



<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-3-556-578>  
<https://zoobank.org/References/E65D940D-57EB-4F65-894D-56220FA0BE4E>

УДК 574.583:592(282.247.1)

## Сообщества зоопланктона геотехногенных водоемов

Е. Ю. Афонина

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ул. Недорезова, д. 16а, 672014, г. Чита, Россия

### Сведения об авторе

Афонина Екатерина Юрьевна  
E-mail: [kataf@mail.ru](mailto:kataf@mail.ru)  
SPIN-код: 7861-7140  
Scopus Author ID: 35168425700  
ResearcherID: J-6340-2016  
ORCID: 0000-0002-4385-7747

**Права:** © Автор (2024). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

**Аннотация.** Работа посвящена изучению видового разнообразия и структуры зоопланктона геотехногенных водоемов, образованных в результате деятельности горнорудных предприятий, расположенных в Забайкальском крае. Водоемы различались по морфометрическим и гидрохимическим параметрам. Выделено шесть групп водоемов по градиенту pH: от сильноокислых до щелочных. В видовом составе отмечалось от двух (сильнокислые водоемы) до 82 таксонов (слабощелочные). Численность изменялась от  $69,01 \pm 20,03$  (слабощелочные) до  $157,76 \pm 63,61$  тыс. экз./м<sup>3</sup> (щелочные), биомасса — от  $70,33 \pm 17,80$  (сильнокислые/кислые) до  $977,95 \pm 563,66$  мг/м<sup>3</sup> (нейтральные). Численно доминировали Rotifera и ювенильные Cyclopoidea. Согласно индексам разнообразия, водоемы классифицировались от мезо- и эвтрофного типов с разнообразным и выравненным зооценозом (водоемы Балейского и Шерловогорского месторождений) до характеристик, указывающих на экстремальные экологические условия (водоемы Тасеевского и Жипкошинского месторождений).

**Ключевые слова:** коловратки, копеподы, кладоцеры, видовое разнообразие, количественные показатели, водопроявления рудных месторождений

## Zooplankton communities in geotechnogenic water bodies

E. Yu. Afonina

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 16a Nedorezova Str., 672014, Chita, Russia

### Author

Ekaterina Yu. Afonina  
E-mail: [kataf@mail.ru](mailto:kataf@mail.ru)  
SPIN: 7861-7140  
Scopus Author ID: 35168425700  
ResearcherID: J-6340-2016  
ORCID: 0000-0002-4385-7747

**Copyright:** © The Author (2024). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

**Abstract.** The article explores species diversity and structure of zooplankton in geotechnogenic water bodies. Geotechnogenic water bodies were formed as a result of mining by enterprises located in the Zabaykalsky Krai. The surveyed water bodies are different in morphometric and hydrochemical parameters. According to the pH gradient, six groups of water bodies have been distinguished. They range from strongly acidic to alkaline. The species composition includes from 2 (strongly acidic waters) to 82 (slightly alkaline waters) taxa. The total abundance varies from  $69.01 \pm 20.03 \times 1000$  ind./m<sup>3</sup> (slightly alkaline waters) to  $157.76 \pm 63.61 \times 1000$  ind./m<sup>3</sup> (alkaline waters). The biomass is from  $70.33 \pm 17.80$  mg/m<sup>3</sup> (strongly acidic/acidic waters) to  $977.95 \pm 563.66$  mg/m<sup>3</sup> (neutral waters). Rotifera and juvenile Cyclopoidea are found to be numerically abundant. According to the diversity indexes, water bodies have been classified from meso- and eutrophictypes with high species diversity and evenness of zooplankton (water bodies of the Baleyskoe and Sherlovogorskoe deposits) to characteristics indicating extreme environmental conditions (water bodied of the Taseevskoe and Zhipekoshinskoe deposits).

