

## Водные биоресурсы

УДК 574.58

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЦИСТ ЖАБРОНОГО РАЧКА *ARTEMIA* В СОСТАВЕ ГРУНТОВ ГИПЕРГАЛИННЫХ ВОДОЕМОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР КУЧУКСКОЕ И БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ

Г. В. Лукерина

Алтайский филиал ФГБНУ “ВНИРО” (“АлтайНИРО”)  
656056, г. Барнаул, пл. Баварина, 2, оф. 502-513, e-mail: artemiaalt@mail.ru  
Поступила в редакцию 25.01.2022

В работе представлены результаты исследований, проведенных в 2020 году на озерах Кучукское и Большое Яровое Алтайского края. Озера отличаются гидрологическим режимом, гидрохимическим составом, сезонными и многолетними циклами изменения уровня солености воды. В оз. Кучукское основную роль в формировании рачков первого поколения в весенний период играют цисты из скоплений на берегу, смываемые стоком талых вод. Донные цисты малодоступны из-за высокой солености воды и выпадения солевого осадка на значительной площади водоема. Жизнеспособность цист с мелководных участков дна в весенний период составляла 8.9%. Расчет биомассы донных цист без учета особенностей соленонакопления в водоеме и выклева из них науплиусов приводит к завышению показателя на 84–92%. Глубоководность озера Большое Яровое обуславливает особенности температурного режима в весенне-летний период, что препятствует всплытию цист артемии со дна с глубин более 7.0 м. Значительные иловые отложения на дне озера – агрессивная среда для цист, что доказано присутствием разнокачественных цист, включая с поврежденной внешней оболочкой, а также неестественной окраской хориона (черной или серой). Жизнеспособность донных цист из озера Большое Яровое не превышает в среднем 15%, непродуктивно всплывшие цисты оседают вновь на дно в летний период.

*Ключевые слова:* артемия, гипергалинные озера, типы грунтов, диапаузирующие яйца, донные цисты артемии, выклев.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-33-49

#### ВВЕДЕНИЕ

Диапаузирующие толстоскорлуповые яйца (цисты) рачка *Artemia* Leach, 1819 являются признанным стартовым кормом и широко используются в аквакультуре. Большой экономический спрос на данный биоресурс обусловил повышенный интерес к изучению биоты гипергалинных озер, и, в первую очередь, к продуктивности популяций артемии в разнотипных водоемах. Действующая в настоящее время методика определения общего и промышленного запасов артемии (на стадии цист) включает ряд показателей, одним из которых является учет бентосных цист [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]. Однако цисты артемии нельзя считать в полной мере бентосными организмами, приспособленными к жизни на дне [Жадин, 1950 (Zhadin, 1950); Константинов, 1979 (Konstantinov, 1979)]. Поэтому в данной работе принят термин “донные цисты”, под которым подразумевается биомасса цист артемии, содержащихся на поверхности и в толще грунтов.

Несмотря на многолетнюю историю изучения гипергалинных водоемов и их биоты по всему миру, особенности накопления и хранения цист артемии в условиях донных отложений, возможность их всплытия и жизне-

способность остаются неизученными. В научных публикациях отмечают значительную численность донных цист и огромную вариацию этого показателя в пространстве и времени [Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Визер, Ростовцев, 2016 (Vizer, Rostovcev, 2016); Семик, Ушакова, 2017 (Semik, Ushakova, 2017); Литвиненко и др., 2018 (Litvinenko et al., 2018); Литвиненко и др., 2020 (Litvinenko et al., 2020)]. С начала исследований (2000 г.) и по настоящее время основным направлением изучения было определение численности цист в пробах грунта и экстраполяция среднего значения на всю площадь водоема [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019); Литвиненко и др., 2018 (Litvinenko et al., 2018)]. При этом подходе многие аспекты остаются неизученными: зависимость численности цист от типа грунта и глубины залегания, влияние степени развития литорали (включая омываемое и затопляемое побережье) на распределение донных цист, особенности добычи (вылова) артемии (на стадии цист) на водоеме. Наиболее важным показателем является жизнеспособность донных цист в условиях водоема в зимний период и при действии неблагоприятных факторов среды.

Исследования состояния запасов донных цист артемии в гипергалинных озерах Алтайского края находятся на начальном этапе. Целью работы была оценка роли донных цист в формировании первого поколения рачков артемии, а также их фактический запас. В связи с этим были поставлены и решены следующие задачи:

изучить типы грунтов на разных глубинах разнотипных гипергалинных водоемов; определить численность цист артемии в составе разнотипных грунтов; определить жизнеспособность донных цист артемии в лабораторных условиях.

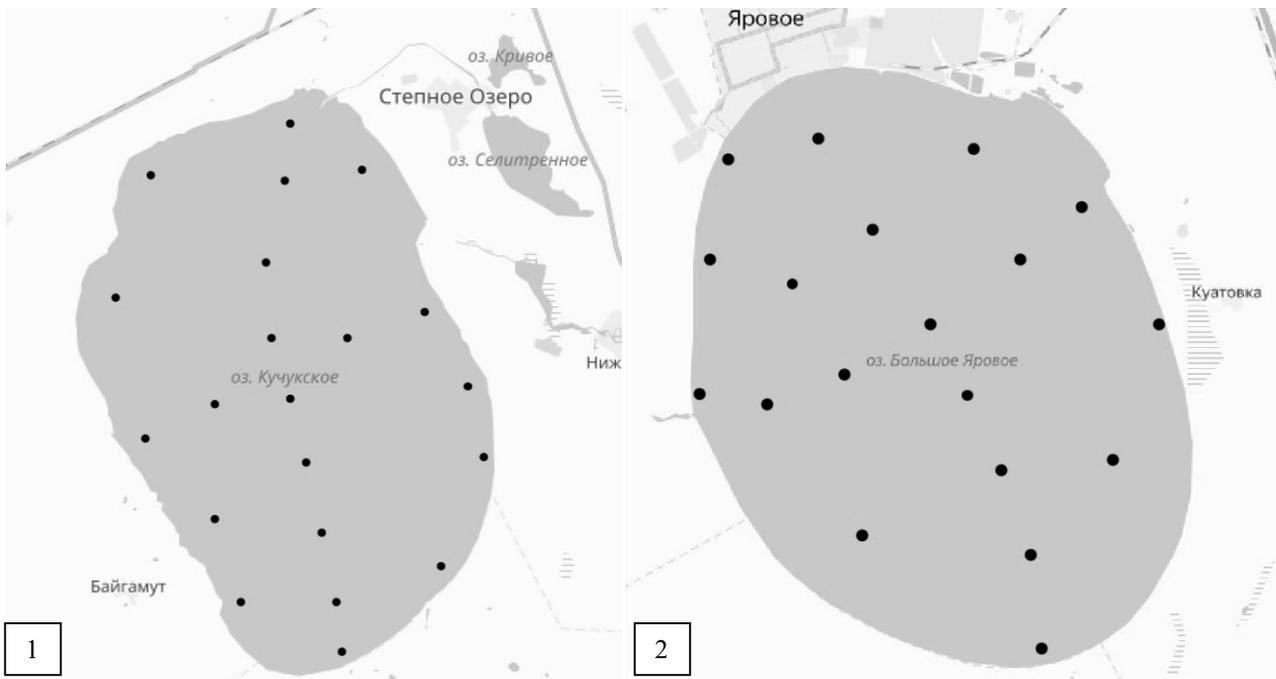
#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом послужили данные, отобранные в вегетационный период 2020 г. в ходе проведения мониторинга гипергалинных водоемов Алтайского края, на примере озер Кучукское и Большое Яровое. Также были использованы архивные материалы по уровню солености воды из базы данных “АлтайНИРО” за 2010–2019 гг.

Гидробиологические съемки в 2020 году с помощью маломерного моторного судна проводили в апреле, июне–сентябре ежемесячно. В октябре исследования на оз. Большое Яровое осуществляли также с помощью моторной лодки, на оз. Кучукское – на мелководных участках при объезде на автомобиле, так как на всей площади озера наблюдался солевой осадок. Для каждого водоема разработана схема станций отбора проб, которые определяли на местности при помощи GPS-навигатора “Navitel C500” (Чехия) (рис. 1). Количество

станций зависело от формы котловины, площади водоема, коэффициента развития береговой линии, разнообразия биотопов [Методические рекомендации..., 2019 (Methodicheskie rekomendacii..., 2019)].

Морфометрические характеристики озер, включая основные коэффициенты [Верещагин, 1930 (Vereshchagin, 1930); Иванов, 1948 (Ivanov, 1948); Богословский, 1960 (Bogoslovskij, 1960)], были рассчитаны на основе собственных полученных данных, а также измерений по спутниковым картам при помощи “Калькулятора для расчета площадей, длины и расстояния” [<http://3planeta>]. Преобладающие направления ветра (“роза ветров”) определены по данным Алтайского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС) по метеопосту г. Славгород.



**Рис. 1.** Схема станций отбора проб и фенологических наблюдений, 2020 г. 1 – оз. Кучукское; 2 – оз. Большое Яровое.

**Fig. 1.** Scheme of sampling stations and phenological observations, 2020. 1 – Kuchuk Lake; 2 – Bolshoe Yarovo Lake.

На каждой станции проводили следующие измерения: глубина (при помощи лота с храпом на размеченном шнуре); температура

воды и содержание растворенного в воде кислорода (с помощью термооксиметра “Эксперт-001-4.01” (Россия)) в поверхностном и

придонных слоях; прозрачность воды (с помощью диска Секки); соленость воды (с помощью рефрактометра “Atago Master-S28 M” (Япония)) в поверхностном слое (на глубине не менее 0.2 м), а также в придонных слоях.

