

ЗООПЛАНКТОН, ЗООБЕНТОС, ЗООПЕРИФИТОН

УДК 574.52

СРЕДА ОБИТАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПЛАНКТОННЫХ  
СООБЩЕСТВ УНИКАЛЬНЫХ “КРУГЛЫХ” ОЗЕР БАССЕЙНА р. НАДЫМ  
(ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

© 2024 г. А. В. Соромотин<sup>a,\*</sup>, О. А. Алешина<sup>a</sup>, М. А. Шумилов<sup>a</sup>,  
Н. В. Приходько<sup>a</sup>, С. А. Николаенко<sup>b</sup>, М. А. Куликова<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>b</sup>Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

\*e-mail: asoromotin@mail.ru

Поступила в редакцию 24.11.2023 г.

После доработки 16.02.2024 г.

Принята к публикации 18.03.2024 г.

Представлены сведения по морфометрии, гидрохимии, макрофитам и зоопланктоне трех уникальных “круглых” озер бассейна р. Надым (Западная Сибирь, Ямало-Ненецкий АО). Значительные глубины озер, слабая изрезанность береговой линии, нулевая цветность вод и преобладание в ионном составе сульфатов нетипичны для северотаежных озер Западной Сибири. Для прибрежно-водной растительности характерен крайне низкая видовая насыщенность с доминированием *Sparganium angustifolium*, индикатора высокопрозрачных ультрапресных олиготрофных вод. Основу зоопланктона “круглых” озер составляют один-два таксона с высоким индексом доминирования. По уровню развития общей биомассы зоопланктона озера относятся к ультра- и олиготрофному типам.

**Ключевые слова:** “круглые” озера, зоопланктон, макрофиты, гидрохимия, Западная Сибирь

**DOI:** 10.31857/S0320965224060078, **EDN:** WYFYTL

ВВЕДЕНИЕ

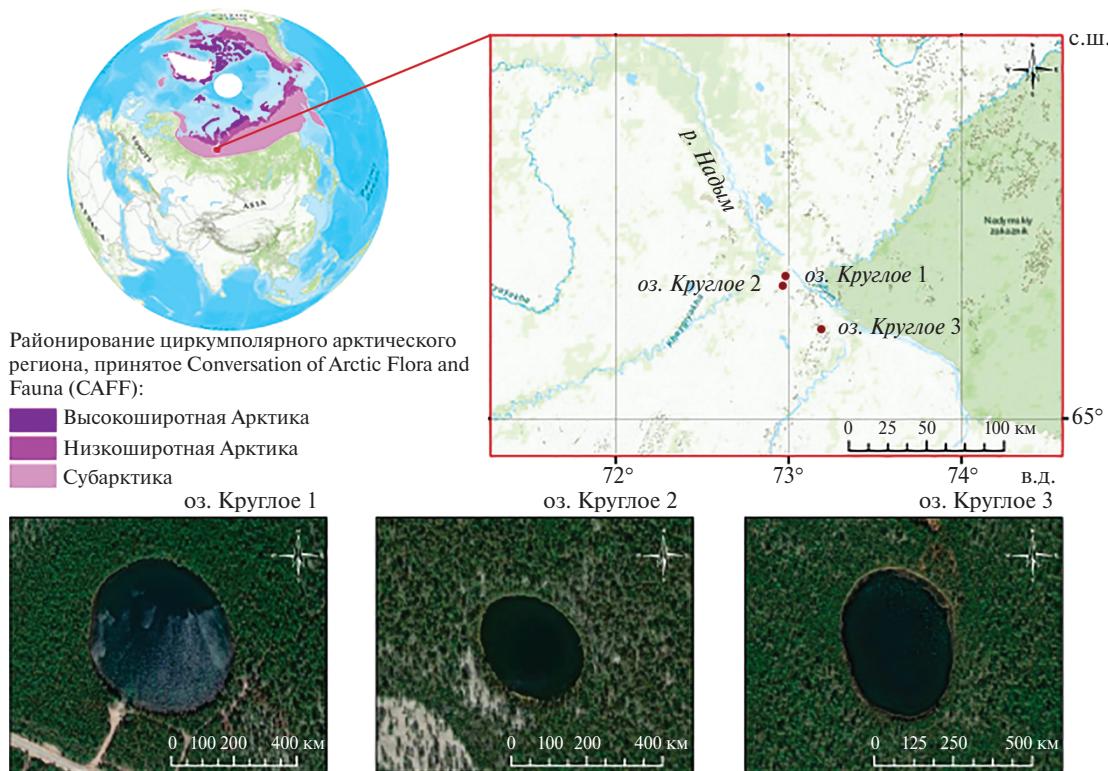
Характерная особенность арктического ландшафта – большое разнообразие и обилие озер, образовавшихся в результате повторяющихся ледниковых циклов в приполярных регионах (Schartau et al., 2022). Наиболее высокие коэффициенты озерности Арктической зоны Российской Федерации отмечены в Республике Карелия, Мурманской обл. и Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) (Измайлова, 2016). На территории ЯНАО находится ~300 тыс. озер различного генезиса (Агбалян и др., 2019). Разнообразие озер в Арктике удивительно велико, а диапазоны озерных типов, химического состава воды и физических характеристик превосходят аналогичные показатели в других регионах мира (Kling, 2009).

Для характеристики озерных экосистем широко используют представителей зоопланктона, поскольку они многочисленны, разнообразны, легко учитываются и являются ключевым компонентом водных пищевых сетей (Иванова, 1985; Гиляров, 1987; Столбунова, 2006; Телеш, 2006;

**Сокращения:** ЯНАО – Ямало-Ненецкий автономный округ.

Ривье, 2012). Благодаря структурно-функциональной организации и относительному постоянству видового состава, сообщества планкtonных организмов можно использовать в качестве индикаторов специфических абиотических условий водоемов (Андроникова, 1996; Речкалов, 2000; Swadling et al., 2000; Бакаева, Никаноров, 2006) типа и морфометрических характеристик водных объектов (Богданов и др., 2012; Sobko et al., 2023).

Гидробиологические сведения о водоемах севера Западной Сибири крайне ограничены и по степени изученности уступают таковым на европейской части севера России. Наиболее полные данные о планкtonных сообществах водоемов п-ова Ямал до 1995 г. собраны и обобщены в монографиях (Природа..., 1995; Богданов и др., 1997, 2000). Результаты дальнейших исследований зоопланкtonных сообществ различных водоемов и водотоков региона представлены в работах (Шарапова, Абдуллина, 2004; Богданова, 2006, 2009; Богданов и др., 2012, 2015). Наиболее значимыми факторами, регулирующими характеристики зоопланктона на Ямале, являются тип водного объекта, температурный режим, характер



**Рис. 1.** Обзорная схема расположения района исследования в нижнем течении р. Надым.

перемерзания водоемов и выедание хищниками (Богданов и др., 2012).

На территории Надымского р-на ЯНАО нами ранее были выделены три “голубых” или “круглых” озера, значительно отличающиеся по морфометрическим и гидрохимическим показателям от преобладающих в регионе термокарстовых озер. Эти озера имеют ряд общих особенностей: сходные морфологические и батиметрические характеристики, одинаковые величины физико-химических параметров и могут быть охарактеризованы как специфические аномальные гидрографические объекты данного региона (Соромотин и др., 2017).

Цель работы – продолжить изучение особенностей круглых озер в бассейне р. Надым и восполнить пробел в знаниях о разнообразии водоемов Арктики, рассмотрев круг вопросов морфометрии, геохимии и биологии этих уникальных озер.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований находится в центральной части ЯНАО в ~100 км к югу от Полярного круга. В соответствии с районированием циркумполярного арктического региона, принятого Арктическим советом при реализации проекта “Сохранение флоры и фауны Арктики” (CAFF..., 2013),

исследованные озера расположены в субарктической зоне (рис. 1).

Объектами исследования послужили три озера, расположенные в Надым-Пуровском междуречье на аллювиальных отложениях второй надпойменной террасы р. Надым. Из-за отсутствия официальных топонимов этих озер и округлой формой зеркала далее они будут обозначены как Круглое 1 ( $65.341135^{\circ}$  с.ш.,  $72.984690^{\circ}$  в.д.), Круглое 2 ( $65.321325^{\circ}$  с.ш.,  $72.971914^{\circ}$  в.д.) и Круглое 3 ( $65.214364^{\circ}$  с.ш.,  $73.186463^{\circ}$  в.д.) (табл. 1). Котловины озер врезаны в рыхлые отложения плейстоцена и голоцен и имеют молодой геологический возраст.