**Keywords:** rotifers, copepods, cladocerans species diversity, quantitative indicators, water manifestations of ore deposits

## Введение

Длительная масштабная горнопромышленная деятельность приводит к значительным по площади и характеру преобразованиям природных ландшафтов. Одним из элементов нарушенных форм рельефа являются различные водопроявления (водоемы карьерных выемок, шламоотстойники, хвостохранилища, подпрудные озера и др.), представляющие собой новые гидроресурсы геотехнических систем (Емлин 1991; Filipova, Deryagin 2005; Blanchette, Lund 2016). Подобные водоемы характеризуются новообразованными пресноводными экосистемами, обладающими экологическими условиями, отличными от естественных. Это ограниченная площадь водосбора, малая мощность донных отложений, высокое содержание металлов, металлоидов и солей, невыработанность ложа и берегов и несформированные производственные характеристики (Хомич 1986). Изучение водоемов антропогенного генезиса в контексте их становления, функционирования и перспектив существования является актуальным (Blanchette, Lund 2016; Vucic et al. 2019; Mondal et al. 2021) и важным для решения различных экологических проблем (развитие гидробионтов в сложных геохимических условиях, улучшение качества воды для целей многостороннего использования и др.) (Kumar et al. 2009; Skrzypczak, Napiórkowska-Krzebietke 2020; Ramanchuk et al. 2021). На территории Забайкальского края, где одной из основных отраслей экономики является горнорудная промышленность, изучение геотехногенных водоемов в различных его аспектах интересно, необходимо и актуально. Цель настоящей работы — изучение видовой разнообразия и структуры сообщества зоопланктона аквальных систем техногенного происхождения.

## Объекты, материалы и методы исследований

Исследования зоопланктона проводились в летний период 2021–2023 гг. на водоемах и водотоках горнорудных ме-

сторождений: Шерловогорского олово-полиметаллического, Жипкошинского сурьмяного, Завитинского бериллий-литиевого, Малокулуундинского редкометалльного, Орловского танталового, Спокойнинского вольфрамового, Балейского и Дарасунского золоторудных полей. На Шерловогорском месторождении добыча вольфрамовых, берилловых и висмутовых руд велась в 1918–1932 гг. Открытая добыча и переработка коренных оловянных руд проводилась до 1993 г. (Солодухина, Помазкова 2014). Малокулуундинское месторождение эксплуатировалось на олово в 1813–1818 гг., добыча танталовой руды велась до 1999 г. (Абрамова, Замана 2023). Открытая добыча руды на Завитинском месторождении велась в 1937–1997 гг., в Жипкошинском — в 2006–2018 гг. (Абрамова 2018). Открытая добыча вольфрамитового концентрата на Спокойнинском месторождении началась в 1940 г., продолжалась до начала текущего столетия, затем после непродолжительного перерыва вновь была возобновлена в 2011 г. (Чечель 2020). Добыча танталового сырья на Орловском месторождении велась с 1962 г. открытым способом около 40 лет. В настоящее время рудник законсервирован, в его пределах находится хвостохранилище, которое заполняется пульпой переработки руд Спокойнинского рудника (Абрамова, Замана 2023). Крупными месторождениями золота Балейского рудного района являются Балейское и Тасеевское, кроме того, отмечается значительное количество золоторудных объектов разных формаций (Новотроицкое, Среднегологотайское, Андрушкинское и др.). Балейское месторождение было введено в эксплуатацию в 1929 г. и обрабатывалось подземным и открытым способами. Открытая разработка прекращена в 1992 г. из-за приближения контура карьера к жилой застройке г. Балей. Тасеевское месторождение разрабатывалось в 1948–1994 гг. подземным и открытым способами. В настоящее время идут подготовительные работы по повторному вовлечению в эксплуатацию Тасеев-

ского участка (Замана, Усманов 2009). Новотроицкое месторождение ториеносных монацитсодержащих песков обрабатывалось в 1949–1964 гг. (Корольков 2016). Дарасунское рудное поле включает Дарасунское, Теремкинское, Талатуйское месторождения. Рудник работает нестабильно (то прекращает, то восстанавливает производство) (Гораш 2004).

Всего обследовано 27 водных объектов. На территории Шерловогорского месторождения были опробованы семь водоемов (ШГ-1 — рудный карьер, ШГ-5 — пруд 1, ШГ-6 — пруд 2, ШГ-8 — озеро под отвалами рудного карьера, ШГ-9 — подпрудное озеро у пгт. Шерловая Гора, ШГ-10 — озеро в карьере, ШГ-11 — хвостохранилище), БалеЙского рудного поля — семь (Бал-4 — Новотроицкий карьер, Бал-5 — хвостохранилище ЗИФ-1, Бал-6 — водоем выше отвалов Среднеголотайского месторождения, Тс-1 — Тасеевский карьер, Тс-3 — хвостохранилище ЗИФ-2, Анд — водоем ниже штольни Андрюшкинского месторождения, Бал-10 — БалеЙский карьер); Завитинского месторождения — четыре (ЗВ-1 — карьер верхний, ЗВ-2 — карьер нижний, ЗВ-3 — хвостохранилище верхнее, ЗВ-4 — хвостохранилище нижнее), Жипкошинского месторождения — три (ЖП-1 — карьер верхний, ЖП-2 — карьер нижний, ЖП-3 — водоем в траншее между карьерами), Орловского месторождения — два (ОР-1 — хвостохранилище, ОР-3 — дренажный водоем), Вершино-Дарасунского рудного поля — два (ВД-1 — 3-я секция хвостохранилища, ВД-2 — 2-я секция хвостохранилища), Спокойнинского месторождения — один (СП-1 — хвостохранилище) и Малокулиндинского месторождения — один (МК-2 — подпрудный водоем на р. Малая Кулинда).

