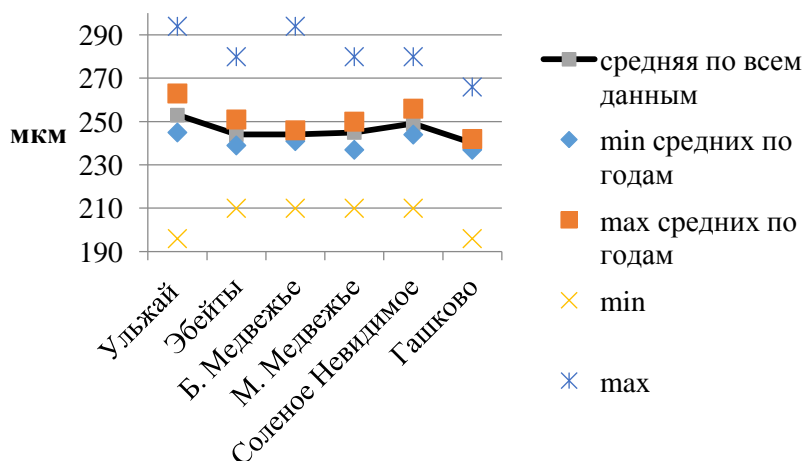


Рис. 4 – Диаметр декапсулированных цист (эмбрионов) в 6 озерах за ряд лет

4.1.4 Толщина хориона

По всему массиву полученных данных по популяциям артемии в разные годы наименьшая толщина хориона цист составляла 3,29 мкм (Ульжай, 2017 г.), наибольшая – 16,87 мкм (Эбейты, 2009 г.). Среднепопуляционные значения толщины хориона были в пределах от 6,56±0,25 мкм (Гашково) до 12,43±1,26 мкм (Эбейты) (рисунок 5). Цисты озера Эбейты достоверно ($p \leq 0,05$) отличались от цист исследованных озер, за исключением цист озера Солёное Невидимое.

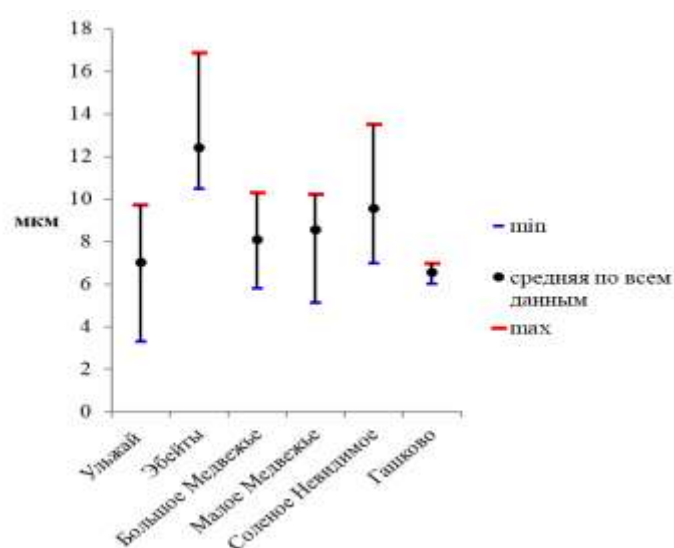


Рис. 5 – Толщина хориона цист в популяциях озёр за ряд лет

4.1.5 Зависимость морфометрических параметров цист от солёности рапы озера

Известно, что солёность воды оказывает большое влияние на рост и размножение рачков артемии. Корреляционный анализ между солёностью воды и морфометрическими параметрами цист (рис. 6) показал наличие: слабой отрицательной связи с диаметром цист ($r = -0,21$); слабой положительной – с толщиной хориона ($r = 0,25$); статистически достоверной средней силы отрицательной связи – с диаметром эмбрионов ($r = -0,5$).