Пробы зоопланктона и воды на гидрохимический состав отбирали и обрабатывали в соответствии с методикой [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]. В 2020 г. было отобрано и обработано: 8 гидрохимических проб и 152 пробы зоопланктона с оз. Кучукское; 6 гидрохимических и 215 зоопланктона – с оз. Большое Яровое.

Для изучения донных цист пробы грунта на оз. Кучукское отбирали дночерпателем Петерсена (Россия) с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup> и трубчатым штанговым дночерпателем (“ДТШ”, Россия) с площадью захвата 0.005 м<sup>2</sup>. Применение стратификационного дночерпателя (“ДЧС-250”, Россия) на оз. Кучукское, характеризующегося значительными солевыми отложениями, оказалось невозможным из-за плотности грунта.

На оз. Большое Яровое грунт отбирали дночерпателем Петерсена (Россия) с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup>, в осенний период дополнительно стратификационным дночерпателем (“ДЧС-250”, Россия) с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup>. Для оз. Большое Яровое, со средней глубиной 4.5 м, не использовали “ДТШ”, имеющего длину штанги 3.0 м.

Определяли тип грунта и промывали пробу в мешке из газового сита № 46, который снабжали этикеткой с указанием даты отбора, названия водоема, номера станции, глубины отбора, части пробы (для “ДЧС-250”).

Обработку проб проводили согласно методикам [Киселев, 1969 (Kiselev, 1969); Инструкция по использованию..., 2000 (Instrukciya po ispol'zovaniyu..., 2000); Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019); Manual for the culture..., 1986], со следующими дополнениями, разработанными специалистами “АлтайНИРО”:

1. Пробы транспортировали в мешочках из газового сита, в которых их промывали, что позволяет избежать потерь мягкого, илистого грунта, а также подсушить пробу на воздухе.

2. В лабораторных условиях пробы хранили в холодильнике при температуре 4–6°C для обеспечения сохранения жизнеспособности цист артемии, содержащихся в пробе.

3. Пробы с большим содержанием песка, соли, глины, растительного детрита взвешивали на электронных весах “CAS SWN-06” (Южная Корея) с дискретностью показаний

0.01 г. Навеску, массой 1 г, взвешанную на электронных весах “Metler Toledo” (Германия) с дискретностью показаний 0.0001 г, разбавляли водой и просчитывали объекты в камере Богорова под тринокулярным стереоскопическим микроскопом “Микромед МС-2 ZOOM” (Россия). Навеску отбирали от 3 до 10 раз, в зависимости от массы пробы.

4. Пробы с высоким содержанием илов промывали в мешочке из газового сита до минимального объема, помещали полностью в мерный стакан и разбавляли водой до определенного объема. Тщательно перемешивали и штемпель-пипеткой отбирали 1 мл в 7–10 повторностях. Обрабатывали аналогично.

5. При количественной обработке проб просчитывали все цисты артемии. Отмечали повреждения, особенности поверхности хориона (структура, цвет), внутреннее содержимое при надавливании, присутствие скорлупы цист.

6. При расчетах численности учитывались только внешне-полноценные цисты.

7. При применении дночерпателей разной конструкции на оз. Кучукское, для сопоставления полученных данных, применяли относительные показатели численности донных цист – количество в 1 грамме грунта.

8. При применении “ДЧС-250” рассчитывали плотность цист на 1 м<sup>3</sup>, так как средние и нижняя секции дночерпателя имеют разный объем.

Всего отобрано и обработано 80 проб грунта с оз. Кучукское и 93 – с оз. Большое Яровое. Расчет биомассы цист артемии, находящихся на дне, проводили по приведенной в методике формуле [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]:

$$W_3 = N_3 \times S \times m,$$

где:  $N_3$  – численность донных цист артемии, экз./м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь озера, м<sup>2</sup>;

$m$  – средняя масса цисты в тоннах сырой массы,  $1 \times 10^{-1}$  т.

Наибольшую сложность вызвало определение выклева науплиусов из донных цист. Под выклевом понимают полное освобождение эмбриона от оболочек цисты и появление свободноплавающей личинки рачка [Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019); Manual for the culture..., 1986; Van Stappen, 1996]. Необходимо было изучить выживаемость эмбрионов в донных цистах в условиях водоема. Большинство разработанных и общепринятых

методик инкубации цист направлены на получение максимального результата [Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Спекторова, 1984 (Spektorova, 1984); Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Manual for the culture..., 1986], что не отражает выклев в естественных условиях водоема.

Для проведения инкубации, образцы цист артемии получали путем вымывания достаточного их количества из проб, последовательно отделяя тяжелые и легкие примеси водным раствором NaCl (220 г/кг) и пресной водой.

В рамках выполнения данной работы инкубацию цист артемии, отобранных в весенний период в озерах Кучукское и Большое Яровое проводили при оптимальных условиях, описанных в литературе [Спекторова, 1984 (Spektorova, 1984); Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Клепиков, 2012 (Klepikov, 2012); Manual for the culture..., 1986]. В работе использовали конусообразные стеклянные цилиндры, в которых непрерывная аэрация осуществляется со дна, температура инкубации составляла 25–29°C, соленость 30.0–35.0 г/л, pH – на уровне 8, освещенность – 1000 лк, концентрация сырых цист составляла 4.0 г на 1 л инкубационного раствора. Инкубацию цист из оз. Большое Яровое, ото-

бранных в осенний период, проводили в следующих инкубационных растворах:

- водный раствор NaCl (20–30 г/кг; условное обозначение “лаб. р-р”);

- материнская рапа с природной соленостью (150–160 г/кг; условное обозначение “рапа”);

- материнская рапа, разведенная пресной водой (60–70 г/кг; условное обозначение “0.5 рапа”);

- материнская рапа, разведенная до уровня 25–30 г/кг (условное обозначение “0.25 рапа”).

Прочие условия инкубации соответствовали оптимальным.

Одновременно проводили инкубацию для образцов цист из толщи воды и с ее поверхности, донных цист из верхних горизонтов грунта и из толщи иловых отложений более 20 см. Всего в инкубаторе находилось 32 стеклянных конуса. Время экспозиции составляло 24, 48, 72 и 168 часов. Фракция составляла 1 мл, которую отбирали механической шпатель-пипеткой в четырех повторностях, фиксировали спиртовым раствором йода. Под тринокулярным микроскопом “Микромед МС-2 ZOOM” просчитывали количество науплиусов и эмбрионов, а также непроклюнувшихся цист.

Математический анализ проводили с помощью MS Excel (2016).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованные в 2020 г. озера Кучукское и Большое Яровое расположены на территории Кулундинской равнины [Водоёмы Алтайского края..., 1999 (Vodoemy Altajskogo kraja..., 1999)]. Озера имеют округлую, вытянутую с севера на юг форму котловины, коэффициенты развития береговой линии близки к 1 (табл. 1). Озеро Кучукское характеризуется как мелководный, самосадочный водоем с низкими показателями коэффициентов глубинности и емкости, что в совокупности с коэффициентом открытости косвенно указывает на большую перемешиваемость водных масс и отсутствие различий физико-химических показателей в поверхностном и придонных слоях. Это подтверждается однородностью показателей температуры и солености воды по акватории озера.

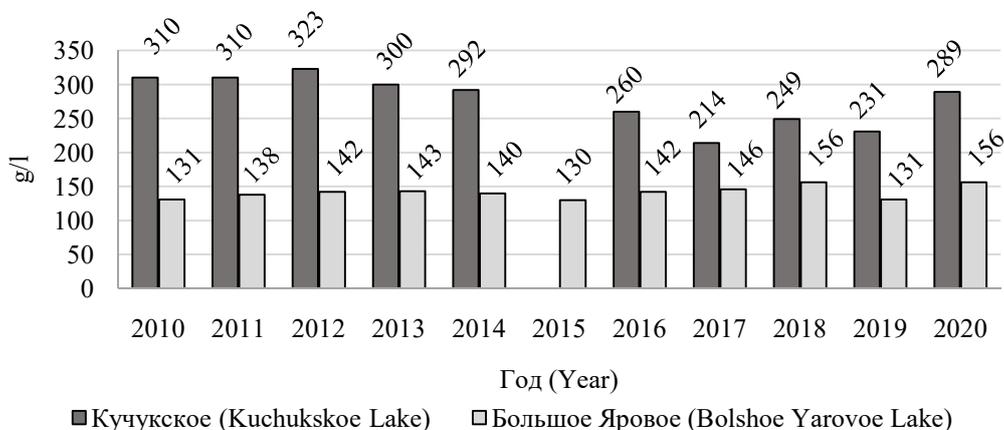
Озеро Большое Яровое относится к глубоководным среди гипергалинных водоемов России. В сравнении с оз. Кучукское Большое Яровое имеет значительно меньший коэффициент открытости, и больший – глубинности, что указывает на меньшую перемешиваемость

водных масс. Согласно литературным [Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Пермякова, 2012 (Permyakova, 2012); Веснина, Пермякова, 2013 (Vesnina, Permyakova, 2013)] и собственным данным, в озере отмечается весенняя температурная стратификация с термоклином на глубине 6.0–7.0 м. Разница температур между поверхностным и придонным слоями в апреле 2020 г. составляла 8–10°C. В летний период наблюдается относительно равномерное прогревание толщ воды.

По величине солености воды озера Кучукское и Большое Яровое относятся к гипергалинным [Алекин, 1970 (Alekin, 1970)] или ультрагалинным водоемам [Оксиюк, Жукинский, 1993 (Oksiyuk, Zhukinskij, 1993)], вода по химическому составу относится к хлоридно-сульфатному и хлоридному классам группы натрия. Среднегодовая соленость воды самосадочного оз. Кучукское в 2010–2020 гг. изменялась от 214 до 323 г/л, колебания сухого остатка составляло 109 г/л (рис. 2).