Обследованные водные объекты значительно различались по морфометрическим и физико-химическим характеристикам. Для геотехногенных вод регистрировался широкий диапазон рН (2.9–9.4), Eh (89–600 мВ) и ЕС (84–6880 мкСм/см). В глубоководных карьерах

(ШГ-1, Бал-10, Тс-1, ЗВ-2) наблюдался термо-, хемо- и оксиклин. Величина рН мало изменялась с глубиной водоема и сохранялась в одной области. По химическому составу воды преимущественно сульфатные, реже гидрокарбонатно-сульфатные с разным соотношением магния и кальция. Подробное описание различных водопроявлений рудных месторождений представлено в работах (Афони́на 2022; Афони́на и др. 2022; Ташлыкова и др. 2023; Абрамова, Замана 2023; Abramova et al. 2023). По градиенту водородного показателя выделено шесть групп водоемов: рН ≤ 3 — сильнокислые (Тс-3), рН = 3–5 — кислые (Тс-1, ШГ-1), слабокислые — рН = 5–6.5 (ВД-1, ШГ-5, ШГ-6, ШГ-11), нейтральные — рН=6.5–7.5 (Бал-5, Бал-6, Анд, ВД-2, МК-2, СП-1, ЗВ-1, ОР-7), слабощелочные — рН = 7.5–8.5 (ЖП-3, Бал-10, ШГ-9, ШГ-10, ЗВ-2, ЗВ-3, ЗВ-4, ОР-1), щелочные — рН = 8.5–9.5 (ЖП-1, ЖП-2, Бал-4, ШГ-8) (табл. 1).

Отбор проб зоопланктона в глубоководной зоне (центральной) проводился путем тотального облова сетью Джеди (средняя модель, ячей сита 64 мкм) в прибрежье — процеживанием 100–120 л воды через сеть (ячей 73 мкм) (интегральная проба). Лабораторная обработка фиксированных 4%-ным раствором формальдегида образцов проводилась по стандартной количественно-весовой методике (Киселев 1969).

Видовая идентификация проводилась по сводкам Л. А. Кутиковой (Кутикова 1970; 2005), Н. Н. Смирнова (Смирнов 1971), Е. В. Боруцкого и др. (Боруцкий и др. 1991), С. Я. Цалолыхина (Цалолыхин 1995), Н. М. Коровчинского и др. (Коровчинский и др. 2021). При описании таксономического состава использовался термин «низший определенный таксон» (НОТ) — обозначение таксонов как видового, так и более высокого ранга, определенных в соответствии с возможностями идентификации (Баканов 1997). Название видов и таксонов зоопланктона дано в соответствии с современной номенклатурой

Таблица 1

Морфометрические и физико-химические параметры геотехногенных водных объектов  
(по данным из: Афонина и др., 2022; Ташлыкова и др., 2023; Abramova et al., 2023)

Table 1

Morphometric and physicochemical parameters of geotechnogenic water bodies (according to Afonina et al., 2022; Tashlykova et al., 2023; Abramova et al., 2023)