Для гидрохимического анализа озерных вод с помощью батометра в июле 2019 г. отобраны пробы озерных вод с глубины 0.3–0.5 м от поверхности.<sup>1</sup>

Физико-химические параметры озерных вод определяли непосредственно перед отбором проб зоопланктона трехкратно в каждом водоеме на глубине 0.5 м по центру озера с лодки: pH и удельную электропроводность (УЭП) определяли приборами фирмы HM Digital: PH-200, COM-100, цветность – колориметром HI 727 HANNA в градусах, прозрачность – с использованием диска Секки. Химический состав озерных

<sup>1</sup> ГОСТ 31861-2012 Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. Дата введения 1 января 2014 г.

**Таблица 1.** Морфометрические характеристики “круглых” озер Надымского района (по: Соромотин и др., 2017, с дополнениями)

Показатель	Круглое 1	Круглое 2	Круглое 3
S акватории, га	3.16	0.95	2.57
Длина, м	217	127	210
Ширина, м	190	101	153
Коэффициент изрезанности береговой линии <sup>a</sup>	0.35	0.38	0.37
Глубина, м	7.7	8.3	12.0
Коэффициент удлиненности <sup>b</sup> (озеро округлое)	1.47	1.86	1.75
Форма озерной котловины (конус) <sup>c</sup>	0.12	0.11	0.07
S литорали от S акватории, %	15.2	22.2	29.5

Примечание. <sup>a</sup> – (по: Чеботарев, 1953); <sup>b</sup> – (по: Григорьев, 1959); <sup>c</sup> – (по: Богословский, 1960).

вод определяли в центре коллективного пользования “Рациональное природопользование и физико-химические исследования” Института химии Тюменского государственного университета (г. Тюмень) по стандартным методикам: содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  методом капиллярного электрофореза (“Капель-205”, Люмэкс, Россия); содержание  $\text{HCO}_3^-$  методом потенциометрического титрования. Содержание тяжелых металлов определяли в Институте проблем технологий микроэлектроники и особочистых материалов РАН (г. Черноголовка) методами масс-спектрометрии (X Series 2, Thermo Scientific, США) и атомной эмиссии (iCAP-6500 DUO, Thermo Scientific, США) с индуктивно связанный плазмой. Минерализацию определяли как сумму массовых концентраций основных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) и анионов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ).

Описание водной и прибрежно-водной растительности проводили в августе 2018 г., используя общепринятые методики (Катанская, 1981; Папченков, 2001).

Пробы зоопланктона отбирали на трех станциях, которые охватывали прибрежную и открытую часть каждого водоема. Использовали планктонную сеть Джеди с диаметром входного отверстия 14 см и размером ячей 67 мкм. В литорали проходили 100 л воды через сеть, в пелагии тотально облавливали слой воды с четырехметровой глубины до поверхности, исходя из среднего значения прозрачности вод. В каждой точке пробы отбирали в двух повторностях. Сбор и камеральную обработку материала проводили по общепринятым методикам (Руководство..., 1983).

Обнаруженные виды идентифицировали по (Определитель..., 1994; 1995, 2010; Коровчинский, 2004; Коровчинский и др., 2021). Количество организмов по видам просчитывали в камере Богорова в трехкратной повторности. Биомассу организмов определяли по их длине, используя

зависимость между длиной и массой тела (Балушкина, 1979а; Кононова, Фефилова, 2018).

Для характеристики планктонных сообществ учитывали: состав и структуру зоопланктона, частоту встречаемости видов (Р, %), индекс фаунистического сходства Чекановского–Съеренсена ( $K_{\text{ч-с}}$ ) (Песенко, 1982). Для выявления структурообразующих комплексов и доминантов в сообществе применяли функцию рангового распределения видов по относительной численности ( $n_i/N$ ) и биомассе ( $b_i/B$ ), выраженную в процентах (Андроникова, 1996; Деревенская, 2015). В структурообразующий комплекс зоопланктона включали виды с относительной численностью и биомассой  $\geq 10\%$ ; виды, на которые приходилось  $\geq 25\%$ , относили к доминантам. Для отображения структуры сообщества рассчитывали индекс видового разнообразия Шеннона по численности ( $H_N$ ), индекс Пиелу (E) и индекс доминирования Бергера–Паркера ( $I_{b/p}$ ) (Shannon, Weaver, 1949; Berger, Parker, 1970).

Качество озерных вод определяли на основе расчета индекса сапробности по методу Пантле и Букк в модификации Сладечека (Унифицированные..., 1977), используя шестибалльную шкалу оценки качества вод с градацией от “очень чистые” (I класс) до “очень грязные” (VI класс) в зависимости от величины значений индекса (Руководство..., 1983).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Морфометрия и гидрохимия озер.** Изученные нами “круглые” озера по размеру зеркала относятся к категории “очень малые” (Иванов, 1948). Для акватории озер в соответствии с величиной показателя удлиненности характерна почти правильная округлая форма с очень слабоизрезанными берегами – коэффициент изрезанности береговой линии 0.35–0.38 (табл. 1). Озерные

**Таблица 2.** Основные физико-химические показатели состава вод “круглых” озер Надымского района

Показатель	оз. Круглое 1	оз. Круглое 2	оз. Круглое 3
pH	5.9	5.2	5.4
УЭП, мкСм/см	213.0	55.0	64.7
Цветность, град.	0.0	0.0	0.0
Прозрачность, м	4.5	3.3	4.4
ПО, мг О <sub>2</sub> /л	2.3 ± 0.2	3.1 ± 0.3	4.3 ± 0.4
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	0.1	0.1	0.1
Минерализация, мг/л	226.2	94.2	198.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	7.7	1.4	5.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	25.4	14.2	14.4
Cl <sup>-</sup> , мг/л	3.8	4.4	4.4
K <sup>+</sup> , мг/л	10.5	3.2	11.5
Na <sup>+</sup> , мг/л	37.8	19.3	29.0
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	28.2	12.1	34.2
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	112.8	39.6	99.0
Fe, мкг/л	<9	14.6	<9
Al, мкг/л	24.5	59.5	14.2
Co, мкг/л	<0.1	<0.1	<0.1
Cd, мкг/л	<0.005	0.0107	<0.005
Cu, мкг/л	0.74	<0.3	<0.3
Mn, мкг/л	13.3	17.2	12.0
Cr, мкг/л	<0.7	<0.7	<0.7
Ni, мкг/л	<0.2	<0.2	<0.2

Примечание. УЭП – удельная электропроводность; ПО – перманганатная окисляемость; “<” – содержание ниже порога обнаружения.

котловины имеют форму конуса с максимальной глубиной 12 м в оз. Круглое 3.

Химический состав вод “круглых” озер представлен в табл. 2. Воды исследованных озер имеют слабокислую реакцию среды (pH = 5.2–5.9), ультрапресные с минерализацией от 94.2 мг/л (оз. Круглое 2) до 226.2 мг/л (оз. Круглое 1). Величина перманганатной окисляемости невысокая относительно других озер района исследований и позволяет косвенно судить о меньшем количестве легко окисляемых органических соединений в них (Кремлева и др., 2018; Соромотин и др., 2022). Воды “круглых” озер бесцветные, что обусловлено низким содержанием соединений железа, гуминовых и фульвокислот. О низкой биогенной нагрузке также свидетельствует невысокое содержание минерального фосфора в водах озер. В анионном составе всех исследованных озер отмечено преобладание SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (58–69%-экв.), в катионном – Ca<sup>2+</sup> (51–57%-экв.). По ионному составу воды относятся к классу сульфатных кальциево-группы (Алекин, 1953). Выявлены превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения по марганцу (1.2–1.7 ПДК)

во всех исследованных озерах и алюминию (1.5 ПДК) в оз. Круглое 2.<sup>2</sup>

**Характеристика водной и прибрежной растительности.** Сообщества прибрежной и водной растительности “круглых” озер отличаются крайне низкой видовой насыщенностью. Флористический состав насчитывает лишь восемь видов сосудистых растений. Прибрежная флора представлена видами водно-болотного флористического комплекса, с абсолютным доминированием осок (*Carex rostrata* Stokes, *C. canescens* L., *C. limosa* L., *Caricetum lasiocarpa* Ehrh.). Среди мхов преобладает *Sphagnum riparium* Ångstr. Наличие вдоль береговой линии торфяного сфагново-кустарничкового вала обуславливает присутствие в береговой зоне видов *Betula nana* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench и *Ledum palustre* (L). Водное ядро флоры во всех озерах представлено только одним видом – ежеголовником узколистным (*Sparganium angustifolium* Michx.) водной жизненной формы. Будучи индикатором ультрапресных

<sup>2</sup> Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 (ред. от 22.08.2023 г.) “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”.