**Таблица 1.** Основные характеристики исследованных гипергалинных озер Алтайского края, 2020 г.**Table 1.** Main characteristics of the studied hyperhaline lakes of the Altai Territory, 2020

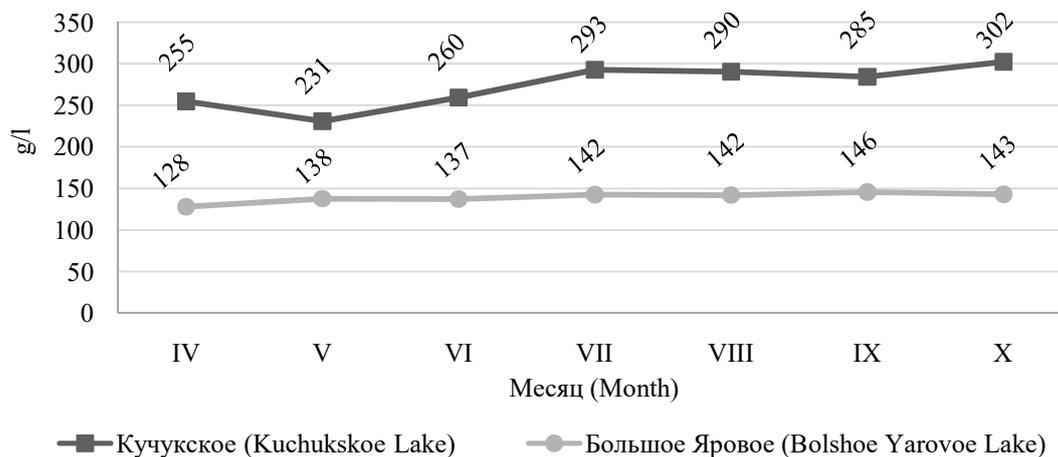
Показатель Indicator	Название озера / Name of the lake	
	Кучукское / Kuchukskoe Lake	Большое Яровое / Bolshoe Yarovoe Lake
Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup> / Area, km <sup>2</sup>	175.7	73.7
Длина озера, км / Length of the lake, km	19.6	11.5
Максимальная ширина озера, км Maximum width of the lake, km	12.5	8.0
Коэффициент развития береговой линии Shoreline development coefficient	1.10	1.03
Максимальная глубина, м Maximum depth, m	3.3	9.5
Средняя глубина, м / Average depth, m	0.9	4.5
Коэффициент емкости The coefficient of volume	0.27	0.47
Коэффициент открытости The coefficient of openness	195.2	16.3
Коэффициент глубинности The coefficient of depth	0.16	1.07
Берега Coast	Пологие заболоченные (70%); высокие обрывистые (30%)	Крутые, обрывистые, эрозированные (83%); пологие песчаные (17%)
Питание / Nutrition of the lake	Атмосферное, выпадают р. Кучук, ручей Солоновка	Атмосферное, грунтовое
Характер накопления солей The nature of salt accumulation	Самосадочное	Рапное
Максимальная – минимальная среднегодовая соленость (2010–2020 гг.), г/л Maximum – minimum average annual salinity (2010–2020), g/l	214–323	130–156
Максимальная – минимальная сезонная соленость (2010–2020 гг.), г/л Maximum – minimum seasonal salinity (2010–2020), g/l	231–302	128–146
рН	7.71	7.89
Категория хозяйственного использования Category of economic use	Высшая, условно- промышленное	Высшая, промышленное
Температурный режим Temperature regime	Температурная стагнация	Весенняя стратификация с тер- моклином на глубине 6.0–7.0 м, в летний период – стагнация

**Рис. 2.** Годовая многолетняя динамика солености воды (г/л) в гипергалинных озерах Кучукское и Большое Яровое, 2010–2020 гг.**Fig. 2.** Annual long-term dynamics of water salinity in hyperhaline Kuchukskoe Lake and Bolshoe Yarovoe Lake, 2010–2020.

В рапном оз. Большое Яровое, благодаря объему водной массы, среднегодовое значение солености воды в 2010–2020 гг. колебалось в пределах 26 г/л, что может характеризовать гидрохимический режим озера как более стабильный

Для всех минерализованных водоемов Алтайского края характерны сезонные изменения солености воды с минимальным значе-

нием в весенний период. В оз. Кучукское значительный рост солей в рапе отмечается в период наибольшей инсоляции (июнь–июль), сезонное колебание солености в 2010–2020 гг. составляло 71 г/л (рис. 3). В оз. Большое Яровое тренд более пологий, соленость воды от весны к осени возрастает в среднем на 18 г/л и характеризуется большей стабильностью.



**Рис. 3.** Среднемесячная динамика изменения солености воды (г/л) в озерах Кучукское и Большое Яровое, 2010–2020 гг.

**Fig. 3.** Average monthly dynamics of changes in water salinity in Kuchukskoe Lake and Bolshoe Yarovoe Lake, 2010–2020.

Озера испытывают значительную антропогенную нагрузку. Рапа оз. Кучукское служит сырьем для добычи солей, раз в два года значительный объем воды из озера перекачивают в водоем-испаритель [Веснина, Пермякова, 2011 (Vesnina, Permyakova, 2011)]. На берегу оз. Большое Яровое расположен город Яровое с предприятиями и жилищно-коммунальным комплексом, которые осуществляют забор воды из озера и сброс сточных вод. Озера используются в рекреационных целях с благоустроенными и дикими пляжами. Немаловажной составляющей антропогенного воздействия является добыча артемии (на стадии цист).

Стабильность развития популяций артемии и регулярность промышленного рыболовства в отношении артемии (на стадии цист) обусловлены абиотическими и биотическими условиями. Озеро Большое Яровое относится к промысловым водоемам с регулярным использованием сырьевой базы, оз. Кучукское – к условно-промысловым [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]. Ранее выделяли три категории хозяйственного использования гипергалинных озер [Пермякова, Веснина, 2009 (Permyakova, Vesnina, 2009)], в настоящее вре-

мя все водоемы, в которых обитает артемия, относятся к высшей категории.

#### *Озеро Кучукское*

В апреле (26.04.2020 г.) исследования на оз. Кучукское показали, что на глубине до 1.5 м грунты сложены средне- и мелкодисперсным песком с наилком и растительными остатками (детритом). Мелководные участки топкие, со значительным слоем иловых отложений (черные и серые илы). На глубине более 1.5 м дно водоема покрыто солевым осадком, который не растворяется даже в период весеннего опреснения водоема.

В пробах грунта отмечали внешне-полноценные цисты (65.4% от общего количества), яйца с поврежденным хорионом или без него (29.8%). Также встречали цисты с серой окраской хориона (4.8%), которые были приурочены к илистым грунтам.

В апреле средняя по озеру численность донных цист составляла  $86.7 \pm 48.85$  тыс. экз./м<sup>2</sup> ( $C_v = 251.9\%$ ). На 65% станций (центральная часть озера) цисты отсутствовали, на мелководье колебания численности находились в пределах 22.08–936.72 тыс. экз./м<sup>2</sup>, составляя в среднем  $102.8 \pm 54.50$  тыс. экз./м<sup>2</sup> или  $9.4 \pm 3.25$  экз./г (табл. 2). При этом, численность цист в толще воды в среднем по акватории со-

ставляла  $345.4 \pm 170.37$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, на станциях в южной стороне озера наблюдались скопления с плотностью до  $4210.0$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Вылупление и развитие науплиусов первого поколения было более интенсивным на мелководных участках в юго-западной части акватории, где их концентрация составляла от  $12.3$  до  $60.5$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. В центральной части озера численность науплиусов не превышала

$1.0$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Таким образом, донные цисты под слоем солевого осадка оставались недоступны для всплытия, а основную роль в формировании рачков первого поколения играли скопления цист на берегу и мелководных участках, смываемые тальми водами в озеро. Этот процесс обеспечивал опреснение и гидратацию зимних яиц с последующим выклевом науплиусов.

**Таблица 2.** Показатели относительной численности цист артемии в составе грунтов оз. Кучукское, 2020 г.

**Table 2.** Indicators of the relative number of Artemia cysts in the composition of the soils of Kuchukskoe Lake, 2020

Дата Data	Численность донных цист артемии ( $M \pm m$ , экз./г) на разных глубинах (м) The number of bottom artemia cysts ( $M \pm m$ , ind. /g) at different depths (m)		
	0–1.0	1.0–2.0	более 2.0
26.04.2020	$9.4 \pm 3.25$	0	0
18.06.2020	$36.8 \pm 20.46$	0	0
17.07.2020	$6.5 \pm 5.05$	$177.9 \pm 82.57$	$755.0 \pm 419.00$
18.08.2020	$0.5 \pm 0.40$	$114.7 \pm 48.93$	$108.2 \pm 37.64$

**Примечание.**  $M$  – среднее значение;  $m$  – ошибка среднего значения.

**Note.**  $M$  – mean value;  $m$  – error of mean.

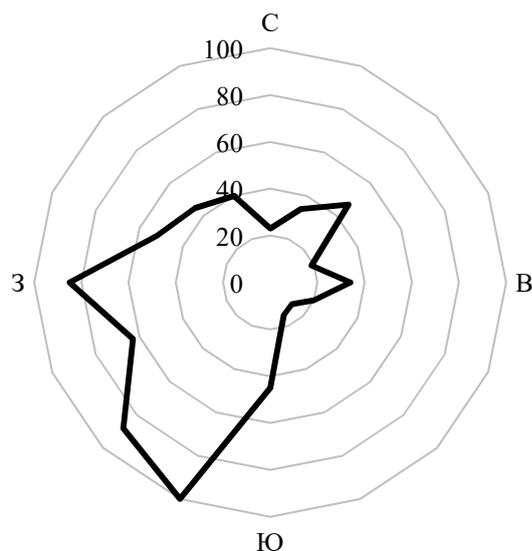
В летний период на поверхности солевого осадка образовывался слой ила, толщиной 3–5 см, вероятнее всего намываемый в результате волновой активности с более мелководных, свободных от соли, участков. В распределении цист артемии по дну происходили изменения по сравнению с апрелем. В июне (18.06.2020 г.) центральная часть дна оставалась под гнетом солевого осадка, и средняя по озеру численность донных цист составляла  $232.7 \pm 124.15$  тыс. экз./м<sup>2</sup> ( $C_v = 238.6\%$ ) или  $23.6 \pm 17.34$  экз./г. В июле и августе этот показатель увеличился до  $1794.5 \pm 578.30$  и  $2537.9 \pm 552.81$  тыс. экз./м<sup>2</sup> соответственно. Максимальная концентрация цист в составе грунта достигала  $2075$  экз./г (июль), средняя плотность составляла в июле  $344.0 \pm 137.58$  экз./г, в августе уменьшилась до  $93.4 \pm 33.40$  экз./г. Обращает на себя внимание и более равномерное распределение, по сравнению с весенне-летним периодом, коэффициент вариации численности по станциям снижался до  $81.5\%$ . Биомасса донных цист к августу составляла  $4594$  т или  $254$  кг/га, из них  $92\%$  приходилось на центральную часть дна.

