

Ключевые слова:
артемия, гипергалинный водоем, мониторинг, артемия (на стадии цист), биоресурс, трансгрессивная фаза водности, оз. Кулундинское, добыча (вылов)

Keywords:
artemia, brackish-water fauna, hyperhaline reservoir, monitoring, artemia (at the stage of cysts), bioresource, transgressive phase of water content, Kulundinskoe Lake, extraction (catch)

Роль солоноватоводной фауны и состояние биоресурса экосистемы гипергалинного озера Кулундинское в фазе трансгрессии (Алтайский край)

DOI

Доктор биологических наук, профессор

Л.В. Веснина – Новосибирский государственный аграрный университет (ФГБОУ ВО «НГАУ»), г. Новосибирск; руководитель Артемиевого центра ФГБУ науки Института водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул;

Ю.А. Веснин – инженер Артемиевого центра ФГБУ науки Института водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул;

Н.С. Романова – младший научный сотрудник – Лаборатория водной экологии ФГБУ науки Института водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул;

Доктор биологических наук, профессор **И.В. Моружи** – заведующая кафедрой биологии, биоресурсов и аквакультуры Новосибирского государственного аграрного университета (ФГБОУ ВО «НГАУ»), г. Новосибирск

@ artemia.vesnina@mail.ru

THE ROLE OF BRACKISH-WATER FAUNA AND THE STATE OF THE BIORESOURCE OF THE ECOSYSTEM OF THE HYPERGALINE LAKE KULUNDINSKOYE IN THE PHASE OF TRANSGRESSION (ALTAI KRAI)

Doctor of Biological Sciences, Professor **L.V. Vesnina** – *Novosibirsk State Agrarian University (NGAU)*, Novosibirsk; Head of the Artemiev Center of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul;

Yu.A. Vesnin – engineer Artemiev Center of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul;

N.S. Romanova – Junior Researcher – Laboratory of Water Ecology of the FSBI of Science of the Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul;

Doctor of Biological Sciences, Professor **I.V. Moruzi** – Head of the Department of Biology, Bioresources and Aquaculture of *Novosibirsk State Agrarian University (NGAU)*, Novosibirsk

The results of ecological monitoring of the hypergaline lake Kulundinskoye of the Altai Territory in the period 2021-2022 are presented. The research was carried out in the form of a comprehensive study of abiotic factors of the reservoir (climatic features of the lake, temperature regime, salinity of water), biological factors (species composition of brackish-water zooplankton, its abundance), production and structural indicators of the gill-legged crustacean *Artemia Leach*, 1819. Desalination of water during the transgressive period of water content caused successional speciation processes. There was a change of the gill-legged crustacean as a dominant and monovid to a complex of brackish-water fauna. The artemia population developed under the influence of unfavorable salinity of water with a fluctuation in the lake from 1.9 (April) to 99.0 mg/dm³.

The influence of the transgressive phase of water content on the biota and the extraction (catch) of a biological resource - artemia (at the stage of cysts), as well as the importance of the formation of their commercial accumulations of abiotic environmental factors, is shown. Studies have shown that the prevailing combination of factors during the transgression period – tense climatic conditions, low salinity of water (less than 100 mg/dm³), low number of artemia crustaceans, was the absence of commercial accumulations of biological resources.

ВВЕДЕНИЕ

Гипергалинные озера находятся под постоянным давлением различных факторов окружающей среды, в том числе таких как изменение климата и антропогенные воздействия. Действие этих факторов приводит к вариациям уровня воды и солености, что влияет на функционирование экосистем озер. Изменчивость уровня воды, солености и, связанные с этим, перестройки в структуре трофической цепи экосистем гипергалинных озер являются характерными особенностями водных объектов. Отсутствие единообразного тренда в изменении солености в озерах для разных регионов мира приводятся различными исследователями [1; 2]. Смена фаз водности регрессивной на трансгрессивную приводит к увеличению биоразнообразия солоноватоводной фауны зоопланктона и потере доминирования жаброногого рачка артемии в гипергалинном оз. Кулундинское Алтайского края, что сказывается на способности экосистемы предоставлять экосистемные услуги с отсутствием биоресурса (артемии (на стадии цист)), создавая проблемы для заинтересованного водопользователя. В связи с этим актуально понимать основные закономерности реакции экосистем озер на изменение солености.

Зоопланктон является одним из ключевых звеньев трофической цепи озерных экосистем. Его развитие в гипергалинных озерах зависит от биомассы и качественного состава нижнего трофического уровня (фитопланктона). С ростом солености, при достижении определенных пороговых значений, в структуре сообщества зоопланктона происходят резкие изменения, которые приводят к доминированию одного вида – жаброногого рачка артемии, продуцирующего цисты, используемые в качестве универсального живого корма.

В Российской Федерации запасы цист артемии сосредоточены в промысловых водоемах южной части Западной Сибири. Общая акватория – порядка 100 известных артемиевых озер в данном регионе – составляет 1700 км², в них, согласно многолетней статистике, в среднем ежегодно добывается около 1100 т цист. Доля России в мировом вылове цист артемии составляет около 15-20%. 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 – стратегически важным ресурсам.

Целью работы стал анализ исследований по программе мониторинга для оценки развития солоноватоводной фауны и популяции артемии в гипергалинном оз. Кулундинское в трансгрессивный период водности, а также выявление закономерностей влияния факторов среды на численные их показатели и условия формирования биоресурса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили пробы зоопланктона с оз. Кулундинское (53°10'N-79°30'E). Отбор гидробиологических проб проводили

Представлены результаты экологического мониторинга гипергалинного оз. Кулундинское Алтайского края в период 2021-2022 годов. Исследование проводилось в форме комплексного изучения абиотических факторов водохранилища (климатические особенности озера, температурный режим, соленость воды), биологических факторов (видовой состав солоноватоводного зоопланктона, его численность), продукционных и структурных показателей жаброногого ракообразного *Artemia Leach*, 1819 год. Опреснение воды в течение трансгрессивного периода водности вызвало сукцессионные процессы видообразования. Произошла смена жаброногого ракообразного как доминирующего и моновидного на комплекс солоноватоводной фауны. Популяция артемии развивалась под влиянием неблагоприятной солености воды с колебаниями в озере от 1,9 (апрель) до 99,0 мг/дм³.