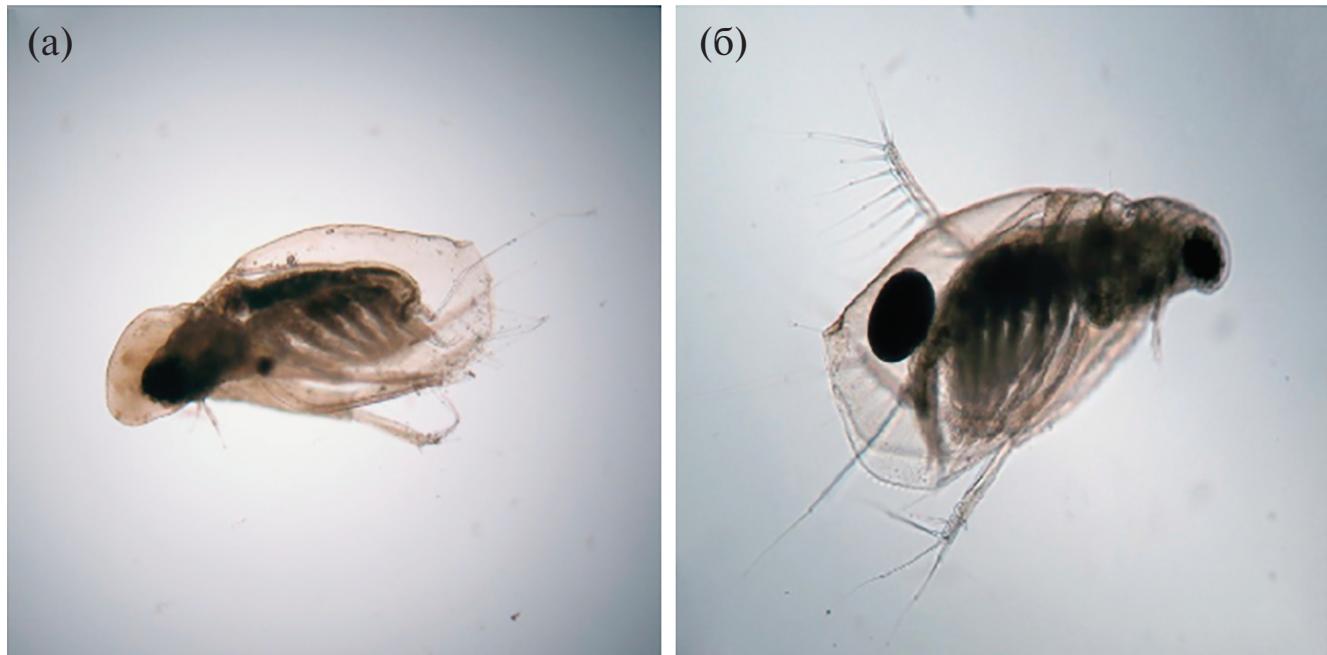


Рис. 2. *Diaphanosoma brachyurum*: а – морфотип, б – типичная форма.



Рис. 3. Пятая пара ног у представителя циклопов рода *Acanthocyclops*. Стрелками указаны прилатки дистального членика  $P_5$ .

олиготрофных вод, растение очень требовательно к прозрачности воды. При снижении прозрачности воды вследствие эвтрофикации водоема ежеголовник узколистный конкурентно вытесняется другими видами погруженных и прибрежноводных растений. При довольно высокомективном покрытии вида в сообществе (40–90%) плодоносящие особи встречались единично. В фитоценозах ежеголовника, произрастающего на глубинах >0.7 м, растения находились исключительно в вегетативном состоянии.

В целом заросли макрофитов занимают <10% площади акватории. По характеру распределения

растительных сообществ, для описываемых озер характерен поясной (зональный) тип зарастания, при котором пояса зарастания последовательно сменяют друг друга с увеличением (или с уменьшением) глубины воды. Сукцессионный ряд представлен всего двумя типами фитоценозов *Caricetum rostratae* > *Sparganietum angustifolii* Rübel 1928. В оз. Круглое 3 в начале ряда дополнительно появляется *Caricetum lasiocarpa*, что может указывать на более активно протекающие процессы заболачивания в данном водоеме, по сравнению с озерами Круглое 1 и Круглое 2. Во всех рассматриваемых водоемах зарастание идет по классическому типу с преобладанием эндодинамических смен фитоценозов, заполнение котловин происходит в результате торфонакопления.

**Характеристика зоопланктона озер.** В пробах зоопланктона обследованных озер зарегистрированы 38 видов, относящиеся к 18 семействам трех основных таксономических групп (табл. 3). Наиболее богато представлены группы Cladocera и Rotifera (17 и 16 видов соответственно). В группе Copepoda обнаружено 5 видов. Среди ветвистоусых ракообразных в качественном отношении наиболее богато сем. Chydoridae (8 видов). Среди коловраток наибольшее число видов в семействах Trichocercidae (4) и Synchaetidae (3), в группе веслоногих ракообразных – в сем. Cyclopoidae (3).

При определении видового состава зоопланктона отмечены некоторые таксономические особенности. Так, в пробах не обнаружены представители рода *Daphnia*, характерные для водоемов ЯНАО. Во всех “круглых” озерах наряду с типичным видом *Diaphanosoma brachyurum*

**Таблица 3.** Таксономический состав и зоогеографическое распределение зоопланктона “круглых” озер Надымского района

Таксон	ЗГ	K 1	K 2	K 3
Rotifera				
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	K	+	+	-
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	K	-	-	+
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet	K	+	+	+
<i>Eosphora ehrenbergi</i> Weber	K	-	-	+
<i>Epiphantes senta</i> (Müller)	K	-	-	+
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	K	-	-	+
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	Г	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	K	+	+	+
<i>Lecane (Monostyla) hamata</i> (Stokes)	K	+	-	
<i>L. (s. str.) ungulata</i> (Gosse)	K	-	+	+
<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson	Г	+	+	+
<i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski	Г	+	+	
<i>Trichocerca (Diurella) tenuior</i> (Gosse)	K	-	-	+
<i>T. (s. str.) capucina</i> (Wierzejski et Zacharias)	K	-	+	+
<i>T. (s. str.) cylindrica</i> (Imhof)	K	+	-	-
<i>T. (s. str.) longiseta</i> (Schrank)	K	+	+	+
Cladocera				
<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	Э, Г, Н, О	+	+	+
<i>Alona guttata</i> Sars	П	+	-	-
<i>Alonella excisa</i> (Fischer)	K	+	+	+
<i>A. nana</i> (Baird)	Г	+	+	+
<i>Alonopsis elongatus</i> Sars	П	+	+	+
<i>Biapertura affinis</i> (Leydig)	О, П	-	-	+
<i>Bosmina (B.) longirostris</i> (Müller)	K	-	+	+
<i>Bosmina (E.) coregoni</i> Baird	Г	+	-	-
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (Müller)	П	+	-	-
<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller)	K	+	+	+
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin)	Г	+	+	+
<i>Disparalona rostrata</i> (Koch)	О, П	-	+	+
<i>Limnoides frontosa</i> Sars	П	-	-	+
<i>Ophryoxus gracilis</i> Sars	П	-	-	+
<i>Polyphemus pediculus</i> (L.)	Г	+	-	-
<i>Sida crystallina</i> (Müller)	П	+	+	+
<i>Streblocerus serricaudatus</i> (Fischer)	Г	-	-	+
Copepoda				
<i>Acanthocyclops americanus</i> (Marsh)	Г	+	+	-
<i>A. capillatus</i> (Sars)	П	+	+	+
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer)	П	+	-	-
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg)	П	-	-	+
<i>Heterocope appendiculata</i> (Sars)	П	-	+	+

Примечание. K1 – оз. Круглое 1, K2 – оз. Круглое 2, K3 – оз. Круглое 3; ЗГ – зоогеографическое распределение, К – космополиты, Г – Голарктическая область; П – Палеарктическая, О – Ориентальная, Э – Эфиопская, Н – Неотропическая. “+” – вид присутствует в пробах, “–” – отсутствует.

**Таблица 4.** Структурообразующие и доминирующие комплексы зоопланктона “круглых” озер Надымского района

Круглое 1	Круглое 2	Круглое 3
По относительной численности ( $n_i/N$ ), %		
Молодь Cyclopoida (53)	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (49)	<i>Eudiaptomus graciloides</i> (72)
<i>Keratella cochlearis</i> (13)	Молодь Cyclopoida (31)	
<i>Polyarthra dolichoptera</i> (12)		
По относительной биомассе ( $b_i/B$ ), %		
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (45)	<i>D. brachyurum</i> (87)	<i>E. graciloides</i> (45)
Молодь Cyclopoida (32)		<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (38)

Примечание. Жирным шрифтом выделены доминанты.