В толще воды, напротив, концентрация цист снижалась в летний период. Минимальная численность цист в толще воды в июле ( $9.9 \pm 1.51$  тыс. экз./м<sup>3</sup>) совпадала с наибольшей их концентрацией на дне ( $344.0 \pm 137.58$  экз./г). В августе в воде находилось  $37.1 \pm 8.27$  тыс. экз./м<sup>3</sup> диапаузирующих яиц артемии. Также, по-видимому, определенную роль сыграла добыча артемии (на стадии цист). В июле–августе 2020 г. на оз. Кучукское было

добыто  $196$  т артемии (на стадии цист) (по данным Верхнеобского территориального управления Росрыболовства), что составляло  $69\%$  от общего объема вылова за 2020 г.

По данным гидробиологических съемок, в осенний период (26.09.2020 г., 16.10.2020 г.) вся площадь дна водоема была покрыта осадком кристаллической соли. Цист артемии в составе соли и на ее поверхности не отмечалось. В сентябре в водной толще численность диапаузирующих яиц была наибольшей на мелководных участках юго-западной части акватории (от  $123.1$  до  $185.0$  тыс. экз./м<sup>3</sup>), в центре и северной областях озера этот показатель находился в пределах  $7.8$ – $144.2$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. В октябре в воде концентрация цист сократилась до  $17.2 \pm 3.5$  тыс. экз./м<sup>3</sup>.

Таким образом, в вегетационный период 2020 г. отмечалась цикличность в образовании донных отложений. При этом имеющиеся на дне цисты артемии в центральной части акватории оставались под прессом солевого осадка в течение всего периода исследования и не участвовали в пополнении численности рачков и цист артемии в планктоне. Наибольшее значение в развитии первого поколения науплиусов играли цисты из скоплений на юго-западном побережье озера, а также из донных отложений мелководья. Примечательно, что осенью наибольшие концентрации цист наблюдались на тех же участках, что и весной, это обусловлено преобладающим направлением ветров в летне-осенний период (рис. 4).



**Рис. 4.** Преобладающие направления ветра (“роза ветров”) в районе расположения оз. Кучукское, август–октябрь 2020 г.

**Fig. 4.** Prevailing wind directions (“wind rose”) in the area of the location of Kuchukское Lake, August–October 2020. С – North; В – East; Ю – South; З – West.

Одной из основных задач исследования было определение жизнеспособности донных цист артемии (доля выклева науплиусов). Для этого исследовали образцы цист артемии, отобранные 26.04.2020 г., то есть после прохождения периода зимней диапаузы. Доля вылупившихся науплиусов из цист с поверхности воды после 24 часов составляла 20.27%. Однако, в последующие 6 часов выклев снижился до 13.12%, отмечались погибшие науплиусы (табл. 3). Такой результат можно объяснить активацией (выход из состояния диапаузы) в условиях водоема части эмбрионов, которые в последующий период транспортировки

**Таблица 3.** Доля жизнеспособных цист артемии из оз. Кучукское по показателям выклева, 26.04.2020 г.

**Table 3.** The hatching of Artemia cysts from Kuchukское Lake, 04.26.2020

Место отбора образца, № образца Place of sampling, № of sample	Доля вылупившихся науплиусов (%) за время экспозиции (ч) Percentage of hatched nauplius (%) during exposure (h)					
	24 ч		30 ч		48 ч	
	Н-	Н+	Н-	Н+	Н-	Н+
Цисты из грунта, 1 Bottom Artemia cysts, 1	1.36	5.13	6.58	9.02	8.80	16.82
Цисты из грунта, 2 Bottom Artemia cysts, 2	3.94	6.08	3.64	9.52	17.19	19.03
Цисты с поверхности воды, 3 Artemia cysts from the water surface, 3	20.27	28.15	13.12	15.22	23.81	30.41

**Примечание.** Н- выклев свободноплавающих науплиусов; Н+ выклев свободноплавающих науплиусов в сумме с проклюнувшимися эмбрионами.

**Note.** Н- hatching of naupliuses; Н+ hatching of naupliuses and embryos.

не выклюнулись из-за отсутствия благоприятных условий, при этом потеряли необходимые для жизнедеятельности запасы энергии. Известно, что в первые сутки науплиусы не питаются, а используют резерв желтка [Manual for the culture..., 1986], которого, по-видимому, в сложившихся условиях было недостаточно. По истечению 48 часов инкубации доля выклева науплиусов составляла 23.81%.

Доля жизнеспособных эмбрионов в донных цистах была низкой и не превышала 20%. Наблюдалось увеличение показателя выклева науплиусов с течением времени от 1.36% до 17.19% (табл. 3).

Расчет биомассы цист артемии, находящейся на дне в апреле 2020 г. имеет вид:

$$W_3 = 86.72 \times 10^3 \times 175.7 \times 10^6 \times 10^{-11} = 152.4 \text{ т (способ 1).}$$

По результатам проведенных работ, становится очевидно, что для расчета биомассы донных цист нецелесообразно использование всей акватории оз. Кучукское. Для определения доступной для всплытия площади использовали координаты станций наблюдения, карту изобат озера, а также спутниковую карту для определения площадей. Согласно сетке станций, а также наблюдаемых на них типам грунтов в весенне-летний период 2020 г., доступная для всплытия донных цист площадь составляла 129 км<sup>2</sup> или 73% от общей площади озера. Средний выклев науплиусов из донных цист в апреле составлял 8.9%, максимальный – 19.0%. Расчет биомассы донных цист, с учетом приведенных показателей, будет иметь следующий вид:

$$W_3 = 102.78 \times 10^3 \times 129 \times 10^6 \times 10^{-11} = 132.6 \text{ т;}$$

$$132.6 \times 0.089 = 11.8 \text{ т или } 132.6 \times 0.19 = 25.2 \text{ т (способ 2).}$$

Таким образом, на доступной для всплывания акватории оз. Кучукское в апреле 2020 г. находилось 132.6 т цист артемии, из них жизнеспособных – от 11.8 до 25.2 т. Разница между показателями, рассчитанными двумя способами, составляет от 84 до 92%.

#### Озеро Большое Яровое

По результатам исследований в 2020 г., грунты в оз. Большое Яровое на мелководных участках представлены крупно- и среднедисперсным песком, подвижным в зоне прибоя. На глубине 0.8–1.0 м – грунт плотный, песчаный с примесью глины. На глубине более 2.5–3.0 м дно водоема покрыто илами интенсивно-черного цвета с запахом сероводорода, имеющего мелкодисперсную (коллоидную) структуру. Толщина ила на разных участках глубоководной части водоема различна. В центральной части дна озера слой ила превышает 30 см, на более мелководных участках (глубина 4.0–6.0 м) толщина иловых отложений составляет 10–15 см. В толще ила, на глубине 15–20 см, присутствуют продукты сгорания угля.

В апреле в оз. Большое Яровое концентрация цист на дне составляла в среднем  $1501.7 \pm 594.71$  тыс. экз./м<sup>2</sup>, в толще воды –  $39.3 \pm 25.8$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. В составе зоопланктона присутствовали только науплиусы артемии, их количество на отдельных мелководных при-

брежных участках (глубина 1.5 м) достигало 273.4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, в среднем по озеру –  $5.9 \pm 0.96$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. На поверхности воды и вдоль уреза наблюдались скопления артемии (на стадии цист). В отобранных образцах при транспортировке наблюдался выклев науплиусов, поэтому исследовать цисты в лабораторных условиях не представлялось возможным. Не смотря на активный выклев науплиусов, их концентрация в толще воды была очень низкой, что объясняется недостатком тепла.

В июне средняя численность рачков первой генерации составляла  $28.6 \pm 2.48$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, из них 96% были представлены науплиусами. Половозрелые самки были немногочисленны, в яйцевых мешках наблюдались неоформленные половые продукты. Можно сделать вывод о продолжающемся вылуплении науплиусов из перезимовавших цист и отсутствии цистоношения у самок. Это отразилось на численности цист в толще воды: скоплений не наблюдалось, средняя по озеру плотность составляла  $17.4 \pm 3.38$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. При этом концентрация цист на дне в июне увеличилась по сравнению с апрелем в 23 раза (табл. 4). Значительные скопления диапаузирующих яиц артемии в весенний период, по-видимому, погрузились на дно в процессе прогревания водной толщи и конвекционных процессов.