Показано влияние трансгрессивной фазы водности на биоту и добычу (вылов) биологического ресурса – артемии (на стадии цист), а также важность формирования их промысловых скоплений абиотических факторов окружающей среды. Исследования показали, что преобладающим сочетанием факторов в период трансгрессии – напряженных климатических условий, низкой солености воды (менее 100 мг/дм³), низкой численности ракообразных артемии – было отсутствие промышленных скоплений биологических ресурсов.

ежемесячно в период с апреля по октябрь 2021-2022 гг. по стандартным методикам с литоральных и глубоководных станций [3; 4]. Интегральную пробу зоопланктона отбирали с помощью малой модели планктонной сети Апштейна (размер ячеи 64 мкм) от дна до поверхности. Пробу фиксировали 70%-ным этанолом. Оценку численности, измерение организмов и идентификацию до видов или родов проводили во всей пробе. В составе популяции артемии выделяли следующие группы: ортонауплии, метанауплии, ювенильные (1,0-5,0 мм), предвзрослые (5,1-10,0 мм), половозрелые самки (отмечалось содержание овисака) и самцы. Различали также летние тонкоскорлуповые яйца и диапаузирующие (цисты).

На каждой станции измерялась прозрачность воды диском Секки; температура воды с помощью ртутного термометра в поверхностном слое (на глубине не менее 0,2 м); соленость воды с помощью оптического прибора – рефрактометра в поверхностном слое (на глубине не менее 0,2 м).

Для оценки условий обитания рачка артемии использовали также гидрометеорологические данные по количеству осадков, температуре воздуха, направлению и скорости ветра. Статистическую обработку материала проводили с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel и STATISTICA [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оз. Кулундинское расположено в Благовещенском районе Алтайского края. По физико-географическому районированию озеро относится

к озерам Кулундинской равнины. Площадь озера колеблется, в зависимости от степени регрессии уровня воды, с диапазоном от 720,0 до 728,0 км², средняя глубина – 2,6 м, максимальная глубина – 3,5 метра. Озерная котловина характеризуется как округлая, немного вытянутая, берега пологие, местами с солонцово-солончаковыми комплексами, приболоченные. В оз. Кулундинское впадают реки Кулунда и Суетка. В естественных условиях гипергалинных озер главными факторами, для развития популяции артемии, отмечаются температура рапы, общая минерализация воды и уровень режим водоема, лимитирующий объем «жилой» зоны рачков артемии и их диапаузирующих яиц (цист).

В период исследования абиотические условия в озере были напряженными для нормального существования рачков артемии. Согласно литературным данным, рачка артемию следует считать теплолюбивым животным, у которого термофильность особо четко проявляется в процессе воспроизводства [6]. Половозрелые особи выдерживают широкий диапазон колебания температуры, т.е. обладают некоторым свойством эвритермности, но для воспроизводства необходим строго определенный температурный диапазон в пределах 20-30°C.

По нашим многолетним наблюдениям (2002-2018 гг.) выявлена корреляционная связь между температурой воды гипергалинных озер и численностью артемии предвзрослой стадии развития ($r = 0,30$; $P = 0,05$), численностью половозрелых самок ($r = 0,30$; $P = 0,05$), а также между температурой воды и плодовитостью самок ($r = 0,38$; $P = 0,05$) [7; 8].

По многолетним наблюдениям, сумма активных температур воздуха $>10,0$ °C колебалась от 2483 (2000 г.) до 3110 (2003 г.) градусо-дней. Количество градусо-дней со среднесуточной температурой воздуха $>10,0$ °C в вегетационный сезон 2020 г. (июнь-октябрь) составила 3336,0; в 2021 г. – 3045,5; в 2022 г. – 2831,0 [9].

Количество осадков в вегетационный период изменялось от 3,0 (май, сентябрь) до 52,5 мм (июль). Самым засушливым в летний период отмечались май и сентябрь.

Температурный режим. Температура поверхностного слоя воды в оз. Кулундинское в весенний период (в мае) была достаточно высокой со значениями 18,2°C. В летне-осенние месяцы температура воды в 2021-2022 гг. колебалась от 21,2 (июль) до 3,4°C (октябрь).

Минерализация и химический состав воды. Оз. Кулундинское по величине минерализации относится к гипергалинным или ультрагалинным водоемам [8]. Озеро является рапным. Вода в озере чистая, прозрачная с голубоватым оттенком. В течение периода исследований 2021-2022 гг. прозрачность воды составляла 0,4 (май)-1,0 м (июль).

По многолетним наблюдениям (2002-2022 гг.) выявлена корреляционная связь между минерализацией воды гипергалинных водоемов и численностью половозрелых самок ($r=0,31$, $P=0,05$),

а также – между минерализацией воды и важным продукционным показателем – плодовитостью самок ($r=0,58$, $P=0,05$) [10].

Минерализация воды оз. Кулундинское, по многолетним наблюдениям, находилась в пределах 75,3 (апрель)-115,4 г/кг (август) (2000-2018 гг.). По составу ионов вода озера хлоридно-сульфатного типа. В рапе хлоридные ионы занимали доминирующее положение по отношению к сульфатным на 44,0%. Значение pH относится к слабощелочной области шкалы и колеблется от 7,8 до 8,8. Таким образом, в период исследования 2021-2022 гг. физико-химические условия в озере были напряженными для роста и размножения артемии [11; 12; 13]. По данным Sorgeloos et al. [14], к наиболее продуктивным по добыче (вылову) диапаузирующих яиц рачка артемии относятся водоемы с соленостью от 70 до 230 мг/дм³. При солености менее 100 мг/дм³ преобладает, в большинстве случаев, продукция рачков, при солености более 140 мг/дм³ – продукция диапаузирующих яиц. Из этого следует, что в оз. Кулундинское соленость рапы была в 2021-2022 гг. на границе депрессии для продукции цист, что ограничивало образование их массивных промысловых скоплений, но способствовало развитию биомассы жаброногого рачка и солоноватоводной фауны зоопланктона.