Точки отбора проб	Дата отбора	GPS	Н, м	Тг, м	Т, °С	ЕС, мкСм/см	Еh, мВ
1	2	3	4	5	6	7	8
Сильнокислые, pH ≤ 3							
Тс-3	21.08.2022 г.	N 51°32.894' E 116°38.080'	4,3	3	16,6–16,7	5410–5520	568–584
Кислые, pH = 3–5							
ШГ-1	05.06.2021 г.	N 50°33.128' E 116°16.088'	28	3	15–15,7	3170–3210	508
Тс-1	21.08.2022 г.	N 51°33.491' E 116°39.126'	72	5	18–18,6	3590–5042	539–600
Слабокислые, pH = 5–6,5							
ВД-1	22.08.2022 г.	N 52°20.529' E 115°35.846'	0,5	0,5	18,8	1444	230
ШГ-5	05.06.2021 г.	N 50°33.287' E 116°16.917'	0,5	0,5	18,2	2910	265
ШГ-6	05.06.2021 г.	N 50° 33.299' E 116°16.867'	0,5	0,5	21,6	4480	261
ШГ-11	06.06.2021 г.	N 50°32.673' E 116°17.421'	0,5	0,5	24	6880	295
Нейтральные, pH = 6,5–7,5							
Бал-5	20.08.2022 г.	N 51°33.668' E 116°36.897'	1,8	1,8	16,8	1533	89
Бал-6	20.08.2022 г.	N 51°29.262' E 116°39.437'	0,8	0,8	15,1	475	165
Анд	22.08.2022 г.	N 51°30.425' E 116°46.977'	0,3	0,3	2,5	327	198
ВД-2	23.08.2022 г.	N 52°20.729' E 115°35.239'	0,5	0,5	18,8	2652	249
МК-2	04.06.2021 г.	N 50°58.705' E 115°40.782'	0,7	0,7	15,8	141	191
ОР-7	02.06.2021 г.	N 51°05.629' E 114°45.695'	0,5	0,5	13	614	174
СП-1	02.06.2021 г.	N 51°04.111' E 114°52.201'	0,5	0,5	11,6	114	190
ЗВ-1	17.08.2022 г. 28.06.2023 г.	N 50°41.127' E 115°36.701'	11,3	6	18,2–21	1814–1822	231–281
Слабощелочные, pH = 7,5–8,5							
Бал-10	22.08.2022 г.	N 51°34.204' E 116°38.504'	130/20*	6,5	17,6–19,6	1309–1360	159–196
ШГ-9	06.06.2021 г.	N 50°31.251' E 116°17.841'	0,5	0,5	17,6	677	170
ШГ-10	06.06.2021 г.	N 50°33.154' E 116°17.875'	0,5	0,5	15,5–16,6	2510	145
ЗВ-2	17.08.2022 г. 29.06.2023 г.	N 50°40.649' E 115°37.069'	33	7	21–22,5	1470–1485	121–210

Таблица 1. Окончание  
Table 1. End

1	2	3	4	5	6	7	8
ЗВ-3	18.08.2022 г.	N 51°41.102' E 115°41.374'	1	1	19,5	2715	243
ЗВ-4	18.08.2022 г.	N 51°42.081' E 115°40.881'	9,8	5,4	21,6–23,3	406–448	131–159
ОР-1	02.06.2021 г. 26.06.2023 г.	N 51°05.119' E 114°45.593'	0,5	0,5	13,5	503	172
ЖП-3	16.08.2022 г.	N 51°36.457' E 115°15.278'	0,5	0,15	21	146	155
Щелочные, рН = 8,5–9,5							
ШГ-8	06.06.2021 г.	50°32.385' 116°15.919'	0,5	0,5	18,1	543	181
ЖП-1	03.06.2021 г. 16.08.2022 г.	N 51°36.115' E 115°15.365'	6,5	4,5	18,4–19,5	318–338	279–388
ЖП-2	16.08.2022 г.	N 51°36.489' E 115°15.227'	2,1	2	18,1–19,9	349–360	261–279
Бал-4	20.08.2022 г.	N 51°32.824' E 116°34.940'	10,1	0,5	13,2	84	138

Примечание: название точек отбора представлено в тексте. Физико-химические параметры даны для поверхностных слоев воды; Н – глубина отбора проб, Тг – прозрачность воды, Т – температура воды, ЕС – электропроводность, Eh – окислительно-восстановительный потенциал, «\*» – глубина водоема/глубина отбора.

(WorMS... 2024). Биомасса зоопланктеров определялась по уравнениям связи длины тела и сырой массы (Ruttner-Kolisko 1977; Балушкина, Винберг 1979). Число и состав структурообразующих видов зоопланктона выявлялись по функции рангового распределения относительно обилия видов (с относительным обилием  $\geq 5\%$  общей численности) (Федоров, Гильманов 1980). Таксономическую структуру зоопланктона оценивали по соотношению Rotifera/Copepoda/Cladocera по численности ( $N\%_{Rot/Cop/Clad}$ ), биомассе ( $B\%_{Rot/Cop/Clad}$ ) (Андрионикова 1996).