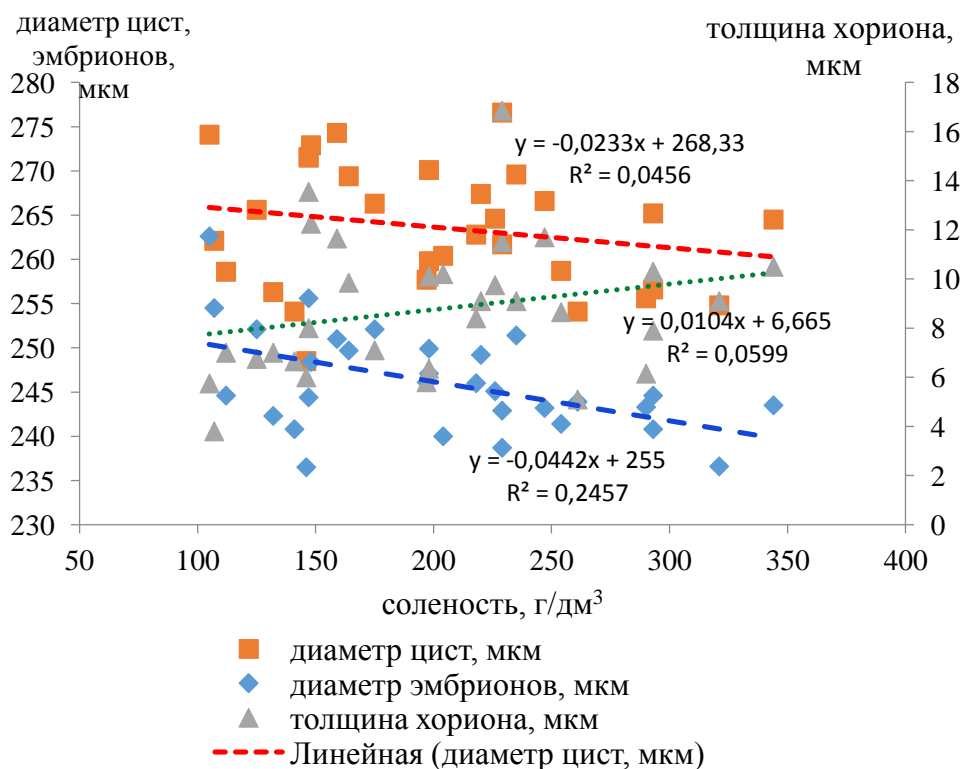


Рис. 6 – Зависимость морфометрических параметров цист от солёности рапы озера (места происхождения цист)

4.2 Морфометрические показатели рачков, выращенных из цист в лабораторных условиях

4.2.1 Морфометрия науплиусов

Средние по пробам показатели длины науплиусов находились в пределах от 0,43±0,01 мм (Ульжай, 2015 г.) до 0,51±0,02 мм (Кучукское, 2017 г.) и 0,51±0,004 мм (Б.Медвежье, 2019 г.).

4.2.2 Морфометрия рачков

Сравнение морфометрических параметров рачков из разных популяций, показало, что наибольшая длина тела (*tl*) отмечена для рачков из озера Сиверга (2012 г.) – 11,6 мм, наименьшая из озера Большое Яровое (2016 г.) – 8,34 мм. Наибольшая длина абдомена (*al*) отмечена у артемии из озера Гашково (2019 г.) – 6,46 мм, а наименьшая – у артемии из озера Большое Медвежье (2017 г.) – 4,43 мм. Ширина абдомена (*aw*) рачков изменялась от 0,47 (оз. Эбейты, 2018 г. и оз. Ульжай, 2018 г.) до 0,69 мм (оз. Сиверга, 2012 г.). Наибольшее расстояние между глазами (*de*) наблюдалось у рачков из озера Кучукское, 2017 г. – 1,55 мм, а наименьшее из озера Большое Медвежье (2016 г.) – 1,23 мм; наибольший диаметр глаз (*ed*) – у рачков из озера Большое Медвежье – 2019 г. (0,30 мм). Артемия из озера Гашково (2019 г.) характеризовалась наименьшим числом фуркальных щетинок (*sf*) – 3,3 шт. Самой короткой фуркой (*fl*) отличались рачки из озера Гашково 2019 г. – 0,15 мм. Длина антенны (*la*) варьировала от 0,69 (озеро Большое Медвежье, 2016 г.) до 0,96 мм (озеро Сорочье, 2015 г.), ширина головы (*hw*) – от 0,5 (оз. Большое Медвежье, 2019 г. и озеро Ульжай, 2018 г.) до 0,69 мм (оз. Сиверга, 2012 г.) (табл. 4).