был зафиксирован “морфотип”, который отличался от первого по форме головного отдела (рис. 2а, 2б). К сожалению, у нас не было цели провести морфо-систематические исследования, которые требуют специальных навыков и знаний. Описание существования одновременно двух “морф” *Diaphanosoma* в доступной литературе нами не обнаружено, определение таксонов проводили по имеющимся ключам и готовым описаниям. При анализе диагностических признаков оба представителя входили в группу видов *D. brachyurum*. В своей монографии Н.М. Коровчинский (2004) отмечал, что *D. brachyurum* – широко распространенный таксон, который объединяет, вероятно, группу близких видов и требует будущей длительной ревизии.

Кроме этого, в оз. Круглое 3 при анализе диагностических признаков у циклопов рода *Acanthocyclops* выявлены особи, которые имели асимметричное строение пятой пары ( $P_5$ ) торакальных ног (рис. 3). Поскольку анализ проводили на небольшом числе экземпляров, нельзя определить долю особей в популяции циклопов с такими отклонениями.

Для выявления доминантов и структурообразующих видов, а также для оценки условий обитания планктонных сообществ было проведено ранговое распределение видов по их количественным характеристикам (табл. 4). Доминирующие комплексы представлены одним-двумя таксонами, что свидетельствует о наличии сильно лимитирующих факторов среды или экстремальных условий обитания гидробионтов (Одум, 1986; Андроникова, 1996).

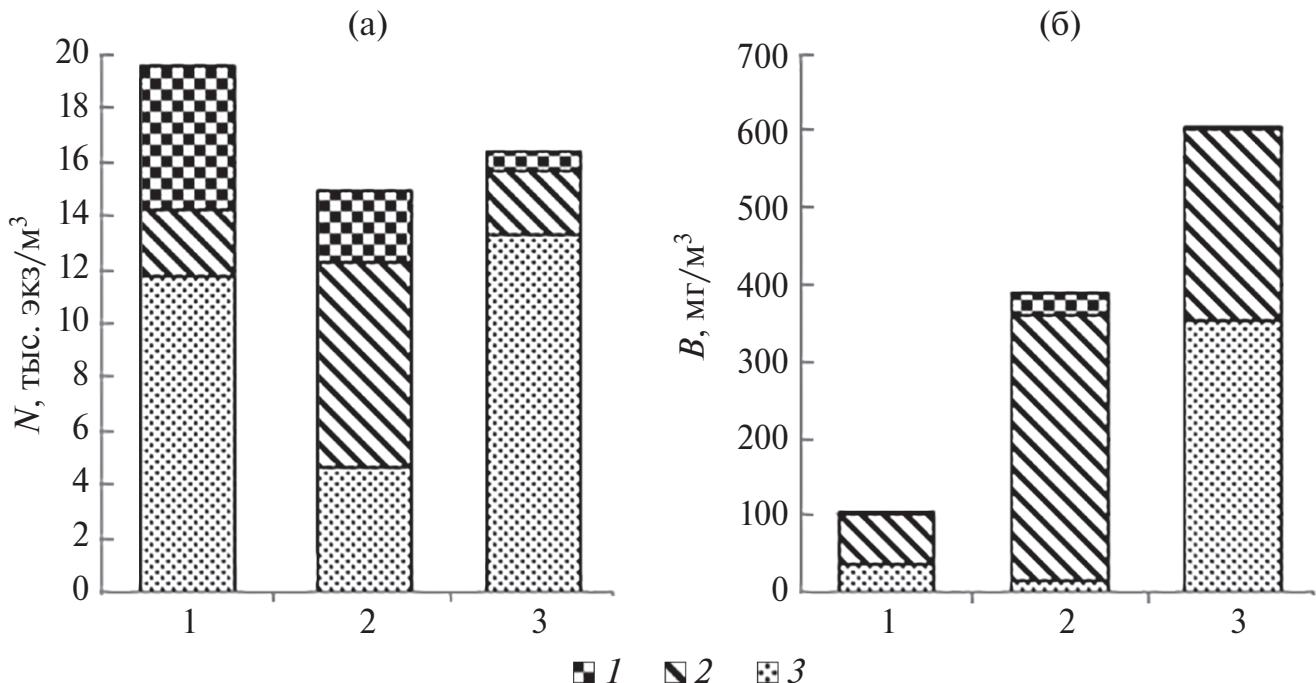
Количественное развитие планктонных сообществ в “круглых” озерах в период исследования различалось по численности (рис. 4а) и биомассе (рис. 4б). В оз. Круглое 1 зафиксирована наибольшая суммарная численность зоопланктона, которая достигала 19.6 тыс. экз./м<sup>3</sup>. В сообществе доминировали веслоногие ракообразные (Сорепода 60%). Основу численности данной группы составляла молодь Cyclopoida (науплии и копеподиты *Acanthocyclops capillatus* и *A. americanus*), их

доля доходила до 99%. Значительную роль в биоценозе играли коловратки (28%), доля кладоцер не превышала 12%. Несмотря на самую высокую численность зоопланктона, в оз. Круглое 1 зафиксирована самая низкая общая биомасса – 106.3 мг/м<sup>3</sup>. Веслоногие раки занимают второе место по биомассе (34%). Ведущей группой становится Cladocera (60%) с доминирующим видом *Diaphanosoma brachyurum*.

В оз. Круглое 2 общая численность зоопланктона была 14.9 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Лидировали Cladocera (51%), доминировала *Diaphanosoma brachyurum*. Доля веслоногих раков была достаточно высокой – 32%. Подавляющую численность в этой группе также создавала молодь Cyclopoida (98%). Доля коловраток достигала 17%. Общая биомасса планктонного сообщества (391.0 мг/м<sup>3</sup>) в >3 раза превышала таковую в оз. Круглое 1. Значительная часть биомассы приходилась на Cladocera (88%) с доминирующим видом *D. brachyurum*.

В оз. Круглое 3 суммарная численность зоопланктона достигала лишь 16.4 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Преобладающей группой в сообществе были веслоногие раки (81%), доминировал *Eudiaptomus graciloides*, в популяции которого преобладали (80%) науплиальные и копеподитные стадии. Доля ветвистоусых раков не превышала 14%, а доля коловраток в этом озере была самой низкой – 5%. По суммарной биомассе зоопланктона (603.3 мг/м<sup>3</sup>) озеро занимало лидирующую позицию. Основу биомассы составляли представители Сорепода (58%) с доминирующим видом *Eudiaptomus graciloides*. Значимость Cladocera в сообществе была также высокой (41%).

Из представленного списка видов зоопланктона 82% относятся к видам-индикаторам сапробности поверхностных вод. Все эти виды распределялись по следующим зонам: ксеносапробные (х–о) – 2.5%; олигосапробные (в том числе о и о–β) – 67%; бета–сапробные (в том числе β–о и β) – 10%; альфа–мезосапробные – 2.5%. Таким образом, по количеству видов и по численности преобладали представители олигосапробной зоны. Рассчитанные индексы сапробности



**Рис. 4.** Численность (а) и биомасса (б) зоопланктона и основных таксономических групп в “круглых” озерах Надымского р-на. 1 – оз. “Круглое 1”; 2 – “оз. Круглое 2”; 3 – “оз. Круглое 3”; 1 – Rotifera; 2 – Cladocera; 3 – Copepoda.