Альфа-разнообразие оценивали по учету видового богатства ( $n$  — число видов/таксонов), индексам Шеннона ( $H_n$ ), Симпсона ( $D_s$ ), Пиелу ( $e$ ), рассчитанные по численности зоопланктона, бета-разнообразие — путем сравнения видового состава сообщества по мере Уиттекера ( $\beta w$ ) (Мэгарран 1992).

Для оценки неоднородности распределения количественных показателей зоопланктона использовался коэффициент вариации ( $CV$ , %), для определения достоверности различий выборок —

$t$ -критерий Стьюдента ( $p$ -value) (Плохинский 1961).

Математическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета программ MS Excel v. 2010 и STATISTICA v. 10. При анализе использовали среднеарифметическое значение ( $\bar{x}$ ) и ошибку средней величины ( $S_{\bar{x}}$ ).

### Результаты исследований и их обсуждение

Общий видовой список зоопланктона включал 111 видов/НОТ. Среди Rotifera идентифицирован 61 таксон (55% от общего видового списка). Наибольшей видовой насыщенностью обладало семейство Brachionidae — 13 видов и подвидов, объединенных в 5 родов. Далее расположились семейства Synchaetidae, включающее 9 таксонов из 2 родов, и Notommatidae с 7 видами из 4 родов. Семейство Lecanidae содержало 5 видов из одного номинативного рода. Семейства Testudinellidae и Euchlanidae включали по 4 вида, а Mytilinidae и Trichotriidae — по 3 вида. В составе Cladocera обнаружено 29 видов/НОТ (26% от общего числа видов) из 5 семейств, из кото-

Таблица 2  
Table 2

Видовой состав зоопланктона геотехногенных водных объектов в градиенте изменения рН  
Zooplankton species composition of geotechnogenic water bodies in pH gradients

Таксон	рН ≤ 3	рН = 3-5	рН = 6,5-7,5						рН = 7,5-8,5						рН = 8,5-9,5						
			Ана	Бал-5	Бал-6	СП-1	ОР-7	ЗВ-1	МК-2	ЖП-3	ШП-9	ШП-10	ЗВ-2	ЗВ-3	ЗВ-4	ОР-1	Бал-10	ШП-8	Бал-4	ЖП-1	ЖП-2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Rotifera																					
<i>Bdelloidea</i> sp. n.	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>Habrothrocha</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Philodina</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Notommata collaris</i> (Ehrenberg, 1832)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>N. allontois</i> Wulfert, 1935	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>N. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Taphrocampa annulosa</i> Gosse, 1851	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1830)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>C. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monommata longiseta</i> (Müller, 1786)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichocerca longiseta</i> (Schrank, 1802)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ascomorpha ecaudis</i> Perty, 1850	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-

Таблица 2. Продолжение  
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>S. kitina</i> Rousselet, 1902	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>S. sp.</i> <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>S. sp.</i> <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>P. remata</i> Skorikov 1896	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>P. major</i> Burckhardt, 1900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>P. longiremis</i> (Carlin, 1943)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dicranophorus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-
<i>Asplanchnopus</i> <i>multiceps</i> (Schrank, 1793)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Colurella obtusa</i> Gosse, 1861	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. uncinata</i> (Müller, 1773)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>L. lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2. Продолжение  
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>L. bulla</i> (Gosse, 1851)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>L. elsa</i> Hauer, 1931	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>L. unguolata</i> (Gosse, 1887)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Trichotria pocillum</i> (Müller, 1776)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>T. tetractis</i> (Ehrenberg, 1830)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Macrochaetus subquadratus</i> (Perty, 1850)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mytilina mucronata</i> (Müller, 1773)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>M. ventralis</i> (Ehrenberg, 1832)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lophocharis oxysternon</i> (Gosse, 1851)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-
<i>E. incisa</i> Carlin, 1939	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>E. deflexa</i> Gosse, 1851	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>E. triquetra</i> Ehrenberg, 1838	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>B. quadridentatus quadridentatus</i> Hermann, 1783	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Таблица 2. Продолжение  
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>B. quadridentatus brevispinus</i> Ehrenberg, 1832	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>B. calyciflorus calyciflorus</i> Pallas, 1776	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>B. calyciflorus spinosus</i> Wierzejski, 1891	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>B. sericus</i> Rousselet, 1907	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anuraeopsis fissa</i> Gosse, 1851	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
<i>K. cochlearis</i> (Gosse, 1851)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>K. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832)	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>N. squamula</i> (O.F. Muller, 1786)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-
<i>Hexarthra mira</i> (Hudson, 1871)	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pompholyx complanata</i> Gosse, 1851	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-