Таблица 4 – Морфометрические параметры рачков исследованных популяций (мм, шт.)

Озеро, год	<i>tl</i>	<i>al</i>	<i>aw</i>	<i>de</i>	<i>ed</i>	<i>sf</i>	<i>fl</i>	<i>la</i>	<i>hw</i>
СВ, 2009	9,46±0,0	5,38±0,07	0,53±0,01	1,37±0,02	0,24±0,01	7,31±0,2	0,30±0,0	0,91±0,0	0,64±0,0
СВ, 2015	9,28±0,1	5,24±0,07	0,54±0,01	1,36±0,02	0,24±0,01	7,19±0,5	0,27±0,0	0,96±0,0	0,59±0,0
БМ, 2016*	8,67±0,3	4,77±0,27	0,48±0,02	1,23±0,04	0,25±0,01	7,84±0,4	0,24±0,0	0,69±0,0	0,52±0,0
БМ, 2017*	9,27±0,6	4,43±0,35	0,63±0,03	1,48±0,04	0,23±0,02	9,00±0,0	0,20±0,0	0,92±0,0	0,62±0,0
БМ, 2019	9,77±0,2	4,86±0,22	0,50±0,01	1,34±0,04	0,30±0,00	5,73±0,6	0,21±0,0	0,89±0,0	0,50±0,0
ММ, 2017	9,50±0,3	4,96±0,41	0,58±0,04	1,48±0,01	0,23±0,01	10,60±0,0	0,26±0,0	0,86±0,0	0,63±0,0
Э, 2018	9,70±0,1	5,70±0,10	0,47±0,01	1,38±0,02	0,24±0,01	5,54±0,5	0,19±0,0	0,88±0,0	0,55±0,0
У, 2015	9,55±0,2	5,02±0,14	0,56±0,03	1,45±0,03	0,24±0,01	10,70±0,0	0,30±0,0	0,91±0,0	0,64±0,0
У, 2018	9,54±0,1	5,73±0,13	0,47±0,01	1,45±0,02	0,26±0,01	4,00±0,4	0,29±0,0	0,92±0,0	0,50±0,0
С, 2012	11,6±0,1	5,73±0,13	0,69±0,02	1,52±0,02	0,26±0,01	7,08±0,4	0,24±0,0	0,87±0,0	0,69±0,0
С, 2013	10,4±0,1	5,46±0,10	0,59±0,02	1,41±0,02	0,25±0,01	5,33±0,5	0,25±0,0	0,95±0,0	0,57±0,0
Г, 2019	10,5±0,1	6,46±1,01	0,53±0,01	1,51±0,02	0,26±0,01	3,30±0,3	0,15±0,0	0,87±0,0	0,59±0,0
БЯ, 2016*	8,34±0,2	4,47±0,19	0,51±0,02	1,26±0,03	0,24±0,01	7,71±0,5	0,28±0,0	0,74±0,0	0,51±0,0
БЯ, 2017	9,08±0,1	5,07±0,12	0,54±0,01	1,41±0,02	0,26±0,01	5,80±0,4	0,27±0,0	0,80±0,0	0,57±0,0
К, 2017	9,49±0,2	5,61±0,21	0,56±0,01	1,55±0,03	0,27±0,01	6,00±0,5	0,27±0,0	0,84±0,0	0,62±0,0

Примечание: жирным шрифтом показаны максимальные величины, серым – минимальные,

* – выращивание при солёности 150 г/дм³.