**Таблица 4.** Численность цист артемии в донных грунтах оз. Большое Яровое, 2020 г.

**Table 4.** The number of *Artemia* cysts in the bottom soils of Bolshoe Yarovoe Lake, 2020

Дата исследования Data	Численность, тыс. экз./м <sup>2</sup> / Number, thousand ind./m <sup>2</sup>	
	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>Lim</i>
27.04.2020	1501.7±594.66	0–4744
21.06.2020	34812.0±10410.31	20–65861
14.07.2020	30120.2±8813.11	15–101676
16.08.2020	25704.3±5950.60	567–94340
20.09.2020	52828.3±33437.53	94–660800

**Примечание.** *M* – среднее значение; *m* – ошибка среднего значения; *Lim* – интервал (минимальное–максимальное значение).

**Note.** *M* – mean value; *m* – error of mean; *Lim* – the interval (minimum–maximum mean).

Средняя по озеру численность донных цист в июне–августе изменялась незначительно ( $28610.4 \pm 2629.55$  тыс. экз./м<sup>2</sup>; *Cv*=15.9%) при различной вариации на каждой станции (*Cv* колебался от 0 до 94%). В толще воды количество цист возрастало с образованием скоплений на отдельных участках озера по направлению преобладающих ветров. В августе их концентрация составляла  $100.8 \pm 24.94$  тыс. экз./м<sup>3</sup> при условии осуществления добычи артемии (на стадии цист). Согласно проведенным ранее исследованиям хорологической структуры цист артемии

в толще воды, процесс их оседания наиболее интенсивно проходит в августе–октябре [Пермякова, 2012 (Permyakova, 2012); Веснина, Пермякова, 2013 (Vesnina, Permyakova, 2013)]. В сентябре 2020 г. численность донных цист возросла до  $52828.2 \pm 33437.53$  тыс. экз./м<sup>2</sup> при значительной вариации по станциям (*Cv*=283.1%).

С учетом средней по водоему численности донных цист в сентябре ( $52828.2$  тыс. экз./м<sup>2</sup>) и площади оз. Большое Яровое (см. табл. 1), биомасса донных цист составляла 38934 т или 5283 кг/га. Такие показате-

тели биомассы превышают репродуктивные возможности популяции артемии за один вегетационный сезон. Среднегодовалый (2000–2019 гг.) общий запас артемии (на стадии цист) в оз. Большое Яровое, без учета донных цист, составляет 880 т [Веснина и др., 2019 (Vesnina et al., 2019)]. Следовательно, накопление цист артемии в донных отложениях происходило на протяжении ряда лет.

Диапазон колебания численности по станциям был значительным: от 0 до 660,8 млн экз./м<sup>2</sup> (см. табл. 4). Средние значения, в таком случае, не дают достоверного представления о биомассе цист артемии, находящихся на дне и возникает необходимость более детального рассмотрения их пространственного распределения.

В грунтах со значительным содержанием средне- и крупнодисперсного песка с примесью глины (глубина 0.5–1.0 м) численность цист колебалась в течение вегетационного периода от 0 до 12506.36 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Максимальное их количество отмечалось на мелководной станции по направлению ветра, в зоне прибоя, где образовывались скопления артемии (на стадии цист). В апреле (27.04.2020 г.), при отсутствии половозрелых самок и естественного прироста биомассы цист, средняя численность диапаузирующих яиц на мелководных станциях составляла 261.9 тыс. экз./м<sup>2</sup>, в августе – 6028.1 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Предположительно, присутствие цист артемии в рыхлом, подвижном песчаном грунте оз. Большое Яровое обусловлено их концентрацией в толще воды и образованием скоплений в прибрежной зоне. Удельная численность донных цист на глубине до 6.0 м составляла 1.0–24.0%.

Наибольшая концентрация донных цист была в иловых отложениях на глубине от 6.1 до 9.5 м. Их удельная численность составляла в течение вегетационного периода от 76 до 90%, в среднем за вегетационный период 86.1% общей численности.

Полученные результаты могут свидетельствовать о наличии корреляционной зависимости между концентрацией донных цист и типом грунта и станут задачей следующих исследований с привлечением данных с разнотипных гипергалинных водоемов.

Качественный анализ проб выявил присутствие в грунтах оз. Большое Яровое внешне разных яиц артемии, которые можно условно разделить на группы: внешне-полноценные цисты (без видимых повреждений); яйца с поврежденным хорионом или без него (на оболочке имеются трещины или неокрашенные области, возможно полное отсутствие хориона);

цисты с неестественной окраской хориона (от серого до черного; содержимое оранжевого цвета или серого, неструктурированное). Внешне-полноценные цисты составляли 40.4–69.5% от общей численности. Неестественно окрашенные яйца были приурочены к илистым грунтам и составляли от 1.1 до 3.2% от общей численности.

Кроме пространственного распределения донных цист, было проанализировано их содержание в разных слоях илистых грунтов (табл. 5). Наибольшее содержание внешне-полноценных цист отмечалось в центральной, самой глубокой, части озера, где их плотность в слое грунта 0–20 см составляла 776.47 млн. экз./м<sup>3</sup>. В северной и южной частях озера слой ила был меньше, концентрация цист во всей толще ила сопоставима (320.61 и 311.24 млн. экз./м<sup>3</sup>, соответственно). Содержание поврежденных цист соответствовало концентрации полноценных: наибольшая плотность в центре (500.91 млн. экз./м<sup>3</sup>), на севере и юге в пределах 392.83–411.24 млн. экз./м<sup>3</sup>. Однако, содержание цист с неестественно окрашенным хорионом (серые и черные) было максимальным в северной части озера (120.01 млн. экз./м<sup>3</sup>), в центральной и в южной частях акватории их плотность составляла 24.70–29.47 млн. экз./м<sup>3</sup>. Это возможно объяснить расположением на северном берегу ТЭЦ г. Яровое, который осуществляет сброс сточных вод в озеро в этой части, а также продукты сгорания угля в виде дыма распространяются непосредственно над озером и, по-видимому, частично оседают вместе с осадками.

В процентном соотношении плотности цист в разных горизонтах грунта по станциям имеются отличия (рис. 5). В поверхностном слое (0–10 см) на севере и юге акватории содержится 62–73% внешне-полноценных цист. Удельная плотность поврежденных и неестественно окрашенных яиц увеличивается в горизонте, больше 5 см. Глубины озера на этих станциях сопоставимы (6.8 и 7.0 м), а термоклин в весенне-летний период расположен глубже (7.0–8.0 м), поэтому, предположительно, поднятие (всплытие) и оседание цист на такие глубины проходит более активно, что объясняет высокое содержание внешне-полноценных цист в верхних слоях грунта.

В центральной, наиболее глубокой, части озера в верхних слоях ила (0–10 см) содержится минимальное количество внешне-полноценных цист (25% от общей их численности), такая же тенденция прослеживается для поврежденных (19%) и неестественно окрашенных яиц (14%).

**Таблица 5.** Показатели плотности цист артемии в толще иловых отложений в оз. Большое Яровое в осенний период, 2020 г.**Table 5.** Indicators of the density of Artemia cysts in the thickness of silt deposits in Bolshoe Yarovo Lake, Autumn 2020

Дата Data	Участок (глубина, м) Plot (depth, m)	Группа цист Group of Artemia cysts	Плотность цист (млн. экз./м <sup>3</sup> ) в слое ила The density of Artemia cysts (million ind./m <sup>3</sup> ) in the silt layer				
			0–5 см	5–10 см	10–15 см	15–20 см	>20 см
20.09.2020	Центр (9.4 м) Center (9.4 m)	Внешне-полноценные Externally-whole	26.25	208.40	128.00	249.47	252.27
		Поврежденные Defective	14.00	93.20	78.20	82.20	282.53
		Серые, черные Gray or black color	0.00	7.00	0.20	27.53	0.27
	Юг (6.8 м) South (6.8 m)	Внешне-полноценные Externally-whole	76.60	115.44	75.20	44.00	–
		Поврежденные Defective	92.60	157.04	108.80	52.80	–
		Серые, черные Gray or black color	1.33	3.73	6.40	28.00	–
16.10.2020	Север (7.0 м) North (7.0 m)	Внешне-полноценные Externally-whole	103.60	131.68	66.08	19.25	–
		Поврежденные Defective	88.00	131.84	42.24	130.75	–
		Серые, черные Gray or black color	1.60	59.20	53.76	5.45	–
	Центр (9.4 м) Center (9.4 m)	Внешне-полноценные Externally-whole	30.40	126.24	163.84	252.48	115.60
		Поврежденные Defective	12.00	70.24	81.12	62.72	225.60
		Серые, черные Gray or black color	0.00	1.12	5.60	4.48	3.20