Уровенный режим. Водный баланс оз. Кулундинское продолжал находиться в фазе высокого уровня режима (трансгрессии) и не испытывал напряжений или снижений любых показателей приходной части (притоков рек Кулунды и Суетки), осадков, снеготаяния, грунтового питания, стока с местного водосбора.

Биотические факторы формирования сырьевой базы рачка артемии определяются, прежде всего, видовым составом фитопланктона, его продуктивностью в условиях оз. Кулундинское и доступностью его фитомассы.

Численность и биомасса фитопланктона на протяжении вегетационного периода динамично изменялась по месяцам, что определяется сукцессией доминирующих видов. По многолетним наблюдениям выявлена корреляционная зависимость численности фитопланктона и минерализации воды в оз. Кулундинское, которая описывается отрицательным линейным уравнением то есть чем выше минерализация озерной воды, тем меньше по количественному значению число видов микроводорослей: $y = -0,0208x + 2,0443$ ($R^2 = 0,1096$; $n = 77$; $r = -0,326$; $p = 0,01$). По многолетним наблюдениям (2000-2016 гг.) численность и биомасса фитопланктона коррелирует с численностью артемии ювенильной стадии развития ($r=0,30$ и $r=0,42$, соответственно $P=0,05$), а также биомасса фитопланктона коррелирует с численностью цист, находящихся в толще воды ($r=0,85$, $P=0,05$) [6; 7].

Зоопланктон оз. Кулундинское в исследуемые годы представлен 9 видами, из которых 6 коловраток (*Rotifera*), 1 гидробионт – из клadoцер (*Cladocera*) и 2 вида – из копепод (*Copepoda*). Все встреченные виды относятся либо к галобионтам

(*Artemia sp*; *Cletocamptus retrogressus* Schmankech, 1875; *Brachionus plicatilis* Müller, 1786), либо к видам с широкой экологической валентностью и встречаются как в пресных, так и в соленых водоемах: *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925; *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850; *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851); *K. quadrata* (Müller, 1786); *Hexarthra oxyuris* (Zernov, 1903), *Moina macroscopa* (Straus, 1820). С увеличением солености воды число видов будет снижаться, повышаться роль артемии в сообществе и уменьшаться доля в общей численности солоноватоводных видов зоопланктона [15; 16; 18]. В оз. Кулундинское стабилизация солености рапы в пределах 100,0 мг/дм³, вероятно, является барьером для развития всех видов солоноватоводной фауны. Опреснение воды в период трансгрессионной фазы водности (2021-2022 гг.) вызвало сукцессионные процессы видообразования гидробионтов солоноватоводной фауны и утрату жаброногого рачка артемии в качестве доминанта и моновида, как было отмечено в периоды с высокой соленостью в пределах 105,0-140,0 мг/дм³ [19]. В связи с этим хозяйственная деятельность пользователем рыбоводного участка оз. Кулундинское ослабела и приостановилась, в силу отсутствия в составе зоопланктона доминирующего вида – галобийнта артемии, следовательно, и отсутствие биосырья – артемии (на стадии цист) в виде промысловых скоплений.

В исследуемый период популяции жаброногого рачка артемии, принадлежащих к роду *Artemia* (Leach, 1819). были представлены всеми разновозрастными группами (науплиями, метанауплиями, предвзрослыми, взрослыми особями) и цистами с преобладанием самок, что характерно для сибирских популяций артемии, относящихся к группе неопределенных видов – *Artemia parthenogenetica* [20; 21; 22; 23]. Самцы отмечались в пробах в единичных экземплярах. По литературным данным [23], плодовитость самок артемии – один из важнейших показателей популяции, характеризующий оптимальность условия обитания, как популяции в целом, так и каждой генерации, в сложившихся условиях конкретного периода вегетации. Вариабельность плодовитости, обусловленная непостоянством окружающей среды в оз. Кулундинское, значительна. Решающим фактором при определении наиболее достоверной плодовитости овулятивных самок артемии является определение их на живом материале. Сравнивая среднюю плодовитость живых особей и фиксированных из одного и того же озера в одну дату отбора материала, нами были найдены достоверные отличия ($t_d=2,9$, $P=0,99$). Ошибка определения колебалась в пределах 37,8-91,0%, составляя в среднем 32,0%. Таким образом, при фиксации формалином, минимум треть эмбрионов из яйцевого мешка попадает в окружающую среду и «теряется» при определении плодовитости [24]. Средняя плодовитость исследованных популяций артемии из водоемов Алтайского края, по многолетним данным, составила $46,3 \pm 0,28$ экз./особь (2009-2022 гг.). Значительный коэффициент вариации (68,4%) не позволяет использовать

среднюю величину в качестве характеристики для всех популяций артемии, что подтверждает непостоянство данного показателя и необходимость определения, в период исследования, каждой генерации. Максимальные значения индивидуальной плодовитости и средний показатель для популяций Алтайского края выше, чем указанные ранее другими авторами для сибирских популяций [25]. Корреляция между соленостью воды и плодовитостью в оз. Кулундинское составляет $r=0,362$ ($P=0,01$). Качественное содержимое овиоцинов самок артемии зависит от температурного режима и количества градусо-дней [25; 26], а также солености воды [27; 28; 29].