Таблица 2. Продолжение  
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>T. mucronata</i> (Gosse, 1886)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>T. parva</i> (Ternetz, 1892)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Conochilus unicoloris</i> Rousselet, 1892	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Cladocera																					
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller, 1776)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diaphanosoma</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Simocephalus vetulus</i> (O.F. Müller, 1776)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>S. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
<i>Scapholeberis mucronata</i> (Müller, 1776)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+
<i>Ceriodaphnia</i> <i>quadrangula</i> s.l. (Müller, 1785)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Daphnia</i> ( <i>Ctenodaphnia</i> ) <i>magna</i> Straus, 1820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Daphnia pulex</i> Leydig, 1860	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. curvirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>D. longispina</i> s. lat. (O.F. Müller, 1785)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. galeata</i> Sars, 1864	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-

Таблица 2. Продолжение  
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>D. cucullata</i> Sars, 1862	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>D. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Macrothrix laticornis</i> (Jurine, 1820)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>P. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>A. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1785)	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+
<i>Ch. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acroperus harpae</i> Baird, 1843	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller, 1776)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Alona guttata</i> Sars, 1862	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>A. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Flavalona costata</i> (Sars, 1862)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Coronatella rectangula</i> (Sars, 1862)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+
<i>Oxyurella tenuicaudis</i> (Sars, 1862)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-

Таблица 2. Продолжение  
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-
Copepoda																					
<i>Acantodiaptomus denticornis</i> (Wierzejski, 1887)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
<i>Neurodiaptomus incongruens</i> (Poppe, 1888)	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>Arctodiaptomus niethammeri</i> (Mann, 1940)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine, 1820)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Paracyclops affinis</i> (Sars, 1863)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>P. fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-
<i>E. denticulatus</i> (Graeter, 1903)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>E. arcanus</i> Alekseev, 1990	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclops vicinus</i> Uljanin, 1875	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>C. furcifer</i> Claus, 1857	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2. Окончание  
Table 2. End

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer, 1853)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A. sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>D. crassicaudis</i> (Sars G.O., 1863)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1920)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Microcyclops rubellus</i> (Lilljeborg, 1901)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
M. sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Metacyclops</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thermocyclops dybowskii</i> (Landé, 1890)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Nauplii, copepodita Cyclopoidea	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Attheyella nordenskiöldii</i> <i>nordenskiöldii</i> Lilljeborg, 1902	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Общее число видов/ НОТ	2	5	2	11	7	13	17	9	3	4	12	9	20	12	22	40	12	6	18	12	9

рых самыми многочисленными являлись: Chydoridae, представленное 15 таксонами из 9 родов, и Daphniidae — 11 таксонами, заключенными в 4 рода. Группа Copepoda насчитывала в своем составе 21 таксон (19%). В семействе Diaptomidae выявлено 3 вида из 3 родов, в семействе Cyclopidae — 17 таксонов из 10 родов (табл. 2). В пробах, собранных в водоемах ШГ-1, ШГ-5, ШГ-6, ШГ-11, ВД-1, ВД-2, зоопланктеры не обнаружены.

Коловратка *Keratella quadrata* обнаружена во всем диапазоне pH (2.8–9.4). Виды *Lecane luna* и *Bosmina longirostris* отсутствовали в очень кислых водах. *Brachionus sericus* отмечен только в сильнокислой и кислой средах. В водах от нейтральных до щелочных встречались *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta pectinata*, *Keratella cochlearis*, *Kellicottia longispina*, *Daphnia galeata*, *Chydorus sphaericus*, *Neurodiaptomus incongruens*, *Eucyclops serrulatus*, *Cyclops vicinus*, до слабощелочных — *Euchlanis dilatata*, *Hexarthra mira*, *Flavalona costata*. Виды *Filinia longiseta* и *Coronatella rectangularis* регистрировались только в слабощелочных и щелочных водоемах, *Thermocyclops dybowskii* — в щелочных.