Оценка достоверности различий по всему массиву относительных значений морфометрических параметров рачков, показала, что в среднем доля достоверных различий составляет 72,4 %, при этом достоверных внутривидовых различий –

79,6 %, межпопуляционных – 71,9 %, то есть в отличие от абсолютных значений – внутривнутрипопуляционные различия оказались выше межпопуляционных.

Для популяционной дифференциации из изученных параметров может быть использован только параметр fl/tl , внутривнутрипопуляционная изменчивость которого меньше межпопуляционной.

Таким образом, анализ абсолютных и относительных величин морфометрических параметров рачков показал их значительную внутривнутрипопуляционную вариабельность, которая затрудняет четко дифференцировать популяции по этим признакам. Морфологические параметры (fl , sf , al , la , aw , fl/tl), внутривнутрипопуляционные различия которых меньше межпопуляционных, являются наиболее перспективными для этих целей.

4.2.3 Влияние солености на морфометрию рачков артемии

Известно (Гаевская, 1916; Соловов, Студеникина, 1992; Litvinenko, Boyko, 2008; Boyko et al., 2012), что минерализация воды влияет как на морфометрические параметры рачков, так и в целом на численность и биомассу артемии, для которых оптимальные значения солености лежат в пределах 100-200 г/дм³. Для того чтобы устранить этот фактор, сравнение проводилось для рачков, выращенных в одинаковых условиях солености (100 г/дм³).

Корреляционный анализ морфометрических параметров выращенных при одинаковой солености рачков и солености материнского водоема (где были сформированы цисты) показал, что длина тела (tl) выращенных рачков находится в достоверной сильной отрицательной связи с соленостью ($r=-0,76$), для ширины абдомена (aw) и расстояния между глаз (de) отмечена средняя отрицательная связь с соленостью ($r=-0,62$ и $r=-0,67$ соответственно).

Для оценки совокупности морфометрических параметров был проведен кластерный анализ (рис. 7), который показал наличие обособленного кластера А, образованного популяцией оз. Сиверга (2012 и 2013 гг.) с наименьшей соленостью природного водоема (74-86 г/дм³) и кластера Б, который в свою очередь делится на подкластеры Б₁ (Ульжай 2015 и Эбейты 2017 гг., соленость 125-135 г/дм³), подкластер Б₂ (Сорочье 2009 и 2015 гг., соленость 213-263 г/дм³) и подкластер Б₃ (Б.Медвежье 2017 г., соленость 168 г/дм³).

Таким образом, рачки артемии, выращенные из цист при одинаковой солености несут информацию об условиях обитания, при которых они были сформированы. Этот факт следует учитывать при идентификации популяций по цистам.

4.3 Репродуктивные особенности артемии сибирских популяций

4.3.1 Влияние солености на выживаемость рачков при культивировании

Эксперименты по выращиванию популяции артемии, проведенные на 16 пробах цист из 10 популяций Западной Сибири (Тюменская, Курганская, Омская области и Алтайский край) и одной - из американской популяции (GSL) в разные годы сбора, показали, что выращивание в культуре при солености 150 г/дм³ приводит к гибели рачков на ранних стадиях и только в отдельных популяциях (GSL, 2016; Большое Медвежье, 2016; Большое Яровое, 2016) рачки достигли зрелых стадий. Поэтому дальнейшее выращивание проводилось при солености среды 100 г/дм³.



Рис. 7 – Кластерный анализ морфометрических данных выращенных рачков из цист сибирских популяций

4.3.2 Темп роста рачков артемии

Выращивание рачков при разной солености среды: 100 и 150 г/дм³ показало, что при более низкой солености половозрелость наступала на неделю раньше (на 23–25 сут), при более высокой солености – на 30–37 сут. Относительная скорость роста длины тела рачков была при солености 150 г/дм³ в пределах 0,075–0,096 (в среднем 0,085±0,004); при солености 100 г/дм³ – 0,100–0,125 (в среднем 0,113±0,004). Между средними обнаружены достоверные различия на высоком уровне значимости ($p < 0,01$). Данные еще раз свидетельствуют о необходимости проведения сравнительного анализа при одной солености выращивания. В данном случае – при 100 г/дм³, поскольку при такой солености не только скорость созревания выше, но и выживаемость артемии при культивировании в большинстве случаев выше (см. разделы ниже).