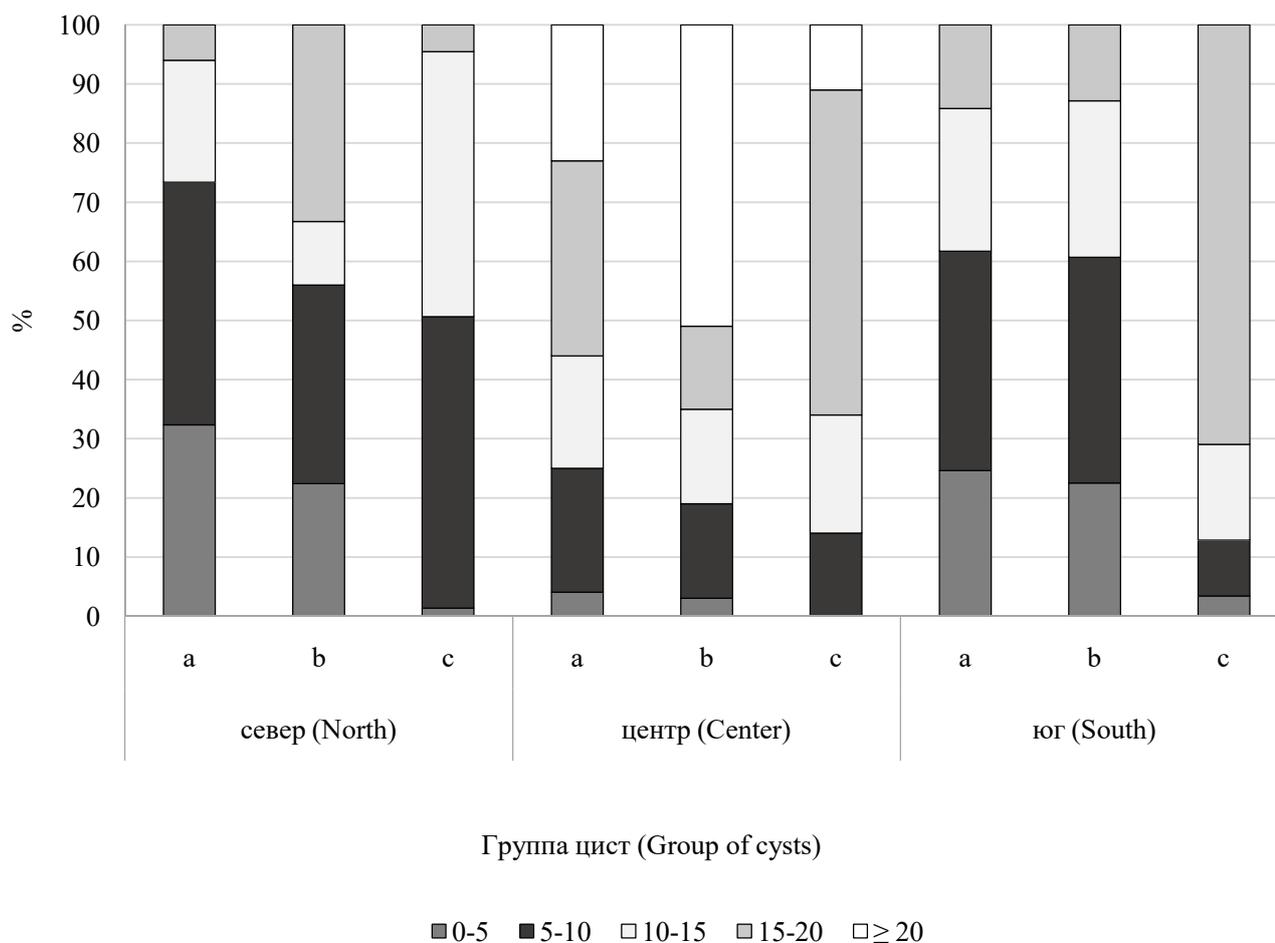
Наибольшая концентрация всех выделенных групп отмечается в горизонте от 15 см и глубже. Это может условно указывать на более длительное нахождение цист в донных илах и более медленные процессы оседания и всплытия.

Возможно, в процессе охлаждения водной толщи озера и образования слоя пресной воды на поверхности из-за осадков в осенний период, цисты тонут до определенной глубины и находятся на разделе двух плотностей. Часть их опускается на дно, а основная масса, по-видимому, зимует в толще воды. Такой процесс описан для озера Большое Соленое (Great Salt Lake, штат Юта, США), где изучали выживаемость цист в зимний период в береговых выбросах и толще воды [Belovsky et al., 2019]. Такой же процесс наблюдали специалисты “АлтайНИРО” в лабораторных условиях при добавлении пресной воды в рапу озера с цистами без активного перемешивания. Основная масса цист опускалась, но не тонула, а располагалась на разделе двух плотностей. Соленость

воды верхнего слоя составляла 40 г/кг, нижнего – 120 г/кг.

Жизнеспособность донных цист (выклев науплиусов), вымытых из ила с глубины более 9.0 м, в весенний период составляла 4.46–15.93%, с глубины 8.0 м – 17.28–26.12% (табл. 6). Таким образом, жизнеспособность донных цист, прошедших диапаузу в условиях водоема, достаточно низкая даже при оптимальных условиях и различна в зависимости от глубины отбора образцов.

Образцы цист артемии, отобранные в сентябре, инкубировали с использованием разных растворов. Выклев науплиусов в условиях материнской рапы отсутствовал, цисты дегидратировались и всплыли на поверхность. Также не имели значения время экспозиции и состав инкубационного раствора для цист из ила с горизонта более 20 см (табл. 7). Признаки жизнеспособности цисты из толщи воды проявляли после 72 ч инкубации в материнской рапе с соленостью 20–30 г/кг. Также потенциал имели диапаузирующие яйца из верхних слоев грунта (0–10 см), из них вылупляемость составляла 1.5–8.1%.



**Рис. 5.** Удельная плотность разнокачественных цист артемии в слоях илистого грунта (см) оз. Большое Яровое, 2020 г. а – внешне-полноценные цисты; б – цисты с поврежденной оболочкой; с – цисты серого или черного цвета.

**Fig. 5.** Specific density of *Artemia* cysts of different quality in the layers of the silty soil (cm) of Bolshoe Yarovoe Lake, 2020. а – Externally-whole cysts; б – Cysts with defective shell; с – Cysts of gray or black color.

**Таблица 6.** Показатели выклева науплиусов из донных цист из оз. Большое Яровое, 2020 г.

**Table 6.** Indicators of hatching of nauplius from bottom *Artemia* cysts from Bolshoe Yarovoe Lake, 2020

Глубина отбора, м Sampling depth, m	Дата Data	Экспозиция, ч Exposure, h	Н	Выклев, % Hatching, %
Более 9.0 м More than 9.0 m	27.04.20	24	Н-	4.46
			Н+	7.27
		30	Н-	9.49
			Н+	15.93
До 8.0 м Before 8.0 m	27.04.20	24	Н-	23.53
			Н+	26.12
		30	Н-	17.28
			Н+	21.99

**Примечание.** Н- – выклев свободноплавающих науплиусов; Н+ – выклев свободноплавающих науплиусов в сумме с проклюнувшимися эмбрионами.

**Note.** Н- – hatching of naupliuses; Н+ – hatching of naupliuses and embryos.

**Таблица 7.** Показатели выклева (%) науплиусов из цист артемии из оз. Большое Яровое, 20.09.2020 г.**Table 7.** Hatching (%) of nauplius from Artemia cysts from Bolshoe Yarovoe Lake, 09.20.2020

Инкубационный раствор (соленость, г/кг) Incubation solution (salinity, g/kg)	Место отбора образца цист артемии Place of sampling of Artemia cysts			
	С поверхности воды From the water surface	Донные, горизонт 0–5 см Bottom, layer 0–5 cm	Донные, горизонт 0–10 см Bottom, layer 0–10 cm	Донные, горизонт более 20 см Bottom, layer more than 20 cm
лаб. р-р (20–30)	0–1.0	1.5–3.8	0–7.1	0
рапа (150–160)	0	0	0	0
0.5 рапа (60–70)	0–0.6	0–3.2	0.5–3.6	0
0.25 рапа (25–30)	0.3–2.0	1.3–6.0	1.3–8.1	0

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Образование диапаузирующих яиц (цист) является важным экологическим приспособлением для сохранения жизнеспособности популяции артемии. Диапауза возникает в жизненном цикле животных как адаптация для переживания неблагоприятных условий [Хмелева, 1988 (Hmeleva, 1988)]. Зимуют цисты артемии в водоеме на дне, в толще воды, в береговых выбросах. Основным показателем для развития рачков в весенний период является жизнеспособность цист. Для возобновления метаболизма эмбриона необходимо сочетание условий, которые широко освещены в зарубежной и отечественной литературе [Спекторова, 1984 (Spektorova, 1984); Хмелева, 1988 (Hmeleva, 1988); Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Инструкция по использованию..., 2000 (Instrukciya po ispol'zovaniyu..., 2000); Vanhaecke et al., 1981, 1984; Drinkwater, Crowe, 1991]. Если в искусственных условиях создается их оптимальное сочетание, способствующее увеличению выклева науплиусов, то в водоеме повлиять на вылупляемость невозможно.

В зарубежной и отечественной литературе вопрос смертности цист в зимний период в условиях водоема остается малоизученным. Согласно многолетним исследованиям на Большом Соленом озере (Great Salt Lake, штат Юта, США), основная часть цист, дающая начало первому поколению рачков весной, зимует в береговых выбросах и в толще воды. Их смертность достаточно высокая (34–91%) и обусловлена наличием пищевых ресурсов для самок, а также температурным режимом зимой и весной [Belovsky et al., 2019]. Авторы считают, что зимняя выживаемость цист очень важна для популяции артемии в Большом Соленом озере и должна учитываться при промышленной добыче биоресурса [Belovsky, Pershon, 2019]. Полученные в 2020 г. результаты для самосадочного оз. Кучукское подтверждают, что основную роль для возобновления

жизнедеятельности рачков в весенний период играют цисты, перезимовавшие в береговых выбросах, а также на мелководье. В относительно глубоководном оз. Большое Яровое с неразвитой литоралью, цисты зимуют главным образом в водоеме – в толще воды и на дне. Доказаны наличие разнокачественных цист в составе грунтов и длительный период их накопления, а также неравномерность в горизонтальном и вертикальном распределении.

Исследованию запасов цист артемии в составе донных отложений в разнотипных гипергалинных водоемах России посвящен ряд работ [Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Визер, Ростовцев, 2016 (Vizer, Rostovcev, 2016); Семик, Ушакова, 2017 (Semik, Ushakova, 2017); Литвиненко и др., 2020 (Litvinenko et al., 2020)]. Все авторы отмечают значительную численность донных цист, а также их присутствие в течение всего года. При этом приведенные колебания численности варьируют от 0 до нескольких десятков миллионов, что согласуется с нашими данными и подтверждает неравномерность распределения донных цист в пространстве и времени.