Анализ количественного развития артемии в 2021-2022 гг. показал, что популяция рачка находилась в угнетенном состоянии из-за большого количества пищевых конкурентов. Как было отмечено ранее, в составе зоопланктона зарегистрировано 9 видов. Все они относятся к одному трофическому звену – потребителям (консументам), а не к продуцентам. Одним из показателей абиотических факторов среды обитания зоопланктона является показатель прозрачности воды по диску Секки, характеризующий состояние кормовой базы для консументов. Динамика значений в течение вегетационного сезона следующая: в июне диапазон колебаний составлял от 0,2 до 0,7 м; в июле – от 0,3 до 1,0; в августе – от 0,4 до 0,8; в сентябре – от 0,5 до 0,9 м. Так, с июня по сентябрь этот показатель увеличился почти в 3 раза. На этом фоне складывались достаточно напряженные пищевые, конкурентные взаимоотношения в трофической цепи сообщества. Учитывая то, что в конкуренции принимали участие не только взрослые особи артемии, но их молодь и личиночные стадии, выживаемость последних в таких условиях составляла всего лишь 30% [30; 31].

Началом развития первой генерации артемии в оз. Кулундинское, по многолетним данным, в вегетационном сезоне [32; 33; 34], можно считать вторую декаду мая. По результатам гидробиологической съемки в водоеме присутствовали науплии артемии (82,5% от общей численности рачков), особи ювенильной стадии развития с незначительной численностью (0,4%), а также артемия (на стадии цист), составляя 17,1%.

В июне 2022 г. из в популяции жаброногого рачка артемии преобладали особи ювенильных стадий со средней численностью $0,92 \pm 0,08$ тыс. экз./м³ и предвзрослых стадий с численностью $13,39 \pm 1,69$ тыс. экз./м³. Численность молоди – науплиальных стадий развития рачков составила $1,51 \pm 0,28$ тыс. экз./м³. Половозрелые самки составляли всего $0,14 \pm 0,01$ тыс. экз./м³. Цисты в толще воды находились в дисперсном состоянии со средней численностью от $23,06 \pm 1,83$ (июнь) до $131,41 \pm 13,72$ тыс. экз./м³ (сентябрь). Большинство самок содержали семенной материал в яичниках и яйцеводах, цисты составляли 48,0%. Плодовитость самок колебалась от 22 до 58 экз./особь.

Солоноватоводные гидробионты в июне представлены тремя основными группами: коловрат-

ками (*Rotifera*), ветвистоусыми (*Cladocera*), веслоногими (*Copepoda*) ракообразными, средняя численность которых составляла, соответственно, $27,08 \pm 9,96$; $4,86 \pm 1,49$ и $26,38 \pm 5,46$ тыс. экз./м³. В июне доля рачков артемии в составе зоопланктона в процентном отношении от общей численности зоопланктона и артемии (на стадии цист) составила всего лишь 16,46%; в 2021 г. – 12,6%. Несколько более высокое место занимали цисты – 23,7%; в 2021 г., на долю которых приходилось 16,9%. Доминирующее положение определено прочими видам из солоноватоводной фауны – 59,9% (2022 г.) и 67,5% (2021 г.).

В зоопланктоне июля по численным параметрам в структуре рачка артемии преобладали ювенильные ($15,71 \pm 3,56$) и науплиальные стадии его развития ($12,04 \pm 2,59$ тыс. экз./м³). Численность половозрелых особей составляла $6,09 \pm 1,13$ тыс. экз./м³. Самцы в этот период встречались единично. Численность половозрелых самок отмечалась очень низкой – до $1,01 \pm 0,01$ тыс. экз./м³. Плодовитость самок колебалась от 34 до 76 экз./особь. Цисты в толще воды находились в хаотичном, дисперсном состоянии, не образуя промысловых скоплений со средней численностью по озеру $49,62 \pm 4,12$ тыс. экз./м³. Из них 80% находились в состоянии гидратации. Биомасса рачков артемии в июле колебалась от $2,59 \pm 3,08$, с минимумом развития половозрелых самок рачка до $10,38 \pm 1,11$ г/м³, с максимумом развития предвзрослых особей.

Состав зоопланктона солоноватоводной фауны в июле, также как и в предыдущем месяце, занимал

доминирующее положение по численным характеристикам, и состоял из коловраток (*Rotifera*) – $31,81 \pm 1,54$; из ветвистоусых (*Cladocera*) – $26,47 \pm 5,49$; из веслоногих (*Copepoda*) ракообразных – $5,54 \pm 2,36$ тыс. экз./м³. Таким образом, на долю рачков артемии в биоте озера в июле приходилось 23,5%; в 2021 г. – 15,1%; цист артемии – 33,4%; в 2021 г. – 25,8%; прочих представителей солоноватоводной фауны – 43,1%; в 2021 г. – 59,1%. Так, в июле 2021-2022 гг. отмечалось преобладание численности гидробионтов солоноватоводной фауны.

В зоопланктоне августа в популяции рачка артемии по численным параметрам преобладали ювенильные стадии развития ($4,63 \pm 0,81$) и предвзрослые особи ($2,44 \pm 0,38$ тыс. экз./м³). Численность половозрелых рачков составляла $0,11 \pm 0,01$ тыс. экз./м³, которые частично содержали в яичниках и яйцеводах семенной материал (14% самок), у 6% самок рачка артемии в овисаках отмечены науплии и у 80% – цисты. Таким образом, в августе наблюдалось живорождение, помимо образования в овисаках самок рачка артемии цист. Плодовитость колебалась от 32 до 82 штук с количеством кладок – 4. Численность цист в планктоне увеличилась по сравнению с предыдущим месяцем до $70,21 \pm 6,79$ тыс. экз./м³.

Зоопланктон солоноватоводной фауны в августе, также, как и в предыдущих месяцах, занимал первостепенное значение по численности, в составе из коловраток (*Rotifera*) $1162,16 \pm 1015,08$; ветвистоусых (*Cladocera*) – $2,26 \pm 0,31$; веслоногих (*Copepoda*) ракообразных – $9,34 \pm 1,42$ тыс.



экз./м³. На долю рачков артемии в биоте озера в августе приходилось 0,6%; в 2021 г. – 0,4%; цист артемии – 5,6%; в 2021 г. – 3,1%, прочих представителей солоноватоводной фауны – 93,8%; в 2021 г. – 96,5%.