4.3.3 Репродуктивные характеристики выращенных рачков

Анализ всех имеющихся данных по продуктивности популяций, с учетом важных для культивирования параметров (сроков созревания, продолжительности репродуктивного периода, количества потомков) представлен в таблице 5.

Продолжительность жизни (ПЖ) рачков в изученных популяциях была в пределах от 47 (Гашково, 2019 г.) до 72 сут. (Сорочье, 2015 г.). Скорость созревания (прРП) была в пределах от 17 (Б. Медвежье, 2019 г.) до 52 сут (Сорочье, 2015 г.).

Продолжительность репродуктивного периода (РП) составила от 20 (Сорочье, 2015 г.) до 44 сут (Б. Медвежье, 2019 г.).

Расчетное количество потомков от одной самки варьировало от 70,4 (Гашково, 2019 г.) до 198,2 экз. (Сиверга, 2012 г.).

Процент цистообразования (Ц%), рассчитанный для всего количества произведенных потомков находился в пределах от 21% (Б. Яровое, 2016 г.) до 91%. (Сорочье, 2015 г.).

Таблица 5 – Репродуктивные показатели исследованных популяций артемии

Популяции	n	ПЖ, сут.	прРП, сут	РП, сут	Потомков на самку, экз.	Ц%
Сиверга, 2012	87	51±1,1	18±0,2	33±1,5	198,2	35,6
Сиверга, 2013	86	68±1,6	38±0,1	30±0,6	132,4	40,4
Сорочье, 2009	76	59±2	23±0,1	36±1,1	122,7	62,4
Сорочье, 2015	81	72±0,9	52±0,2	20±1	85,9	91,3
С. Невидимое, 2015**	23	49±1,5	31±0,05	-	-	-
Ульжай, 2017**	21	38±1,9	38±0,1	-	-	-
Б.Медвежье, 2017**	25	33±2,1	33±0,3	-	-	-
Кучукское, 2017**		24±0,9	-	-	-	-
Б.Медвежье, 2019	78	69±1,6	17±0,4	44±0,8	100,2	55,1
Ульжай, 2018	72	53±0,5	19±0,05	30±0,1	89,4	51
Эбейты, 2018	69	52±1,6	25±0,07	26±0,9	82,5	44,8
Гашково, 2019	62	47±1,9	21±0,1	22±0,6	70,4	45,1
GSL*, 2016	71	57±2,2	17±0,1	39±0,7	94	49
Б.Медвежье, 2016	63	60±0,8	16±0,3	44±1,3	91	53
Б.Яровое, 2016	62	53±1,4	18±0,05	35±1	103	21
Б. Яровое, 2017	86	50±1,2	20±0,08	30±0,3	85,9	52,3
<i>M</i>		52,19	25,56	32,42	104,63	50,08
<i>m</i>		3,31	2,63	1,99	8,80	4,33
<i>Cv, %</i>		25	40	24	33	33

Примечание: * - GSL (Great Salt Lake, Юта, США), ** - выращивание при солености 150 г/дм³. Серым – отмечен материал, использованный в анализе в разделе 4.3.4.

4.3.4 Репродуктивные особенности сибирских партеногенетических популяций

Сравнительный анализ репродуктивных показателей партеногенетических и бисексуальных популяций проводился при выращивании рачков из цист, отобранных в озерах (см. таблицу 6, выделено серым цветом): Большое Медвежье (Курганская область, Россия), Большое Яровое (Алтайский край, Россия) и GSL (Юта, США).

Изучение полового состава *A. franciscana* (GSL) в разных генерациях показало, что соотношение самки : самцы в основном составляли 50:50 %, в некоторых случаях небольшие отклонения были в сторону увеличения самок до 57-60 %. В экспериментах с партеногенетическими популяциями артемии были только самки и единственный самец наблюдался в опыте с цистами из оз. Большое Яровое.