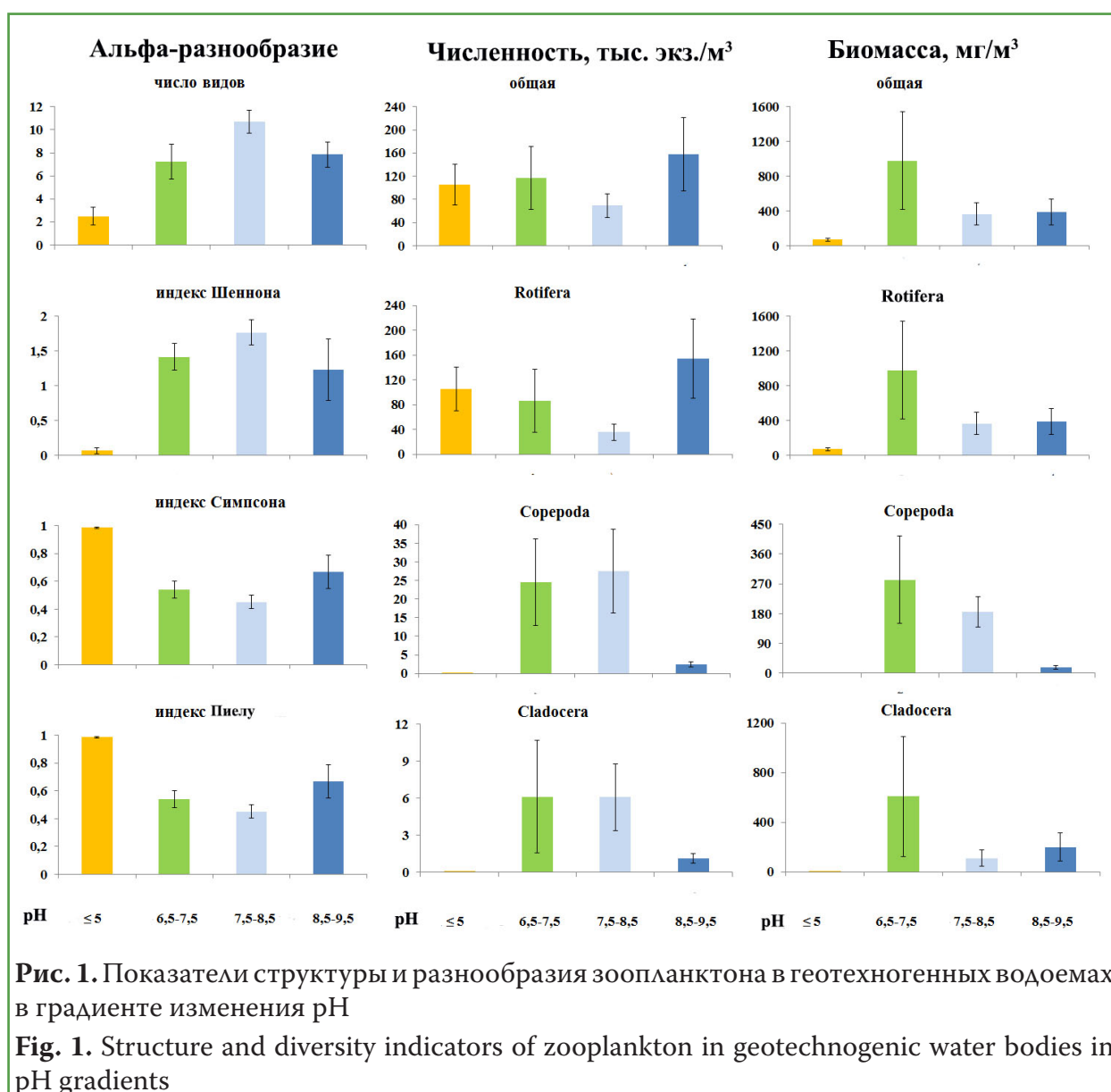
Зоопланктон обследованных водоемов высоко видоспецифичен. Максимальное значение  $\beta$ -разнообразия ( $\beta_w = 0,93$ ) обнаружено между сильнокислыми и слабощелочными водоемами, минимальное ( $\beta_w = 0,43$ ) — между сильнокислыми и кислыми.

В сильнокислых и кислых водоемах зоопланктон состоял из 2 и 5 видов соответственно (табл. 2). Значения количественных показателей изменялись в пределах 27 – 199 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 15–113 мг/м<sup>3</sup> (рис. 1). Основу сообщества формировала коловратка *Brachionus sericus* (до 100% всей численности) (табл. 3). Значения индексов разнообразия ( $H_n = 0–0,2$ ,  $D_s = 0,97–1$ ,  $e = 0–0,12$ ) указывали на экстремальные экологические условия обследованных водоемов.