В зоопланктоне сентября в популяции рачка артемии по численным параметрам первостепенно выделялись предвзрослые особи (3,83±0,52) и взрослые (0,42±0,07 тыс. экз./м³). Численность науплий и ювенильных рачков отмечалась довольно низкая, составляя 0,28±0,01 и 0,16±0,01 тыс. экз./м³. Половозрелые самки содержали в овисаках гидратированные цисты (94,0%) и тонкоскорлуповые яйца (6,0%). Плодовитость самок артемии колебалась от 32 до 82 штук с количеством кладок в сентябре – 4.

Численность цист в планктоне увеличилась, по сравнению с предыдущим месяцем, с 70,21±6,79 до 131,41±13,72 тыс. экз./м³.

Зоопланктон солоноватоводной фауны сентября также как и в предыдущих месяцах занимал основное положение по численности и состоял из коловраток (*Rotifera*) – 114,90±11,26; ветвистоусых (*Cladocera*) – 0,08±0,05; веслоногих (*Copepoda*) ракообразных – 6,70±1,44 тыс. экз./м³. Таким образом, на долю рачков артемии в биоте озера в сентябре 2022 г. приходилось 1,7%; в 2021 г. – 0,3%; цист артемии – в 2022 г. – 51,0%; в 2021 г. – 35,7%; прочих представителей солоноватоводной фауны в 2022 г. – 47,3%; в 2021 г. – 64,1%.

В зоопланктоне октября в популяции рачка артемии по численным параметрам зарегистрированы половозрелые особи (0,07±0,04) и предвзрослые (0,01±0,002 тыс. экз./м³). Молодь в планктоне не отмечена. Рачки артемии находились в элиминированном состоянии. Численность цист в планктоне уменьшилась, по сравнению с предыдущим месяцем, с 131,41±13,72 до 79,62±21,48 тыс. экз./м³.

Зоопланктон солоноватоводной фауны в октябре по-прежнему занимал ведущее положение по численности. На долю коловраток (*Rotifera*) приходилось 433,65±40,01; веслоногих ракообразных (*Copepoda*) – 56,89±40,67 тыс. экз./м³; ветвистоусые (*Cladocera*) отсутствовали. Процент доли рачков артемии в биоте озера в октябре 2022 г. составлял 0,02; в 2021 г. – 0,01%. Цисты артемии в 2022 г. образовывали 14,0%; в 2021 г. – 7,7%; прочие представители солоноватоводной фауны в 2022 г. – 86,0%; в 2021 г. – 92,3%. Следовательно, за весь период исследования 2021-2022 гг., лидирующее положение по численности принадлежало представителям солоноватоводной фауны. Пик их развития приходится на летний (август) и осенний (октябрь) месяцы, составляя соответственно 1162,16±1015,08 (или 96,5%) и 433,65±40,01 тыс. экз./м³ (или 92,3%). Рачок артемии и все его стадии развития определенно имели второстепенное значение с максимальной численностью в июле, составляя 34,85±1,41 тыс. экз./м³ (или 15,1%) и снижаясь до минимума в октябре до 0,090±0,02 тыс. экз./м³ (или 0,01%). В целом численность рачков артемии

с июня по октябрь составляла 63,00±0,51 тыс. экз./м³, что свидетельствует о низком значении на уровне многолетних показателей – 228,12±41,18 тыс. экз./м³. Плодовитость артемии изменялась с тремя кладками от 22 (июнь) до 76 экз./особь (июль); с четырьмя кладками от 16 до 94 экз./особь (сентябрь). Динамика артемии (на стадии цист) составляла по численности в диапазоне от 23,06±1,83 (или 16,9%) в июне до 131,41±13,72 тыс. экз./м³ (или 35,7%) в сентябре. Многолетний мониторинг гипергалинных водоемов Западной Сибири [6; 35] показал, что наиболее продуктивны водоемы с соленостью от 70,0 до 230,0 мг/дм³. При солености воды в озере менее 100,0 мг/дм³ преобладает продукция рачков, при солености более 140,0 мг/дм³ преобладает продукция цист. Из этого следует, что в оз. Кулундинское соленость рапы, с динамикой от 1,9 (апрель) до 99,0 мг/дм³ (октябрь) была оптимальной только для продукции рачков артемии и прочих видов солоноватоводной фауны.

В целом, оз. Кулундинское относится к высокой экономической значимости по составу биосырья – артемии (на стадии цист). Среднегодовое количество добычи (вылова) биосырья за период 2000-2016 гг. в среднем составил 350±56,4 т, за исключением периодов лет с отсутствием ведения добычи (вылова). Вследствие сложившихся гидрологических условий, в 2017-2020 гг. наблюдалось повышение уровня воды в озере по сравнению с предыдущими годами, что привело к опреснению воды, выходящему за пределы оптимума для развития популяции рачка артемии. Добыча (вылов) артемии (на стадии цист) с этого периода не велась, в связи с опреснением воды в оз. Кулундинское.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Зоопланктон оз. Кулундинское представлен 9 видами, из которых 6 коловраток (*Rotifera*), 1 гидробионт из кладоцер (*Cladocera*) и 2 вида из копепод (*Copepoda*). Все встреченные виды относятся либо к галобионтам (*Artemia sp.*, *Cletocamptus retrogressus*, *Brachionus plicatilis* (O.F.Muller), либо к видам с широкой экологической валентностью и встречаются как в пресных, так и в соленых водоемах, в том числе и в оз. Кулундинское *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850); *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *K. quadrata* (O.F.Muller, 1786), *Hexarthra oxyuris* (Zernov, 1903), *Polyarthra dolichoptera* (Idelson, 1925); *Moina macroscopa* (Straus, 1820).

2. В оз. Кулундинское в вегетационный период 2021-2022 гг. соленость рапы была в пределах 1,9-99,0 г/л. Опреснение воды в период трансгрессивной фазы водности за последние четыре года (2017-2022 гг.) вызвало сукцессионные процессы видообразования. Произошла смена доминанта и моновида жаброногого рачка артемии на комплекс солоноватоводной фауны.