Исследования на примере оз. Кучукское и Большое Яровое доказали более значительную концентрацию цист в илах, по сравнению с другими типами грунтов. В донных иловых отложениях минерализованных озер Кулундинской степи формируется сообщество анаэробных бактерий, создающих значительную биомассу [Sorokin et al., 2006]. Выраженный запах илов в обследованных озерах свидетельствует о развитии сульфатредуцирующих анаэробных прокариот, вызывающих процессы разложения. Опытным путем установлено, что хранение цист с высоким содержанием органических примесей, даже в благоприятных для прохождения диапаузы условиях, приводит к снижению их жизнеспособности и гибели [Клепиков, 2012 (Klepikov, 2012)]. Таким обра-

зом, на дне не только отсутствуют условия для прерывания диапаузы, но и создается агрессивная среда, что приводит, как показано в работе, к повреждению внешней оболочки цист и гибели эмбриона.

Жизнеспособность донных цист изучена недостаточно. Российские исследователи [Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016)] приводят выживаемость бентосных цист в пределах 1.3–57.5%. В этих показателях по разным озерам не прослеживается единой тенденции: выклев может, как увеличиваться, так и снижаться в весенний период, либо весь год находится на одном уровне. Таким образом, в водоемах на дне присутствуют цисты с разной степенью жизнеспособности, которая обусловлена условиями в каждом конкретном

озере. Полученные нами данные предварительны, но согласуются с описанными в литературе исследованиями.

Немаловажным фактором становится и добыча артемии (на стадии цист). На водоемах Алтайского края вылов сырья осуществляется с поверхности воды (оз. Большое Яровое), из береговых выбросов, а также с воды вдоль уреза при помощи искусственных концентраторов. По данным исследований, проведенных на оз. Большое Солёное (штат Юта, США), плавучесть цист в толще воды или их погружение имеет генетическую и экологическую основы. Ученые показали, что селективный сбор плавучих цист ведет к снижению их качества и увеличению смертности науплиусов в водоеме [Sura, Belovsky, 2016].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследованных в 2020 г. гипергалинных озерах Алтайского края наблюдалось невысокое разнообразие типов грунтов, которые можно подразделить на несколько групп по доминирующим частицам. В оз. Кучукское большую роль играют донные отложения солей, в образовании которых прослеживается цикличность. Такой тип накопления влияет на формирование биомассы донных цист артемии, делая их недоступными для всплытия в весенний период. По результатам исследований можно сделать вывод о низкой роли донных цист в развитии популяции рачков и значительном вкладе скоплений на берегу и мелководных заиленных участках водоема. Средняя вылупляемость науплиусов из донных цист составляла 8.9%.

В оз. Большое Яровое иловые отложения содержат значительную биомассу цист артемии, по оценкам сентября 2020 г. – 38934 т.

В процессах их накопления и всплытия определяющую роль играет гидротермический и гидрохимический режимы, а также глубина водоема. На участках акватории с глубиной до 7.0 м в поверхностных слоях грунта содержится до 73% внешне-полноценных цист с показателем выклева науплиусов в весенний период 22%. В центральной, наиболее глубоководной, части водоема концентрация цист на дне максимальная, но и наименее доступная. Содержание полноценных цист в верхних слоях грунта наименьшая, а их жизнеспособность в весенний период не превышает 10%.

Таким образом, в разнотипных гипергалинных водоемах Алтайского края роль донных цист в биоте озера различна, что делает необходимым учет при расчетах их биомассы таких показателей, как доступная для всплытия площадь, глубина озера, характер грунтов, жизнеспособность донных цист.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Алтайского филиала ФГБНУ “ВНИРО” (“АлтайНИРО”) по прикладной теме: “Совершенствование системы регулирования промысла и повышение эффективности использования ресурсов промысловых беспозвоночных гипергалинных водоемов Российской Федерации” (№ 076-00005-20-ПР).

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность за помощь в сборе и обработке материалов сотрудникам лаборатории гидробиологии “АлтайНИРО”: заведующей лабораторией, кандидату сельскохозяйственных наук Галине Дмитриевне Толкушкиной, главному специалисту Дмитрию Александровичу Суркову, старшему специалисту Яне Сергеевне Пятковой, старшему лаборанту Юлии Николаевне Косачевой, а также Александру Владимировичу Савоськину, бывшему главному специалисту лаборатории гидробиологии “АлтайНИРО”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.  
 Богословский Б.Б. Озероведение. М.: Изд-во МГУ, 1960. 335 с.  
 Верещагин Г.Ю. Методы морфометрической характеристики озер // Тр. Олонек. науч. эксп., 1930. Вып. 1, ч. II. География. 106 с.

- Веснина Л.В., Пермякова Г.В. Влияние техногенного фактора на биоту озера Кучукское (Алтайский край) // Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. СПб.: Феникс, 2011. С. 72–75.
- Веснина Л.В., Пермякова Г.В. Динамика численности и распределение разновозрастных особей жаброногого рачка рода *Artemia* Leach, 1819 и его цист в глубоководном озере Большое Яровое Алтайского края // Вестник Томского гос. ун-та. 2013. №1(21). С. 89–102.
- Веснина Л.В., Лукерина Г.В., Ронжина Т.О., Результаты многолетнего экологического мониторинга гипергалинного озера Большое Яровое, г. Славгород Алтайского края // Рыбное хозяйство, 2019. № 4 (159). С. 19–27.
- Визер Л.С., Ростовцев А.А. Мониторинг *Artemia* sp. в гипергалинном озере Карачи // Вест. НГАУ. 2016. № 2. С. 65–70.
- Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования. Новосибирск: Наука; Сиб. предприятие РАН, 1999. 285 с.
- Жадин В.И. Жизнь в реках. Бентос // Жизнь пресных вод СССР. М.-Л.: АН СССР, 1950. Т. 3. С. 149–183.
- Иванов П.В. Классификация озер по величине и по их средней глубине // Бюл. ЛГУ, 1948. № 21. С. 29–36.
- Инструкция по использованию артемии в аквакультуре. Тюмень: СибрыбНИИпроект, 2000. 59 с.
- Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Вводные и общие вопросы планктологии. М.: Наука, 1969. Т. 1. 440 с.
- Клепиков Р.А. Цисты рачка *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных озерах Алтайского края: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2012. 23 с.
- Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 1979. 480 с.
- Литвиненко А.И., Бойко Е.Г., Корентович М.А., Разова Л.Ф. История изучения бентосных цист артемии // Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5. № 3(19). С. 31–40.
- Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г. Артемия в озерах Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2009. 304 с.
- Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г., Куцанов К.В., Корентович М.А. Влияние промысла цист артемии на экосистему гипергалинного озера. // Журн. Сиб. Федер. Ун-та. Биология, 2020. № 13(4). С. 348–367. doi: 10.17516/1997-1389-0333.
- Методические рекомендации по оценке запаса и прогнозированию рекомендованного объема добычи (вылова) артемии. М.: Изд-во ВНИРО, 2019. 50 с.
- Оксиюк О.П. Жукинский В.Н. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. Вып. 4. С. 62–76.
- Пермякова Г.В. Жаброногий рачок *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных озерах Алтая (на примере озера Большое Яровое): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2012. 23 с.
- Пермякова Г.В., Веснина Л.В. Состояние промысловых запасов цист *Artemia* sp. в гипергалинных водоемах Алтайского края // Вопросы аквакультуры: тез. докл. Первой конф. молодых ученых НАСЭЕ. Тюмень: Госрыбцентр, 2009. С. 39–40.
- Семик А.М., Ушакова А.О. Современное состояние запасов жаброногого рачка артемии (*Artemia salina* L.) в соленых озерах Республики Крым. // Труды ЮгНИРО, 2017. Т. 54. С. 137–141.
- Соловов В.П., Студеникина Т.Л. Рачок артемия в озерах Западной Сибири: морфология, экология, перспективы хозяйственного использования. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 81 с.
- Спекторова Л.В. Обзор зарубежного опыта разведения артемии для использования ее в аквакультуре. М.: ВНИРО, 1984. 63 с.
- Хмелева Н.Н. Закономерности размножения ракообразных. Минск: Наука и техника, 1988. 208 с.
- Belovsky G.E., Perchon C., Larson Ch., Mellison Ch., Slade J., Mahon H., Appiah-Madson H., Luft J., Mosley R., Neill J., Stone K., Kijowski A. Overwinter survival of crustacean diapausing cysts: Brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah // Limnol. Oceanogr. 2019. № 64. P. 2538–2549. doi: 10.1002/lno.11203.
- Belovsky G.E., Pershon C. A management case study for a new fishery: Brine shrimp harvesting in Great Salt Lake. // Ecol. Appl., 2019. № 29(3): e01864. doi: 10.1002/eap. 1864.
- Drinkwater L.E., Crowe J.H. Hydration state, metabolism, and hatching of Mono Lake *Artemia* cysts. // Biol. Bul., 1991. Jun;180(3). P. 432–439.
- <http://3planeta>
- Manual for the culture and use of brine shrimp in aquaculture. Belgium: Ghent universiteit, 1986. 319 p.
- Sorokin D.Yu., Tourova T.P., Lysenko A.M. and Muyzer G. Diversity of culturable halophilic sulfur-oxidizing bacteria in hypersaline habitats // Microbiology, 2006. № 152. P. 3013–3023. doi: 10.1099/mic.0.29106-0.
- Sura S.A., Belovsky G.E. Impacts of harvesting on brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah, USA. // Ecol. Appl., 2016. № 26(2). P. 407–414.
- Van Stappen G. Introduction, biology and ecology of *Artemia* // Manual on the production and use of live food for aquaculture. Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Center, University of Ghent, Belgium, 1996. P. 79–136.
- Vanhaecke P., Cooreman A., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XV. Effect of light intensity on hatching rate of *Artemia* cysts from different geographical origin. // Mar. Ecol. Prog. Ser., 1981. Vol. 5. P. 111–114.
- Vanhaecke P., Siddall S.E., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XXXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origin. // J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 1984. Vol. 80. P. 259–275.