зоопланктона озер Круглое 1, Круглое 2, Круглое 3 по методу Пантле и Букк в модификации Сладечека (Унифицированные..., 1977) составили: 1.26, 1.38 и 1.37 соответственно. Значения индексов соответствуют классу II качества воды и характеризуют ее как “чистая”.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

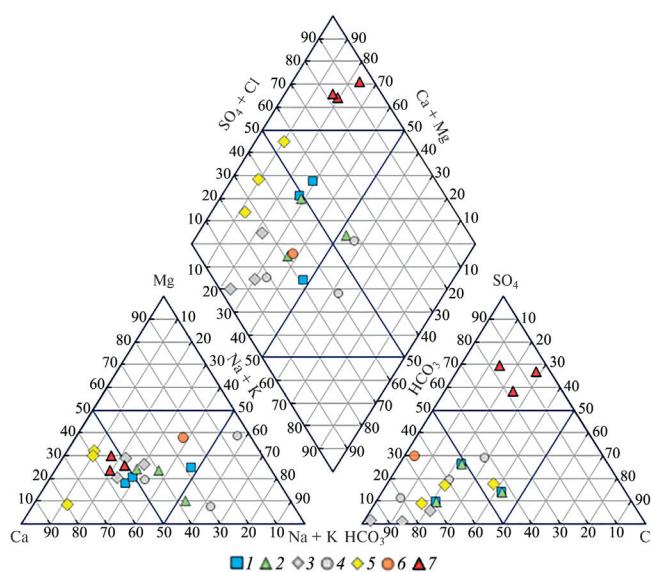
**Морфометрия и гидрохимия озер.** Особенности морфометрии озер, обусловленные генезисом котловин, оказывают влияние на все биогеохимические процессы в водной массе. Озерные котловины “круглых” озер, имеющие форму конуса с глубинами >10 м, значительно отличаются от типичных малых термокарстовых озер региона, котловины которых имеют форму конуса или параболоида с максимальными глубинами до 3 м (Соромотин и др., 2021). Вследствие малых глубин термокарстовые озера в зимний период промерзают до дна почти по всей акватории, что не наблюдается в “круглых” озерах.

Хотя источником питания для всех озер региона являются преимущественно атмосферные осадки, генезис озерных котловин оказывает значительное влияние на физико-химические показатели озерных вод. Так, донные отложения и берега термокарстовых озер, сформировавшихся в результате заполнения водой депрессий в торфяных залежах при деградации многолетнемерзлых пород, состоят из торфа различной степени разложения. Вследствие этого органическое

вещество озерных вод имеет аллохтонное происхождение и высокую кислотность (Manasypov et al., 2014). Озерное ложе и берега “круглых” озер сложены минеральным грунтом песчаного механического состава. “Круглые” озера расположены на хорошо дренированной второй террасе р. Надым среди сосновых северотаежных лесов на иллювиально-железистых подзолах. Отсутствие органического (торфяного) материала в самих “круглых” озерах и на их водосборных площадях обуславливает их более низкую трофность.

Ионный состав вод “круглых” озер (сульфатный класс) нетипичен для северотаежных озер Западной Сибири, где преобладают озера гидрокарбонатного класса (Кремлева и др., 2018; Мoiseienko и др., 2020; Солдатова и др., 2022; Соромотин и др., 2022). На диаграмме Пайпера (рис. 5) отражены различия в ионном составе вод “круглых” озер и озер различного генезиса на территории Надымского р-на (Кремлева и др., 2018; Солдатова и др., 2022; Соромотин и др., 2022). По сравнению с термокарстовыми и внутриболотными озерами, формирующими за счет вытаивания сегрегационных льдов и питающимися преимущественно талыми снеговыми и дождевыми водами, а также со старичными водоемами, периодически затапливаемыми р. Надым и в значительной степени питающимися подземными водами, “круглые” озера образуют самостоятельную группу.

По описанию И.Л. Кузина (2001), “голубые” озера на севере Западной Сибири характеризуются



**Рис. 5.** Ионный состав озер района исследований на диаграмме Пайпера. Использованы данные работы по озерам: болотные озера (1), термокарстовые (2), старичные (3), карьерные (4) (по: Кремлева и др., 2018); 5 – термокарстовые (по: Соромотин и др., 2022), 6 – озеро в бассейне р. Надым (по: Солдатова и др., 2022), “круглые” озера (7) – собственные данные.

незначительным количеством растительности на лitorали, бедным видовым составом рыбы, а также бесцветной водой с высоким содержанием сульфатов. Именно с круговоротом серы при участии цианобактерий связаны аномалии “голубых” озер (Кузин, Яковлев, 2013). Преобладание сульфатов в озерных водах может объясняться наличием морских эвапоритовых отложений (Zak et al., 2021), повсеместно встречающихся в районе исследования. Значительные глубины котловин “круглых” озер вполне могут обеспечивать контакт поверхностных вод с реликтовыми морскими отложениями и способствовать миграции сульфатов в озерные воды. По нашему мнению, “голубые” озера (в понимании И.Л. Кузина) и исследованных нами “круглые” озера тождественны.

**Особенности водной и прибрежной растительности.** В условиях низкой экологической емкости экотопов олиготрофных озер, слабой изрезанности береговой линии, узкой лitorали и резкого нарастания глубин значительно замедляется скорость зарастания акватории, обедняется видовой состав макрофитов, снижается их ценотическая значимость. Пояса растительности представлены преимущественно сообществами осок и ежеголовника узколистного. В экологическом спектре флоры по отношению к фактору увлажнения преобладают гигрогелофиты и гигрофиты.

Отличительная черта растительного покрова “круглых” озер – массовое произрастание

ультрапресноводного олиго-мезотрофного олигосапробного гидрофита *Sparganium angustifolium*, единственного представителя водного ядра флоры исследуемых водоемов. Широкое распространение этого вида в водоемах данного типа дополнительно свидетельствует о низкой концентрации в водной среде органических веществ естественного происхождения и относительно стабильном содержании кислорода и углекислого газа, что характеризует озерную воду как очень чистую или почти чистую (Свириденко, 2011). Благодаря способности произрастать на глубинах до 1 м (Fuhrmann, 2013), ежеголовник узколистный получает значительное преимущество при освоении незначительных по размерам площадей мелководий “круглых” озер, где проявляет высокую фитоценотическую активность и формирует довольно обширные монодоминантные сообщества по всему периметру водоема.

**Особенности зоопланктона озер.** Большинство видов, обнаруженных нами в “круглых” озерах, довольно широко распространены на территории ЯНАО. Они отмечены в водоемах Обского севера и Нижней Оби (Семенова и др., 2000; Семенова, Алексюк, 2010), в водоемах и водотоках бассейна рек Харбей, Лонготьеган и Щучья, (Богданов и др., 2005), в водоемах бассейна р. Пур (Богданова, 2010), в оз. Янтарное Надымского р-на (Филатов и др., 2014). Зоопланктон “круглых” озер имеет общие черты с таковым озер Ямала, Гыданского и Тазовского полуостровов (Богданов и др., 2000; Шарапова, Абдуллина, 2004; Богданов и др. 2012; Ермолаева, 2016).

По зоogeографическому распределению фауна зоопланктона озер представлена в основном широко распространенными видами – космополитами (42), палеарктическими (29) и голарктическими (24%) видами. Остальные виды (5%) *Biapertura affinis*, *Disparalona rostrata*, *Acroperus harpae* встречаются в двух и более областях. Вид *A. harpae* отмечен в ориентальной, неотропической и эфиопской областях. По экологической (биотической) приуроченности основу зоопланктона “круглых” озер составляли эупланктонный (40%) и лitorально-фитофильный комплексы (30%).

Постоянно встречались ( $p = 100\%$ ) коловратки *Keratella cochlearis* и *Kellicottia longispina*, из ветвистоусых раков – *Diaphanosoma brachyurum* и *Chydorus sphaericus*. Для *Polyarthra dolichoptera*, *Conochilus unicornis*, *Acroperus harpae*, *Alonella nana*, *A. excise*, *Alonopsis elongates*, *Acanthocyclops capillatus* встречаемость составляла 65–50%, для остальных видов была значительно ниже.

Факт отсутствия представителей рода *Daphnia* в пробах может указывать не только на полное их исчезновение в озерах, но и на малочисленность популяции, из-за которой дафнии не попадали в планктонную сеть. Отсутствие в озерах дафний

Таблица 5. Структурные показатели зоопланктона “круглых” озер Надымского района

Параметр	Круглое 1	Круглое 2	Круглое 3
Rot : Clad : Cop, % n	23	21	28
Rot : Clad : Cop, % N	39 : 48 : 13	43 : 43 : 14	43 : 46 : 11
Rot : Clad : Cop, % B	28 : 12 : 60	18 : 51 : 31	5 : 14 : 81
Rot : Clad : Cop, % B	6 : 60 : 34	8 : 88 : 4	1 : 41 : 58
w	0.0056	0.0260	0.0364
H <sub>N</sub>	1.96	1.32	1.22
E	0.62	0.43	0.37
I <sub>b/p</sub>	0.36	0.49	0.73

Примечание. n – число видов; N – численность; B – биомасса; w, мг – средняя индивидуальная масса зоопланктера (B/N); H<sub>N</sub> – Индекс Шеннона; E – Индекс Пиелу; I<sub>b/p</sub> – Индекс доминирования Бергера–Паркера; Rot – Rotifera, Clad – Cladocera, Cop – Copepoda.