3. Численность рачков артемии с июня по октябрь 2021 г. составляла 39,53±9,86 тыс. экз./м³, что свидетельствует о низком значении по сравнению с данными многолетних показателей – 228,12±41,18 тыс. экз./м³. Плодовитость

артемии изменялась с тремя кладками от 18 (июнь) до 68 экз./особь (июль); с четырьмя кладками – от 12 до 92 (сентябрь). Численность рачков артемии с июня по октябрь 2022 г. составила $63,00 \pm 0,51$ тыс. экз./м³, биомасса – $55,77 \pm 0,53$ г/м³. Из этого следует, что в озере Кулундинское за период исследования произошли изменения гидрофизического и гидрохимического режимов, что отразилось на динамике численности солоноватоводной фауны и разновозрастной структуре популяции рачка артемии.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: Л.В. Веснина – идея работы, сбор и анализ данных, подготовка статьи, подготовка обзора литературы, окончательная проверка статьи; Ю.А. Веснин – сбор и анализ данных, подготовка статьи, оформление текста; Н.С. Романова – подготовка обзора литературы, оформление текста; И.В. Моружи – окончательная проверка статьи.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: L.V. Vesnina – the idea of the work, data collection and analysis, preparation of the article, preparation of the literature review, final verification of the article; Yu.A. Vesnin – data collection and analysis, preparation of the article, text design; N.S. Romanova – preparation of the literature review, text design; I.V. Moruzi – final verification of the article.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ / REFERENCES AND SOURCES

- Gozlan, R. E. Status, trends, and future dynamics of freshwater ecosystems in Europe and Central Asia / R. E. Gozlan, B. K. Karimov, E. Zadereev, D. Kuznetsova, S. Brucet // *Inland Waters*. – 2019. – No 9 (1). – Pp. 78 - 94. DOI: org/10.1080/20442041.2018.1510271.
- Zadereev, E. Overview of past, current and future ecosystem and biodiversity trends of inland saline lakes of Europe and Central Asia / E. Zadereev, O. Lipka, B. Karimov, M. Krylenko, V. Elias, I. S. Pinto, V. Alizade, Y. Anker, A. Feest, D. Kuznetsova, A. Mader, R. Salimov, M. Fischer // *Inland Waters*. – 2020. – No 10 (4). – Pp. 438 – 452. DOI: org/10.1080/20442041.2020.1772034.
- Киселев, И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Вводные и общие вопросы планктологии. – М.: Наука, 1969. – Т. 1. – 440 с.
- Kiselev, I.A. Plankton of seas and continental reservoirs. Introductory and general questions of planktology. – М.: Наука, 1969. – Vol. 1. – 440 p.
- Литвиненко, Л.И. Методические рекомендации по оценке и прогнозированию рекомендованного объема добычи (вылова) артемии / Л.И. Литвиненко, В.А. Бизиков, Н.П. Ковачева, Е.М. Саенко, Л.В. и другие. – М.: ВНИРО, 2019. – 49 с.
- Litvinenko, L.I. Methodological recommendations for assessing and predicting the recommended volume of production (catch) of artemia / L.I. Litvinenko, V.A. Bizikov, N.P. Kovacheva, E.M. Saenko, L.V. et al. – VNIRO, 2019. – 49 p.
- Песенко, Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 270 с.
- Pesenko, Yu.A. Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies. – М.: Science. – 1982. – 270 p.
- Веснина, Л.В. Продуктивность цист рачка *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных оз.х Алтайского края: монография / Л.В. Веснина, Р.А. Клепиков, Е.В. Пищенко и другие. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой Колос», 2021. – 147 с.
- Vesnina, L.V. Productivity of crustacean cysts *Artemia* Leach, 1819 in hyperhaline lakes of the Altai Territory: monograph / L.V. Vesnina, R.A. Klepikov, E.V. Pishchenko et al. - Novosibirsk: IC NGAU "Golden Ear", 2021. – 147 p.
- Веснина, Л.В. Фитопланктон соленых озер степной зоны / Л.В. Веснина, Е.Ю. Митрофанова // Пойменные и дельтовые биосеносы Голарктики: биологическое многообразие, экология и эволюция. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», Астрахань, 13-18 мая 2019 г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2019. – С. 42-47.
- Vesnina, L.V. Phytoplankton of salt lakes of the steppe zone / L.V. Vesnina, E.Yu. Mitrofanova // Floodplain and delta biocenoses of the Holarctic: biological diversity, ecology and evolution. Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference. Astrakhan State University, Astrakhan, May 13-18, 2019 – Astrakhan: Publisher: Roman V. Sorokin, 2019. – Pp. 42-47.
- Веснина, Л.В. Условия формирования популяции артемии и их продукционные показатели в разнотипных гипергалинных озерах Алтайского края // Инновации и продовольственная безопасность. – 2020. – № 4 (30). – С. 87-100. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-30-4-87-100.
- Vesnina, L.V. Conditions for the formation of the artemia population and their production indicators in different types of hyperhaline lakes of the Altai Territory // Innovation and food security. – 2020. – No 4 (30). – Pp. 87-100. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-30-4-87-100.
- Vesnina, L.V. Seasonal and Interannual Dynamics of Zooplankton from Lake Kulundinskoye in 2017–2020 / L.V. Vesnina, D.M. Bezmaternykh, I.V. Moruzi, E.V. Pishchenko // XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022"/ Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023 – V. 575. – Pp. 189-198. DOI: org/10.1007/978-3-031-21219-2_19.
- Vesnina, L.V. Seasonal and interannual dynamics of Artemia crustacean population from hypersaline Lake Kuchukskoye (Western Siberia) / L.V. Vesnina, D.M. Bezmaternykh, Y. Vesnin, I.V. Moruzi et al. // E3S Web of Conferences. – 2022. – 363 (7). DOI: org/10.1051/e3sconf/202236303049.
- Веснина, Л.В. Современное состояние зоопланктона оз. Кулундинское Алтайского края в период фазы трансгрессии / Л.В. Веснина, Ю.А. Веснин // Инновации и продовольственная безопасность. – 2022. – № 3 (37). – С. 20-35. DOI: org/10.31677/2311-0651-2022-37-3-20-35.
- Vesnina, L.V. The current state of zooplankton of Lake Kulundinskoye of the Altai Territory during the transgression phase / L.V. Vesnina, Yu.A. Vesnin // Innovations and food security. – 2022. – No 3 (37). – Pp. 20-35. DOI: org/10.31677/2311-0651-2022-37-3-20-3512. Vesnina L.V. The state of the halophilic artemia crustacean population as the basis for the formation of the raw material base of the hyperhaline lakes of Altai // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. – 2020. – No. 4. – Pp. 88-96.
- Веснина, Л.В. Состояние популяции галофильного рачка артемии как основа формирования сырьевой базы гипергалинных озер Алтая // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020. – № 4. – С. 88-96.
- Vesnina, L.V. The state of the halophilic artemia crustacean population as the basis for the formation of the raw material base of the hyperhaline lakes of Altai // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. – 2020. – No. 4. – Pp. 88-96.
- Лукерина, Г.В. Гидробиологические исследования малых гипергалинных озер Алтайского края в период изменения их гидрологического режима / Г.В. Лукерина, Я.С. Пяткова, Ю.Н. Косачева // Сборник тезисов докладов участников пула научно-практических конференций. Керчь, 2021. – С. 395-397.
- Lukerina, G.V. Hydrobiological studies of small hyperhaline lakes of the Altai Territory during the change of their hydrological regime / G.V. Lukerina, Ya.S. Pyatkova, Yu.N. Kosacheva // Collection of abstracts of reports of participants of the pool of scientific and practical conferences. Kerch, 2021. – Pp. 395-397.
- Sorgeloos, P. Potential of the mass production of brine shrimp *Artemia* // Journal Society Underwater Technology. – 1983. – No 9 (1). – Pp. 27-30.
- Shadrin, N. Suppression of *Artemia* spp. (Crustacea, Anostraca) populations by predators in the Crimean hypersaline lakes: A