Одним из важных показателей является скорость созревания рачков. В эксперименте артемия из озера Большое Медвежье созрела раньше всех – на 16-е сут, рачки из GSL – на 17 сут, из озера Большое Яровое – на 18 и 20 сут. Подсчет эмбрионов, в частности науплиусов, яиц и цист, рожденных от одной самки показал, что *A. franciscana* в большом количестве производит науплиусов, в то время как сибирские популяции *A. parthenogenetica* – цисты.

При изучении ПЖ в течение трех генераций артемии, было обнаружено, что этот показатель у рачков из озера Большое Медвежье (мелководный водоем) в среднем больше, чем из относительно глубоководных озера Большое Яровое и GSL. Показатель ПЖ у артемии из партеногенетической популяции (Большое Яровое) с каждой генерацией уменьшался, а у артемии из бисексуальной популяции (GSL), наоборот: так, в 3-й генерации ПЖ оказалась выше, чем в 1 и 2-й генерациях.

Выяснение выживаемости науплиусов в условиях резкого изменения солености (при переносе суточных науплиусов из инкубационной среды с соленостью 20 г/дм³ в среду для культивирования с соленостью 150 г/дм³) показало, что выживаемость науплиусов из сибирских популяций в первый день резко снижается (до 36-38 %), а

американских – остается на высоком уровне (91 %). На 9 сутки опыта выживаемость для изученных популяций была близкой и равна 17-21 %.

Таким образом, полученные нами данные позволяют выделить главные особенности сибирских популяций артемии: абсолютное преобладание партеногенетического способа размножения и относительно низкое живорождение.

4.3.5 Рейтинг популяций по репродукционным показателям

Для выбора наиболее продуктивной популяции был составлен рейтинг озер (источников цист), который выстраивался на основании следующих критериев: наибольшая продолжительность жизни (ПЖ); наименьшая скорость созревания (прРП); наибольшая продолжительность репродуктивного периода (РП); максимальное количество потомков на одну самку; процент цистообразования (наибольший — для получения цист; наименьший — для получения биомассы рачков). Согласно этому рейтингу наиболее продуктивная для производства цист и рачков популяция обитает в озере Большое Медвежье, для производства рачков — в озере Большое Яровое. Популяция артемии из GSL, массово используемая для аквакультуры во всем мире, оказалась в этом рейтинге только на 4-ой позиции.

Поскольку соленость среды выращивания может оказать влияние на рейтинговые показатели, дополнительно был сделан расчет по репродуктивным данным, полученным при солености среды выращивания 100 и 150 г/дм³ (табл. 6). Результаты показали, что во всех способах расчета – на первом месте стоит популяция озера Б.Медвежье.

Таблица 6 – Рейтинг озер по продуктивным показателям артемии

Названия озер, год	ПЖ, сут.	прРП, сут.	РП, сут.	Потомков на самку, шт.	Ц%		Среднее по всем показателям		Общий рейтинг	
					цисты	рачки	цисты	рачки	цисты	рачки
100 г/дм ³										
С,2012	7	2	3	1	9	1	4,4	2,8	4	1
С,2013	3	8	4	2	7	3	4,8	4,0	5	3
СВ,2009	4	6	2	3	2	8	3,4	4,6	2	4
СВ,2015	1	9	7	6	1	9	4,8	6,4	5	7
БЯ, 2017	8	4	4	6	8	2	6,0	4,9	6	5
БМ,2019	2	1	1	4	3	7	2,2	3,0	1	2
У, 2018	5	3	4	5	4	6	4,2	4,6	3	4
Э, 2018	6	7	5	7	6	4	6,2	5,8	7	6
Г, 2019	9	5	6	8	5	5	6,6	6,6	8	8
150 г/дм ³										
БЯ, 2016	3	3	3	1	3	1	2,6	2,2	3	3
БМ,2016	1	1	1	3	1	3	1,4	1,8	1	1
GSL,2016	2	2	2	2	2	2	2,0	2,0	2	2

Таким образом, из исследованных сибирских популяций наиболее продуктивная для производства цист и рачков популяция обитает в озере Большое Медвежье, для производства рачков – в озерах Большое Яровое и Сиверга.