(или их слабое развитие), по нашему мнению, может быть связано с абиотическими, и с биотическими факторами. Так, в “круглых” озерах в период сбора материала pH среды варьировала в пределах 5.2–5.9 единиц. Поэтому, с одной стороны, обилие ветвистоусых раков связано с уровнем кислотности воды, – большинство дафний отсутствуют в озерах с низкими значениями pH. Так, в озерах Канады *Daphnia galeata* L. исчезала при значениях pH 5.5–5.0 (Моисеенко, 2003). *Daphnia cristata* L. в водоемах Дарвинского заповедника предпочитала среду pH не ниже 5.5, но могла единично встречаться и в более кислых водах (Лазарева, 1992; Лазарева, 1994). С другой стороны, отсутствие дафний может быть связано с качеством и количеством кормовых ресурсов (Гиляров, 1987). Невысокие значения перманганатной окисляемости (2.3–4.3 мг O<sub>2</sub>/л), биогенных элементов (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), высокая прозрачность воды (3.3–4.5 м), слабое развитие водной флоры могут указывать на ограничение кормовых возможностей в исследуемых водоемах. Доказано, что при лимитированных трофических условиях и перекрывании ниш мирных зоопланктеров (как дафния и диафанозома), последняя будет вытеснять дафнию, поскольку более конкурентоспособная (Трубецкова, 1988; Бойкова, 2002; Коровчинский, 2004). В “круглых” озерах *Diaphanosoma brachyurum* имела 100%-ную встречаемость и относительно высокое качественное развитие.

Какого-либо описания выявленного нами впервые ассиметричного строения пятой пары (P<sub>5</sub>) торакальных ног у циклопов рода *Acanthocyclops* в оз. Круглое 3 в доступной научной литературе не обнаружено. Предположительно, наличие тератологических изменений у представителей Cyclopidae могут быть обусловлены географической изоляцией популяций и воздействием различных экологических факторов. На это указывают и авторы работ по исследованием морфологической изменчивости и уродствам у веслоногих раков *Harpacticoida* (Pandourski,

Evtimova, 2005; Kochanova, Fefilova, 2017). Вполне возможно, что и присутствие в озерах “морфотипа” *Diaphanosoma brachyurum* также обусловлено данными факторами.

Число видов, найденных в озерах, различалось: наименьшее зарегистрировано в оз. Круглое 2 (21 вид), наибольшее – в оз. Круглое 3 (28) (табл. 5). Богатство видов относительно высокое для малых по площади водоемов (Филатов и др., 2014; Ермолаева, 2016). Основу качественного состава планктонных сообществ в каждом озере создавали коловратки и ветвистоусые ракообразные. Рассчитанный индекс фаунистического сходства озер в среднем составил 0.65, что, с одной стороны, подчеркивает определенное единство водных экосистем, с другой – указывает на имеющиеся различия в условиях обитания гидробионтов. Наибольший показатель индекса отмечен для озер Круглое 2 и Круглое 1 (K<sub>q-c</sub> = 0.71), наименьший (K<sub>q-c</sub> = 0.50) – для озер Круглое 1 и Круглое 3.

Влияние различных экологических условий в исследуемых озерах проявляется и на структуре планктонных сообществ: соотношениях таксономических групп, индексах биоразнообразия, доминирования и выравненности (табл. 5). Наиболее высокие показатели индекса Шеннона (H<sub>N</sub>) (1.96) получены для оз. Круглое 1, минимальные (1.22) – для оз. Круглое 3. Однако это снижение не связано с уменьшением числа видов, а вызвано высоким уровнем доминирования в сообществе (I<sub>b/p</sub> = 0.73). В целом индекс Шеннона во всех озерах невысокий, что обусловлено доминированием отдельных видов и таксонов в зоопланктонозах. Это подтверждает и индекс выравненности Пиелу, который изменился от 0.62 до 0.37. В оз. Круглое 1 планктонное сообщество более выровнено, чем в двух других озерах.

На наличие экстремальных условий в “круглых” озерах указывают доминирующие комплексы зоопланктона, представленные одним–двумя таксонами. В кислых озерах таким лимитирующим фактором являются низкие величины pH

среды, которые прямо или опосредовано действующие на сообщество. Формирование зоопланктоценоза с двумя эдификаторами в ацидных озерах и высоким уровнем доминирования показано в работах (Лазарева, 1992; Лазарева, 1994). В зоопланктоне “круглых” озер доля доминантов достигала 53–80% суммарной численности и 78–87% суммарной биомассы сообщества. Во всех озерах в доминирующие комплексы по относительной биомассе входил микрофильтратор *Diaphanosoma brachyurum* (38–87%). Известно, что этот вид встречается почти во всех водоемах и толерантен к широкому диапазону рН. Есть данные, что именно в кислых маломинерализованных озерах *D. brachyurum* может составлять основу зоопланкtonных сообществ (Лазарева, 2007; Коровчинский, 2004). Кроме *D. brachyurum*, в доминантный комплекс входили представители *Soperoda* с длительным жизненным циклом и сложным метаморфозом. В озерах Круглое 1 и Круглое 2 – это молодь Cyclopoida (в основном, *Acanthocyclops americanus* и *A. capillatus*), в оз. Круглое 3 – представитель Calanoida, макрофильтратор *Eudiaptomus graciloides*, который лидировал и по численности, и по биомассе. Этот вид тоже толерантен к низким значениям pH среды и может занимать место эдификатора в сообществе зоопланктона. Зоопланктоценозы с доминантом *E. graciloides* часто встречаются, начиная с Крайнего Севера, в тундре и тайге (Пидгайко, 1984), вид отнесен в качестве доминанта и в приполярных прудах Скандинавии (Rautio et al., 2011).

Суммарная численность зоопланктона в исследуемых водоемах варьировала от 14.9 тыс. экз./м<sup>3</sup> до 19.6 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Основу количественного развития составляла молодь веслоногих раков, которая доминировала в озерах Круглое 1 и Круглое 3, в оз. Круглое 2 ведущую роль играли ветвистоусые раки (табл. 4). Преобладание молоди веслоногих раков в летний период подтверждено многими публикациями и характерно для большинства водоемов ЯНАО (Богданов и др., 2007, 2000, 2015; Богданова, 2010). Превалирование кладоцер в оз. Круглое 2, возможно, связано с улучшением трофических условий для этой группы. Прозрачность воды в данном озере значительно ниже (3.3 м) по сравнению с озерами Круглое 1 и Круглое 3 (4.5 м и 4.4 м соответственно), что указывает на большее количество взвешенных органических веществ, которое положительно коррелирует с численностью кладоцер-фильтраторов (Иванова, Телеш, 2004).

Основу биомассы планктонных сообществ “круглых” озер составляли ветвистоусые раки, с доминированием в озерах Круглое 1 и Круглое 2. Следует отметить, что во внутренних не-пойменных водоемах Ямала, Тазовского и Гыданского полуостровов в весенний и летний периоды характерно доминирование *Soperoda* и *Rotifera*

по численности и биомассе (Богданов и др., 2000; Шарапова, Абдуллина, 2004). Суммарная биомасса зоопланктона в “круглых” озерах варьировала от 106.3 мг/м<sup>3</sup> до 603.3 мг/м<sup>3</sup>, что, согласно стандартным классам биологических показателей озер (“шкала трофности”, Китаев, 2007), позволяет отнести озера Круглое 1 и Круглое 2 к ультраприлиготрофному типу, а оз. Круглое 3 к олиготрофному типу водоемов.