- review of the evidence / N. Shadrin, V. Yakovenko, E. Anufrieva. // International Review of Hydrobiology. – 2019. – No 104 (1-2). – Pp. 5-13. DOI: 10.1002/iroh.201801966.
16. Афонина, Е.Ю. Влияние факторов среды на структуру планктонных сообществ минеральных озер в разные фазы водности / Е.Ю. Афонина, Н.А. Ташлыкova // Вестник Московского университета, Сер. 16. Биология. – 2019. – № 74 (1). – С. 3-9. DOI: 10.3103/S0096392519010012.
16. Afonina, E.Yu. The influence of environmental factors on the structure of plankton communities of mineral lakes in different phases of water content / E.Yu. Afonina, N.A. Tashlykova // Bulletin of the Moscow University, Ser. 16. Biology. – 2019. – No 74 (1). – Pp. 3-9. DOI: 10.3103/S0096392519010012.
17. Кирова, Н.А. К вопросу о гидрохимии и биологии оз. Дус-Холь (Тува) / Н.А. Кирова, О.И. Кальная, О.Д. Аюнова // Bulletin AB RGS [Izvestiya AO RGO]. – 2018. – № 4 (51). – С. 82-88. DOI:10.24411/2410-1192-2018-10007.
17. Kirova, N.A. On the issue of hydrochemistry and biology of Lake Dushkol (Tuva) / N.A. Kirova, O.I. Kalnaya, O.D. Ayunova // Bulletin AB RGS [Izvestiya AO RGO]. – 2018. – No 4 (51). – Pp. 82-88. DOI:10.24411/2410-1192-2018-10007.
18. Афонина, Е.Ю. Планктон минеральных озер Юго-Восточного Забайкалья: трансформация и факторы среды / Е.Ю. Афонина, Н.А.Ташлыкova // Сибирский экологический журнал. – 2019. – № 2. – С. 192-209. DOI: 10.15372/SEJ20190204.
18. Afonina, E.Yu. Plankton of mineral lakes of Southeastern Transbaikalia: transformation and environmental factors / E.Yu. Afonina, N.A.Tashlykova // Siberian Ecological Journal. – 2019. – No. 2. – Pp. 192-209. DOI: 10.15372/SEJ20190204.
19. Веснина, Л.В. Влияние факторов среды на динамику численности и биомассу *Artemia sp.* в озере Кулундинском // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 6. – С. 637-646.
19. Vesnina, L.V. Influence of environmental factors on the dynamics of abundance and biomass of *Artemia sp.* in Kulundinsky Lake // Siberian Ecological Journal. – 2002. – No. 6. – Pp. 637-646.
20. Gutierrez, M. F. Salinity shapes zooplankton communities and functional diversity and has complex effects on size structure in lakes / M. F. Gutierrez, Ü. N. Tavşanoğlu, N. Vidal, J. Yu. F. Teixeira-de Mello, A. I. Çakiroğlu, H. He, Z. Liu, E. Jeppesen // Hydrobiologia. – 2018. – No 813 (1). – Pp. 237-255. DOI: 10.1007/s10750-018-3529-8.
21. Веснина, Л.В. Результаты многолетнего экологического мониторинга гипергалинного оз. Большое Яровое, г. Славгород Алтайского края / Л.В. Веснина, Г.В. Лукерина, Т.О. Ронжина // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 19-27.
21. Vesnina, L.V. Results of long-term ecological monitoring of the hypergaline lake Bolshoe Yarovoje, Slavgorod, Altai Krai / L.V. Vesnina, G.V. Lukerina, T.O. Ronzhina // Fisheries. – 2019. – No. 4. – Pp. 19-27.
22. Веснина, Л.В. Экосистема оз. Кулундинское в период опреснения // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 1 (50). – С. 68-77. DOI:org/10.31677/2072-6724-2019-50-1-68-77.
22. Vesnina L.V. Ecosystem of Lake Kulundinskoe during desalination // Bulletin of NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). – 2019. – No 1 (50). – Pp. 68-77. DOI:org/10.31677/2072-6724-2019-50-1-68-77.
23. Веснина, Л.В. Численные и продукционные изменения популяции рачка *artemia leach*, 1819 в гипергалинном озере Кучукское Алтайского края в условиях трансгрессивной фазы водности / Л.В., Веснина, Г.В. Лукерина, Т.О. Ронжина // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2019. – № 49. – С. 36-42. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-36-42.
23. Vesnina, L.V. Numerical and productive changes in the population of the artemia leach crustacean, 1819 in the hypergaline lake Kuchuk of the Altai Territory under the conditions of the transgressive phase of water content / L.V., Vesnina, G.V. Lukerina, T.O. Ronzhina // Bulletin of the Kamchatka State Technical University. – 2019. – No. 49. – Pp. 36-42. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-36-42.
24. Веснина, Л.В. Особенности генеративной активности популяций артемии в гипергалинных оз.х Алтайского края / Л.В.Веснина, Г.В. Лукерина // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2020. – № 6. – С. 32-39. DOI: 10.33920/sel-09-2006-04.