Заключение

В результате проведенных исследований по изучению биологических особенностей и репродуктивных характеристик артемии сибирских популяций можно сделать следующие выводы:

1. Для достоверности и сравнимости результатов определение морфометрических параметров цист должно проводиться на гидратированных цистах, подвергнувшихся фиксации 1 %-ным раствором Люголя; определение репродуктивных параметров рачков артемии – при солености среды 100 г/дм³.

2. Абсолютные значения диаметра цист, эмбрионов и толщины хориона исследованных популяций находились в пределах: 210–392 мкм, 196–294 мкм, 3,29–16,87 мкм, соответственно; средние по популяциям значения – в пределах: 252,98±2,02 (Гашково) – 271,60±1,30 мкм (Соленое Невидимое); 239,88±1,51 (Гашково) – 253,18±3,16 мкм (Ульжай); 6,56±0,25 мкм (Гашково) – 12,43±1,26 мкм (Эбейты). Толщина хориона цист из озера Эбейты достоверно выше, чем у всех других анализируемых популяций. Размеры цист из озера Гашково были достоверно ниже размеров цист других популяций.

3. Анализ абсолютных и относительных величин морфометрических параметров рачков показал их значительную внутривидовую вариабельность, которая затрудняет четко дифференцировать популяции по этим признакам. Морфологические параметры (*fl*, *sf*, *al*, *la*, *aw*, *fl/tl*), внутривидовые различия которых меньше межвидовых, являются наиболее перспективными для этих целей. При внутривидовой дифференциации по морфометрическим параметрам выращенных рачков следует использовать кластерный анализ, который объединяет в кластеры популяции с близкой соленостью материнской рапы.

4. Репродуктивные показатели выращенных из цист рачков разных сибирских популяций колебались в пределах: продолжительность жизни – 47-72 сут (в среднем 55,1±2,5), сроки созревания – 17-52 сут (28,4±2,8), длительность репродуктивного периода – 20-44 сут (32,4±2,0), количество потомков от одной самки – 70-198 экз. (106,3±8,8), процент цистообразования – 21-91,3 % (49,9±4,4).

5. На продукционные характеристики оказывает влияние не только принадлежность к той или иной популяции, но и соленость среды обитания. Между морфометрическими параметрами цист и соленостью рапы озер, в которых проходило формирование цист, была обнаружена статистически достоверная умеренная отрицательная связь с диаметром эмбрионов ($r=-0,5$) и сильная достоверная связь между длиной выращенных рачков и соленостью материнской рапы ($r=-0,76$). Относительная скорость роста длины тела рачков артемии, выращенной при солености среды 100 г/дм³ была достоверно выше, чем при солености 150 г/дм³.

6. Сравнительный анализ репродуктивных показателей с *A. franciscana* и литературными данными по другим популяциям мира показал, что сибирские популяции характеризуется более ранним созреванием самок в мелководном озере Большое Медвежье, и более поздним – в глубоководном озере Большое Яровое; абсолютным преобладанием партеногенетического способа размножения; низким живорождением, более высоким цистообразованием, особенно в мелководных водоемах. Для сибирских популяций отмечено снижение продолжительности жизни от первой к третьей генерации, а у американской – наоборот, увеличение.

7. Рейтинг продуктивных показателей исследованных популяций артемии показал, что для получения продукции цист наилучшей является популяция озера Большое

Медвежье, для получения биомассы рачков – популяции озер Большое Медвежье, Большое Яровое и Сиверга.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для точного измерения морфометрических параметров цист артемии необходимо сначала полностью гидратировать сухие цисты в течение 2 ч, затем зафиксировать (прекратить метаболизм в цистах) 1 %-ным раствором Люголя.