Низкие показатели биомассы зоопланктона в оз. Круглое 1 связаны со значительным преобладанием мелких форм, что приводит к уменьшению средней индивидуальной массы зоопланктеров. В отличие от двух других озер, структурообразующий комплекс оз. Круглое 1 представлен молодью Cyclopoida с самым высоким уровнем доминирования по численности (53%) и коловратками *Keratella cochlearis* (13) и *Polyarthra dolichoptera* (12). В результате средняя масса зоопланктера была 0.0056 мг, что значительно ниже относительно других озер (табл. 5). Такое “измельчение” зоопланктона часто связывают с очень низкими кормовыми ресурсами и с прессом рыб-планктофагов (Гиляров, 1987; Биотические..., 1993). За несколько летних и зимних сезонов нами не обнаружено присутствие рыбы в “круглых” озерах. В то же время, в озерах отмечено значительное количество личинок стрекоз (Odonata) и имаго жуков (Coleoptera, сем. Dytidae), в планктонных пробах попадались личинки рода *Chaoborus*, которые по прессу на зоопланктон вполне могли заменить рыбу. В научных публикациях имеется достаточно данных, что личинки различных таксонов насекомых при высокой численности очень эффективно потребляют зоопланктон, меняя его структуру, и могут составить существенную конкуренцию рыбам (Николаев, 1986; Гиляров, 1987; Семенченко и др., 2013). Особенно велико влияние личинок хаоборусов на планктонных ракообразных в небольших безрыбных водоемах (Биотические..., 1993). По некоторым данным (Коровчинский, 2004), личинки могут почти полностью уничтожить популяции ряда видов кладоцер. Более высокая численность коловраток в первом озере может быть связана с тем, что личинки хаоборуса в первую очередь поедают ракообразных, и, в меньшей степени, коловраток (Николаев, 1986). Кроме этого, при элиминации раков-фильтраторов улучшаются пищевые условия для коловраток, что также приводит к повышению их численности. На элиминацию крупных особей Cladocera могут указывать средние линейные размеры доминирующего во всех озерах вида *Diaphanosoma brachyurum*. В оз. Круглое 1 размеры рака достигали 0.677 мм, в озерах Круглое 2 и Круглое 3 показатели были выше – 0.757 мм и 1.001 мм соответственно. Безусловно, для подтверждения таких выводов необходимы дополнительные исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что “круглые” озера нижнего течения р. Надым обладают набором уникальных характеристик, выделяющих их среди прочих водоемов региона. Установление факторов формирования своеобразного гидрохимического состава природных вод “круглых” озер бассейна р. Надым требует дальнейшего изучения. До сих пор нет единого мнения о генезисе этих уникальных водоемов. Широкое распространение ультрапресноводного олиго-мезотрофного олигосапробного гидрофита *Sparganium angustifolium*, формирующего довольно обширные монодоминантные сообщества по всему периметру “круглых” озер, характеризует озерную воду как очень чистую или чистую. Несмотря на значительное сходство “круглых” озер по морфометрии, гидрохимическому составу воды, населению зоопланктона и фитоценозу, экологические условия этих озер неоднородны, что отражается на видовом составе и структуре сообществ водных беспозвоночных. Зоопланктон озер представлен в основном космополитами. В пробах, собранных с озер, не обнаружены представители рода *Daphnia*. В планктонных сообществах сформировались доминантные комплексы, представленные одним—двумя таксонами с высоким уровнем доминирования, доминируют *Diaphanosoma brachyurum*, *Eudiaptomus graciloides* и молодь Cyclopoida. По уровню развития общей биомассы зоопланктона озера относятся к ультра- и олиготрофному типам. В планктонных сообществах преобладают виды—индикаторы олигосапробной зоны. Индекс сапробности соответствует II классу воды, что характеризует ее как “чистая”. Во всех исследованных озерах впервые зафиксирован “морфотип” *Diaphanosoma brachyurum*, в оз. Круглое 3 у циклопов обнаружена асимметрия в строении пятой пары ( $P_5$ ) торакальных ног.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Департамента внешних связей Ямalo-Ненецкого автономного округа в рамках Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня (договор ЗП/00068-23/2 от 14.03.2023) и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0006).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Агбалян Е.В., Колесников Р.А., Красненко А.С. и др.* 2019. Оценка качества природных вод на научных полигонах Ямalo-Ненецкого автономного округа (Пуровский, Тазовский, Шурышкарский, Полярно-Уральский) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 6. С. 6.

- Алекин О.А.* 1953. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат.
- Андроникова И.Н.* 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука.
- Бакаева Е.Н., Никаноров А.М.* 2006. Гидробионты в оценке качества вод суши. М.: Наука.
- Балушкина Е.В.* 1979а. Зависимость между длиной и массой тела у планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Зоол. ин-т. С. 58.
- Биотические взаимоотношения в экосистеме озер-питомников. 1993. СПб: Гидрометеиздат. С. 349.
- Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Госькова О.А., Мельниченко И.П.* 2000. Ретроспектива ихтиологических и гидробиологических исследований на Ямале. Екатеринбург: Изд-во “Екатеринбург”.
- Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Головатин М.Г. и др.* 1997. Мониторинг биоты полуострова Ямал в связи с развитием объектов добычи и транспорта газа. Екатеринбург: Изд-во УРЦ “Аэрокосмоэкология”.
- Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Госькова О.А. и др.* 2005. Экологическое состояние притоков Нижней Оби (реки Харбей, Лонготьеган, Щучья). Екатеринбург: Изд-во Уральск. ун-та.
- Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Мельниченко И.П. и др.* 2012. Проблемы охраны биоресурсов при обустройстве Бованенковского газоконденсатного месторождения // Экономика региона. № 4. С. 68.
- Богданов В.Д., Степанов Л.Н., Богданова Е.Н. и др.* 2015. Оценка современного состояния водных экосистем и проблемы охраны биологических ресурсов при обустройстве Круженштернского ГКМ // Экономика региона. № 3. С. 266.
- Богданова Е.Н.* 2006. К изучению зоопланктона Ямала. Зоопланктон р. Надуйхи (Средний Ямал) // Науч. вестн. Ямalo-Ненецкого автономного округа. № 6(43). Ч. 1. С. 67.
- Богданова Е.Н.* 2009. К изучению зоопланктона Ямала. Зоопланктон бассейна р. Харасавэяхи, средний Ямал // Науч. вестн. Ямalo-Ненецкого автономного округа. № 1(63). С. 9.
- Богданова Е.Н.* 2010. К изучению зоопланктона Западной Сибири (зоопланктон р. Евояхи, бассейн р. Пур) // Науч. вестн. Ямalo-Ненецкого автономного округа. № 1(64). С. 40.
- Богословский Б.Б.* 1960. Озероведение. М.: МГУ.
- Бойкова О.С.* 2002. Экспериментальное исследование индивидуального роста и основных характеристик жизненного цикла *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin) (Crustacea, Branchiopoda, Sididae) из. Глубокого // Тр. гидробиол. ст. на Глубоком озере. Т. 8. С. 112.
- Гиляров А.М.* 1987. Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. М.: Наука.

- Григорьев С.В.* 1959. О некоторых определениях и показателях в озероведении // Тр. Карельск. филиала АН СССР. № 18.
- Деревенская О.Ю.* 2015. Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям: учебно-методическая разработка по курсу "Гидробиология". Казань: КФУ.
- Ермолаева Н.И.* 2016. Зоопланктон разнотипных водоемов полуострова Ямал в 2015 году // Науч. вестн. Ямalo-Ненецкого автономного округа. № 2. С. 56.
- Иванов П.В.* 1948. Классификация озер мира по величине и по средней глубине // Науч. Бюл. ЛГУ. № 21. С. 29.
- Иванова М.Б.* 1985. Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. Л.: Зоол. ин-т АН СССР.
- Иванова М.Б., Телеш И.В.* 2004. Сезонная и межгодовая динамика коловраток и ракообразных // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа. М.: Науч. мир. С. 71.
- Измайлова А.В.* 2016. Водные ресурсы озер Российской Федерации // География и природные ресурсы. № 4. С. 5.
- Катанская В.М.* 1981. Высшая водная растительность континентальных водоемов. СССР. Методы изучения. Л.: Наука.
- Китаев С.П.* 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН. С. 209.
- Кононова О.Н., Фефилова Е.Б.* 2018. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона европейского севера России. Сыктывкар: Ин-т биологии Коми науч. центра УрО РАН.
- Коровчинский Н.М.* 2004. Ветвистоусые ракообразные отряда Ctenopoda (морфология, систематика, экология, зоогеография). М.: Тов-во науч. издан. КМК.
- Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синев А.Ю. и др.* 2021. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2. М.: Тов-во науч. издан. КМК.
- Кремлева Т.А., Южанина А.А., Печкин А.С., Агбалиян Е.В.* 2018. Экологическое состояние и основные факторы формирования химического состава малых озер Надымского района // Вестн. Тюмен. гос. ун-та. Экология и природопользование. Т. 4. № 4. С. 33.
- Кузин И.Л.* 2001. Голубые озера областей гумидного климата // Изв. РГО. Т. 133. № 3. С. 44.
- Кузин И.Л., Яковлев О.Н.* 2013. О происхождении заисленных "Голубых" озер в гумидной зоне // Записки Горного института. Т. 203. С. 178.
- Лазарева В.И.* 1992. Особенности экологии ветвистоусых ракообразных в ацидных озерах юга Вологодской области // Современные проблемы изучения ветвистоусых ракообразных. СПб.: Гидрометеоиздат. С. 100.
- Лазарева В.И.* 1994. Трансформация сообществ зоопланктона малых озер при закислении // Структура и функционирование экосистем ацидных озер. Тр. ИБВВ РАН. Вып. 70(73). СПб.: Наука. С. 150.
- Лазарева В.И.* 2007. Жизненный цикл, динамика популяции *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin), распространение видов рода *Diaphanosoma*, их значение в сообществах зоопланктона водоемов бассейна Верхней Волги // Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология. Матер. Всерос. конф. Ин-та биологии внутр. вод РАН. С. 276.
- Моисеенко Т.И.* 2003. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука.
- Моисеенко Т.И., Дину М.И., Гашкина Н.А. и др.* 2020. Геохимические закономерности распространения элементов в водах озер арктических регионов // Геохимия. Т. 65. № 6. С. 521.
- Николаев И.И.* 1986. Хищный меропланктон и его трофическое значение в лимнологических экосистемах // Продукционно-гидробиологические исследования на внутренних водоемах. Сб. трудов. Вып. 252. Л.: ГосНИОРХ. С. 51.
- Одум Ю.* 1986. Экология. Т. 2. М.: Мир. 376 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. 2010. М.: Тов-во науч. изданий КМК.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные. 1994. СПб.: Зоол. ин-т РАН.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные. 1995. СПб.: Зоол. ин-т РАН.
- Папченков В.Г.* 2001. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ.
- Песенко Ю.А.* 1982. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука.
- Пидгайко М.Л.* 1984. Зоопланктон водоемов Европейской части СССР. М.: Наука.
- Природа Ямала. 1995. Екатеринбург: Наука.
- Речкалов В.В.* 2000. Состав и особенности функционирования зимних сообществ зоопланктона озер различной минерализации: Дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург.
- Ривьер И.К.* 2012. Холодноводный зоопланктон озер бассейна Верхней Волги. Ижевск: Издатель Пермяков С.А.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. Л.: Гидрометеоиздат.
- Свириденко Б.Ф., Мамонтов Ю.С., Свириденко Т.В.* 2011. Использование гидромакрофитов в комплексной оценке экологического состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины. Омск: Амфора.