24. Vesnina, L.V. Features of generative activity of artemia populations in hypergaline lakes of the Altai Territory / L.V.Vesnina, G.V. Lukerina // Fish farming and fisheries. – 2020. – No. 6. – Pp. 32-39. DOI: 10.33920/sel-09-2006-04.
25. Литвиненко, Л.И. Влияние промысла цист артемии на лечебные грязи гипергалинных озер / Л.И. Литвиненко, А.И. Литвиненко, Е.Г. Бойко, К.В. Куцанов // XII Съезд Гидробиологического общества при РАН: тезисы докладов, 2019. – Петрозаводск, КарНЦ РАН. – 2019. – С. 306-307.
25. Litvinenko, L.I. The influence of artemia cysts fishing on therapeutic mud of hypergaline lakes / L.I. Litvinenko, A.I. Litvinenko, E.G. Boyko, K.V. Kutsanov // XII Congress of the Hydrobiological Society at the Russian Academy of Sciences: abstracts, 2019. – Petrozavodsk, KarSC RAS. – 2019. – Pp. 306-307.
26. Веснина, Л.В. Особенности биоты оз. Кучукское Алтайского края и факторы формирования запасов артемии (на стадии цист) // Рыбное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 71–79.
26. Vesnina, L.V. Features of the biota of Lake Kuchuk of the Altai Territory and factors of the formation of artemia stocks (at the stage of cysts) // Fisheries. – 2018. – No. 4. – Pp. 71-79.
27. Ковачева, Н.П. Современное состояние и перспективы развития аквакультуры артемии в России / Н.П. Ковачева, Л.И. Литвиненко, Е.М. Саенко, А.В. Жигин, Н.В. Кряхова, А.М. Семик. // Труды ВНИРО. – 2019. – № 178. – С. 150-171. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-150-171.
27. Kovacheva, N.P. The current state and prospects of the development of artemia aquaculture in Russia / N.P. Kovaleva, L.I. Litvinenko, E.M. Saenko, A.V. Zhigin, N.V. Kryakhova, A.M. Semik. // Proceedings of VNIRO. – 2019. – No. 178. – Pp. 150-171. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-150-171.
28. Golubkov, S. M. Food chains and their dynamics in ecosystems of shallow lakes with different water salinities / S. M. Golubkov, N. V. Shadrin, M. S. Golubkov, E.V. Balushkina, L. F. Litvinchuk // Russian Journal of Ecology. – 2018. – No 49 (5). – Pp. 442-448. DOI: 10.1134/S1067413618050053.
29. Shadrin, N.V. Structure and trophic relations in hypersaline environments / N. V. Shadrin, E.V. Anufrieva // Biology Bulletin Reviews. – 2020. – No 10. – Pp. 48-56. DOI: 10.1134/S2079086420010065.
30. Afonina, E.Y. Plankton of Saline Lakes: Transformation and Environmental Factors / E.Y. Afonina, N.A. Tashlykova // Contemporary Problems of Ecology. – 2019. – No 12. – Pp. 155-170. DOI:10.1134/C1995425519020021.
31. Afonina, E. Yu. Fluctuations in plankton community structure of endorheic soda lakes of southeastern Transbaikalia (Russia) / E. Yu. Afonina, N. A. Tashlykova // Hydrobiologia. – 2020. – No 847 (6). – Pp. 1383-1398. DOI: 10.1007/s10750-020-04207-z.
32. Веснина, Л.В. Пространственное распределение разновозрастных стадий жаброногого рачка артемия и агрегированность цист в гипергалинных озерах юга Западной Сибири // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2020. – № 3 (170). – С. 23-31.
32. Vesnina, L.V. Spatial distribution of different age stages of the artemia gill-legged crustacean and aggregation of cysts in hypergaline lakes of the south of Western Siberia // Fish farming and fisheries. – 2020. – No 3 (170). – Pp. 23-31.
33. Веснина, Л.В. Результаты многолетнего экологического мониторинга гипергалинного оз. Большое Яровое, г. Славгород Алтайского края / Л.В. Веснина, Г.В. Лукерина, Т.О. Ронжина // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 19-27.
33. Vesnina, L.V. Results of long-term ecological monitoring of the hypergaline lake Bolshoe Yarovoje, Slavgorod, Altai Krai / L.V. Vesnina, G.V. Lukerina, T.O. Ronzhina // Fisheries. – 2019. – No. 4. – Pp. 19-27.
34. Vesnina, L.V. Main natural factors determining seasonal and long-term dynamics of zooplankton from Lake Kulundinskoye (Altai Krai) / L.V. Vesnina, D.M. Bezmaternykh // Ukrainian Journal of Ecology. – 2021. – No 11 (7). – Pp. 169-173. DOI:org/10.15421/2021_254.
35. Веснина, Л.В. Биоресурсный потенциал цист артемии озер Алтайского края и факторы его формирования // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2019. – № 3 (158). – С. 18-30.
35. Vesnina, L.V. Bioresource potential of artemia cysts of the Altai Territory lakes and factors of its formation // Fish farming and fisheries. – 2019. – No 3 (158). – Pp. 18-30.