2. Для сравнимости репродуктивных параметров артемии разных популяций проводить культивирование рачков при солености среды 100 г/дм³, как наиболее оптимальной для этих целей.

3. Сибирские популяции артемии из озер Большое Медвежье, Большое Яровое и Сиверга, обладающие относительно высокими репродуктивными качествами, рекомендованы к использованию для выращивания как в искусственной, так и в естественной среде.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Литвиненко, А.И. История изучения бентосных цист артемии / А.И. Литвиненко, Е.Г. Бойко, М.А. Корентович, **Л.Ф. Разова** // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2018. – Т.5, № 3(19). – С. 31-36.

2. Литвиненко, Л.И. К вопросу идентификации популяционной принадлежности артемии водоемов России по цистам / Л.И. Литвиненко, Е.Г. Бойко, К.В. Куцанов, А.Г. Герасимов, **Л.Ф. Разова**, М.А. Побединцева, А.И. Литвиненко // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2018. – Т. 5., № 1(17). – С. 4-25.

3. Литвиненко, Л.И. Влияние изменения климата на запасы цист артемии в озерах Западной Сибири / Л.И. Литвиненко, А.И. Литвиненко, Е.Г. Бойко, К.В. Куцанов, А.Г. Герасимов, **Л.Ф. Разова** // Рыбное хозяйство. – 2018. – Т. 6. – С. 52-59.

4. Литвиненко, Л.И. Результаты экспериментальных работ по выращиванию артемии в условиях природных гипергалинных водоемов / Л.И. Литвиненко, Н.П. Ковачева, К.В. Куцанов, И.М. Глухих, А.Г. Герасимов, **Л.Ф. Разова**, Н.В. Кряхова // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2019. – Т. 6. № 4 (24). – С. 87-101.

Статья в международной индексируемой базе Scopus:

5. Litvinenko, L.I. / L.I. Litvinenko, K.V. Kutsanov, **L.F. Razova**, A.Sh. Gadiadullina, A.G. Gerasimov, E.V. Brazhnikov // Intra- and interpopulation variability of cysts and adults of *Artemia* (Branchiopoda: Anostraca) in Siberian populations (morphometry) // Marine Biological Journal. – 2021. – 6(2). – P. 33-51.

Публикации в других изданиях:

6. **Разова, Л.Ф.** Экспериментальные исследования биологических особенностей артемии Сибирских популяций / Л.Ф. Разова // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения, Сборник материала I Международной студенческой научно-практической конференции. – 2016. – С. 551-555.

7. **Разова, Л.Ф.** Морфометрические показатели рачков артемии, выращенных в лабораторных условиях / Л.Ф. Разова // Современные направления развития науки и животноводстве и ветеринарной медицине. Метериалы международной научно-практической конференции посвященной 60-летию кафедры Технологии производства и переработки продуктов животноводства и 55-летию кафедры Иностранных языков. – 2019. – С. 234-238.

8. **Разова, Л.Ф.** Некоторые биологические особенности артемии Сибирской популяций / Л.Ф. Разова, Л.И. Литвиненко, О.А. Ципилова // Современные научно-практические решения в АПК, Тюмень. – 2017. – С. 344-351.

9. **Разова, Л.Ф.** Репродукционные особенности артемии сибирских популяций / Л.Ф. Разова, Л.И. Литвиненко // II Всерос. (нац.) научн.-практ. конф. Современные научно-практические решения в АПК / ГВУ Северного Зауралья. Сб. статей. Тюмень. – 2018. – С. 249-258.

10. **Разова, Л.Ф.** Изменение выживаемости и диаметра гидратированных цист артемии под действием высоких температур и электромагнитных излучений / Л.Ф. Разова, Л.И. Литвиненко, К.В. Куцанов, А.Г. Герасимов // Тез. докл. 12-го съезда гидробиологическо-го общества при РАН, Петрозаводск, Республика Карелия. – 2019. – С. 396-398.