## REFERENCES

- Alekin O.A. *Basics of Hydrochemistry*. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p. (In Russian)
- Belovsky G.E., Perchon C., Larson Ch., Mellison Ch., Slade J., Mahon H., Appiah-Madson H., Luft J., Mosley R., Neill J., Stone K., Kijowski A. Overwinter survival of crustacean diapausing cysts: Brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah. *Limnol. Oceanogr.*, 2019, no. 64, pp. 2538–2549. doi:10.1002/lno.11203.
- Belovsky G.E., Pershon C. A management case study for a new fishery: Brine shrimp harvesting in Great Salt Lake. *Ecol. Appl.*, 2019, no. 29(3): e01864. doi:10.1002/eap.1864.
- Bogoslovskij B.B. Ozerovedenie. Moscow, MGU, 1960. 335 p. (In Russian)
- Drinkwater L.E., Crowe J.H. Hydration state, metabolism, and hatching of Mono Lake *Artemia* cysts. *Biol. Bul.*, 1991, Jun; no. 180(3), pp. 432–439.
- Hmeleva N.N. Patterns of reproduction of crustaceans. Minsk, Nauka i tekhnika, 1988. 208 p. (In Russian)  
http://3planeta
- Instrukciya po ispol'zovaniyu artemii v akvakul'ture [Instruction on the use of Artemia in Aquaculture]. Tyumen', Sibryb-NIIproekt, 2000. 59 p. (In Russian)
- Ivanov P.V. Classification of lakes by size and by their average depth. *Byul. LGU*, 1948, no. 21, pp. 29–36. (In Russian)
- Kiselev I.A. Plankton of seas and continental reservoirs. Introductory and general questions of planktology. Moscow, Nauka, 1969. Vol. 1. 440 p. (In Russian)
- Klepikov R.A. Cysts of the crustacean *Artemia* Leach, 1819 in the hyperhaline lakes of the Altai Territory. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Novosibirsk, 2012. 23 p. (In Russian)
- Konstantinov A.S. General hydrobiology. Moscow, Vysshaya shkola, 1979. 480 p. (In Russian)
- Litvinenko A.I., Bojko E.G., Korentovich M.A., Razova L.F. The history of studying Artemia's benthic cysts. *Vestnik rybohozyajstvennoj nauki*, 2018, vol. 5, no. 3(19), pp. 31–40. (In Russian)
- Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Bojko E.G., Kucanov K.V., Korentovich M.A. The effects of Artemia cysts harvesting on the salt lake ecosystem. *Zhurn. Sib. Feder. Un-ta. Biologiya*, 2020, no. 13(4), pp. 348–367. doi: 10.17516/1997-1389-0333. (In Russian)
- Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boyko E.G. Brine shrimp Artemia in Western Siberia Lakes: translated from Russian. Novosibirsk: Nauka, 2016. 295 p
- Manual for the culture and use of brine shrimp in aquaculture (ed. P. Sorgeloos, P. Lavens, Ph. Leger et al.). Belgium: Ghent universiteit, 1986. 319 p.
- Metodicheskie rekomendacii po ocenke zapasa i prognozirovaniyu rekomendovannogo ob'ema dobychi (vylova) artemii [Methodological recommendations for assessing the stock and forecasting the recommended volume of production (catch) of Artemia]. Moscow, VNIRO, 2019. 50 p. (In Russian)
- Oksiyuk O.P., Zhukinskij V.N. Integrated ecological classification of the quality of surface waters of the land. *Gidrobiol. zhurn.*, 1993, vol. 29, pp. 62–76. (In Russian)
- Permyakova G.V. Gill-legged crustacean *Artemia* Leach, 1819 in the hyperhaline lakes of Altai (on the example of Bolshoe Yarovoe Lake). *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Novosibirsk, 2012. 23 p. (In Russian)
- Permyakova G.V., Vesnina L.V. The state of commercial stocks of Artemia cysts in hyperhaline reservoirs of the Altai Territory. *Tezisy dokladov Pervoj konf. molodyh uchenyh NACEE* [Abstracts of the First Conference of Young scientists of NACEE]. Tyumen', Gosrybcentr, 2009. P. 39–40.
- Semik A.M., Ushakova A.O. Current state of the brine shrimp (*Artemia salina* L.) stock in the salt lakes of Crimea. *Trudy YUGNIRO*, 2017, vol. 54, pp. 137–141. (In Russian)
- Solovov V.P., Studenikina T.L. Artemia crustacean in the lakes of Western Siberia: morphology, ecology, prospects for economic use. Novosibirsk, Nauka, 1990. 81 p. (In Russian)
- Sorokin D.Yu., Tourova T.P., Lysenko A.M. and Muyzer G. Diversity of culturable halophilic sulfur-oxidizing bacteria in hypersaline habitats. *Microbiology*, 2006, no. 152, pp. 3013–3023. doi:10.1099/mic.0.29106-0.
- Spektorova L.V. Review of foreign experience in breeding Artemia for its use in aquaculture. Moscow, VNIRO, 1984. 63 p. (In Russian)
- Sura S.A., Belovsky G.E. Impacts of harvesting on brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah, USA. *Ecol. Appl.*, 2016, no. 26(2), pp. 407–414.
- Van Stappen G. Introduction, biology and ecology of Artemia. *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. P. Lavens, P. Sorgeloos (ed.). Belgium, Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Center, University of Ghent, 1996. P. 79–136.
- Vanhaecke P., Cooreman A., Sorgeloos P. International study on Artemia. XV. Effect of light intensity on hatching rate of Artemia cysts from different geographical origin. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1981, vol. 5, pp. 111–114.
- Vanhaecke P., Siddall S.E., Sorgeloos P. International study on Artemia. XXXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of Artemia of various geographical origin. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.*, 1984, vol. 80, pp. 259–275.
- Vereshchagin G.YU. Methods of morphometric characteristics of lakes. *Trudy Olonec. nauch. eksp.*, 1930. Vyp. 1, ch. II. Geografiya. 106 p. (In Russian)
- Vesnina L.V., Permyakova G.V. Dynamics of number and distribution of uneven-age individuals of Artemia in deep-water Bolshoe Yarovoe Lake (Altaysky Krai). *Vestnik Tomskogo gos. un-ta*, 2013, no. 1(21), pp. 89–102. (In Russian)
- Vesnina L.V., Permyakova G.V. The influence of the technogenic factor on the biota of Kuchukskoe Lake (Altai Territory). *Materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. Uchastiem* [Materials of the All-Russian Scientific Conference with the international]. St. Petersburg, Feniks, 2011. P. 72–75. (In Russian)

- Vesnina, L.V., Lukerina, G.V., Ronzhina T.O. Results of long-term environmental monitoring of the hiperhaline Bolshoe Yarovoe Lake, Slavgorod, Altai Territory. *Rybnoe hozyajstvo*, 2019, no. 4 (159), pp. 19–27. (In Russian)
- Vizer L.S., Rostovcev A.A. Monitoring of Artemia sp. In the hypersaline Lake Karachi. *Vestnik NGAU*, 2016, no. 2, pp. 65–70. (In Russian)
- Vodoemy Altajskogo kraja: biologicheskaya produktivnost' i perspektivy ispol'zovaniya [Reservoirs of the Altai Territory: biological productivity and prospects of use]. Novosibirsk, Nauka; 1999. 285 p. (In Russian)
- Zhadin V.I. Life in rivers. Benthos. *Zhizn' presnyh vod SSSR* [The life of fresh waters of the USSR]. Moscow-Leningrad, AN SSSR, 1950, vol. 3, pp. 149–183. (In Russian)

## THE RESULTS OF STUDYING DIAPAUSING EGGS (CYSTS) OF BRINE SHRIMP *ARTEMIA* ON THE BOTTOM OF HYPERHALINE LAKES OF THE ALTAI TERRITORY

**G. V. Lukerina**

*Altai branch of "VNIRO" ("AltaiNIRO")  
656056, Barnaul, Russia, e-mail: artemiaalt@mail.ru  
Revised 25.01.2022*

The results of studies of bottom Artemia cysts in Kuchukskoe Lake and Bolshoe Yarovoe Lake of the Altai Territory in 2020 are presents. Artemia cysts at the bottom of lakes were observed all year. This number depended on the type of soil. The biomass of bottom cysts in Kuchukskoe Lake was 154.2 tons in spring, of which available and externally-whole – from 11.8 to 25.2 tons. Bottom Artemia cysts are not available on 27% of the lake area in Kuchukskoe Lake due to the high salinity of the water and salt precipitation. The viability of cysts from shallow bottom areas was 8.9% in spring. In Kuchukskoe Lake the main role in the formation of first generation Artemia in spring is played by cysts from accumulations on the coast, washed away by the runoff of melt water. The deep water of Bolshoe Yarovoe Lake determines the peculiarities of the temperature regime in spring, which prevents the rise of Artemia cysts from the bottom from depths of more than 7.0 m. Significant silt deposits at the bottom of the lake are an aggressive environment for cysts, which is shown by the presence of different group of quality: externally-whole, with defective chorion, gray or black color. The biomass of bottom cysts in Bolshoe Yarovoe Lake was 38934 tons in autumn of 2020, which exceeds the reproductive capacity of the Artemia population in one year. This proves the long-term period of accumulation of cysts at the bottom and their incomplete participation in the formation of the Artemia first generation in spring. The maximum hatching of nauplius from bottom cysts in spring from a depth of more than 9.0 m was 16%, from a depth of 8.0 m – 26%.

*Keywords:* Artemia (brine shrimp), hyperhaline lakes, diapausing eggs (cysts), Artemia cysts on the bottom, hatching