- Семенова Л.А., Алексюк Б.А.* 2010. Зоопланктон Нижней Оби // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень: Ин-т проблем освоения Севера СО РАН. № 10. С. 156.
- Семенова Л.А., Алексюк Б.А., Дергач С.М., Лелеко Т.И.* 2000. Видовое разнообразие водоемов Обского севера // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН. Вып. 1. С. 127.
- Семенченко В.П., Разлуцкий В.И., Бусева Ж.Ф., Палаши А.Л.* 2013. Зоопланктон литоральной зоны озер разного типа. Минск: Беларусь. Навука.
- Солдатова Е.А., Иванова И.С., Колубаева Ю.В. и др.* 2022. Особенности формирования химического состава поверхностных вод арктических территорий Западной Сибири // Геохимия. Т. 67. № 11. С. 1142.
- Соромотин А.В., Демидова В.Р., Приходько Н.В., Сизов О.С.* 2021. Морфометрические характеристики малых термокарстовых озер низовий реки Таз // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике. С. 394.
- Соромотин А.В., Сизов О.С., Приходько Н.В. и др.* 2017. Морфометрические характеристики и гидрохимические особенности голубых озер Надым-Пурговского междуречья // Науч. вестн. Ямало-Ненецкого автономного округа. № 3. С. 42.
- Соромотин А.В., Приходько Н.В., Сизов О.С. и др.* 2022. Геоэкологическая оценка состояния термокарстовых озер Западной Сибири в зоне влияния арктического города (на примере Надыма) // Географ. вестн. № 2(61). С. 90.
- Столбунова В.Н.* 2006. Зоопланктон озера Плещеево. М.: Наука.
- Телеш И.В.* 2006. Видовое разнообразие и функционирование сообществ зоопланктона в озерах, реках и эстуариях: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону. 42 с.
- Трубецкова И.Л.* 1988. Количественные показатели питания некоторых представителей озерного зоопланктона // Докл. АН БССР. Т. 32. № 11. С. 1047.
- Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3. Методы биологического анализа вод. Изд. 3. 1977. М.: СЭВ. С. 191.
- Филатов А.Ю., Тунев В.Е., Матковский А.К. и др.* 2014. Ихиофауна озера Янтарное Надымского района Ямalo-Ненецкого автономного округа в условиях предстоящей рекреации водоема // Вестн. рыболовства и хозяйства. Т. 1. № 2. С. 66.
- Чеботарев А.И.* 1953. Гидрология суши и расчеты речного стока. Л.: Гидрометеоиздат.
- Шарапова Т.А., Абдуллина Г.Х.* 2004. К изучению водных беспозвоночных южных тундр Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. № 5. С. 97.
- Berger W.H., Parker F.L.* 1970. Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments // Science. V. 168. № 3937. P. 1345.
- Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF). 2013. Arctic Biodiversity Assessment: Report for Policy Makers. CAFF. Akureyri. Iceland.
- Fuhrmann K.* 2013. Die Verbreitung des Schmalblättrigen Igelkolbens (*Sparganium angustifolium*) in den Heidegebieten Nordwestdeutschlands, der Niederlande und Belgiens // DROSERA-Naturkundliche Mitteilungen aus Norddeutschland. V. 2011. № 1/2. P. 63.
- Kling G.W.* 2009. Lakes of the Arctic // Encyclopedia of inland waters. Elsevier, Oxford. V. 2. P. 577.
- Kochanova E.S., Fefilova E.B.* 2017. Morphological variability and teratology of Palearctic freshwater Harpacticoida (Crustacea: Copepoda) // Invertebrate Zool. V. 14. № 2. P. 148.
- Manasypov R.M., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N., Shirokova L.S.* 2014. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia // The Cryosphere. V. 8. № 4. P. 1177.
- Pandourski I., Evtimova V.* 2005. Teratological morphology of copepods (Crustacea) from Iceland // Acta zool. Bulgarica. V. 57. № 3. P. 305.
- Rautio M., Dufresne F., Laurion I. et al.* 2011. Shallow freshwater ecosystems of the circumpolar Arctic // Ecoscience. V. 18. № 3. P. 204.
- Schartau A.K., Mariash H.L., Christoffersen K.S. et al.* 2022. First circumpolar assessment of Arctic freshwater phytoplankton and zooplankton diversity: Spatial patterns and environmental factors // Freshwater Biol. V. 67. № 1. P. 141.  
<https://doi.org/10.1111/fwb.13783>
- Shannon C.E., Weaver W.* 1949. The mathematical theory of communication. Urbana: The University of Illinois Press.
- Sobko E.I., Shirokova L.S., Klimov S.I. et al.* 2023. Environmental factors controlling zooplankton communities in thermokarst lakes of the Bolshezemelskaya tundra permafrost Peatlands (NE Europe) // Water. V. 15. P. 511.  
<https://doi.org/10.3390/w15030511>
- Swadling K.M., Pienitz R., Nogrady T.* 2000. Zooplankton community composition of lakes in the Yukon and Northwest Territories (Canada): relationship to physical and chemical limnology // Hydrobiologia. V. 431. № 2–3. P. 211.
- Zak D., Hupfer M., Cabezas A. et al.* 2021. Sulphate in freshwater ecosystems: A review of sources, biogeochemical cycles, ecotoxicological effects and bioremediation // Earth-Science Reviews. V. 212.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103446>

## Habitat and Features of Development of Plankton Communities in the Unique “Round” Lakes of the Nadym River Basin (Western Siberia)

A. V. Soromotin<sup>1,\*</sup>, O. A. Alyoshina<sup>1</sup>, M. A. Shumilov<sup>1</sup>, N. V. Prikhodko<sup>1</sup>,  
S. A. Nikolaenko<sup>2</sup>, M. A. Kulikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>2</sup>Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

\*e-mail: asoromotin@mail.ru

The article discusses morphometry, hydrochemistry, zooplankton and macrophytes of three unique “round” lakes of the Nadym River basin (Western Siberia, Yamal-Nenets Autonomous Okrug). Significant depths, weak lakeshore angularity, zero color of water and predominance of sulfates in the ionic composition are atypical for the northern taiga lakes of Western Siberia. Coastal aquatic vegetation is characterized by extremely low species richness with dominance of *Sparganium angustifolium*, which is an indicator of high-transparent ultrafresh oligotrophic waters. Dominant complexes were formed in planktonic communities represented by 1–2 species with a high level of dominance. According to the level of development of total zooplankton biomass the lakes belong to the ultra- and oligotrophic types.

*Keywords:* “round” lakes, zooplankton, subarctic lakes, macrophytes, hydrochemistry, Western Siberia