Зоопланктон водоемов с нейтральной реакцией среды в своем составе насчитывал 44 таксона (при варьировании

от 3 до 17) (табл. 2). Планктонная фауна характеризовалась высокой видоспецифичностью, мера Уиттикера составляла 0,67 – 1. Общая численность варьировала от 9,22 тыс. экз./м<sup>3</sup> (Анд) до 601,4 тыс. экз./м<sup>3</sup> (ОР - 7), биомасса — от 26,05 мг/м<sup>3</sup> (прибрежье ЗВ - 1) до 6156,6 г/м<sup>3</sup> (СП-1) (рис. 1). Совокупность полученных данных по численности и биомассе абсолютно неоднородная ( $CV > 100\%$ ). В состав доминантов входило 15 таксонов (от 2 до 4 таксонов в каждом водоеме). Отмечалось два типа зоопланктоценозов: копеподный ( $N\%_{Cop} = 53–100$ ) с массовым развитием ювенильных Cyclopoida (Анд, СП - 1) и *Cyclops furcifer* (МК-1) и ротаторный ( $N\%_{Rot} = 67–98$ ) с ведущими видами *Keratella quadrata*, *Euchlanis dilatata*, *Hexarthra mira*, *Brachionus angularis* (остальные водоемы). Основная доля в создании биомассы принадлежала копеподам (*Cyclops vicinus*, *C. furcifer*, ювенильные Cyclopoida) ( $B\%_{Cop} = 50–100$ ) и коловраткам ( $B\%_{Rot} = 50–91$ ). Кладоцеры доминировали в двух водоемах (СП-1 — *Daphnia curvirostris* (85% всей биомассы) и Бал-6 — *Simocephalus vetulus* (91%)). В Завитинском верхнем карьере (ЗВ-1) видовое богатство и количественные показатели планктофауны в августе 2022 г. (2–4 вида, 14,62–21,71 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 26,05–93,98 мг/м<sup>3</sup>) были ниже, чем в июне 2023 г. (6–7 видов, 58,19–118,95 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 142,95–190,62 мг/м<sup>3</sup>). Основу сообщества в августе определяла *K. quadrata* (67–91% всей численности), в июне — *H. mira* (63–64%) (табл. 3). По условному разделению индексов разнообразия ( $H_n = 0,77–2,25$ ,  $D_s = 0,21–0,84$ ,  $e = 0,45–0,88$ ) ( $CV = 21–44\%$ ) водоемы отнесены к мезо- и эвтрофному типам с преобладающим доминированием одного вида (рис. 1).

В слабощелочных водоемах зоопланктон характеризовался высоким  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразием ( $n = 83$  таксона (при варьировании от 4 до 40),  $H_n = 0,58–2,31$ ,  $D_s = 0,23–0,81$ ,  $e = 0,3–0,97$ ,  $\beta_w = 0,62–0,95$ ) ( $CV = 32–41\%$ ) (рис. 1, табл. 2). Зооценоз большинства водоемов, согласно индексам



разнообразия, характеризовался полидоминантностью. Видовое разнообразие зоопланктона достоверно выше ( $p\text{-value} = 0,000$ ) по сравнению с сильнокислыми/кислыми водоемами. Показатели общей численности и биомассы беспозвоночных варьировали в широких пределах ( $CV > 100\%$ ): от 5,89 тыс. экз./м<sup>3</sup> (ОР-1, центр, июнь) до 269,2 тыс. экз./м<sup>3</sup> (ЗВ-3) и от 46,26 мг/м<sup>3</sup> (ШГ-9) до 1992,6 мг/м<sup>3</sup> (Бал - 10, центр). Достоверные различия ( $p\text{-value} = 0,05$ ) обнаружены для численности коловраток с сильнокислыми/кислыми водоемами. Доминирующий комплекс представляли 1–5 таксонов, общим числом 19. Основными элементами ротаторного зооценоза ( $N\%_{Rot} = 43\text{--}96$ ) были *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta*,

*Hexarthra mira*, копеподного ( $N\%_{Cop} = 58\text{--}82$ ) — младшевозрастные стадии циклопов. Основной вклад в формирование биомассы принадлежал веслоногим ракообразным (*Arctodiaptomus niethammeri*, *Neutrodiaptomus incongruens*, Cyclopoida) ( $B\%_{Cop} = 62\text{--}98$ ) и коловраткам ( $B\%_{Rot} = 47\text{--}69$ ). Только в двух водоемах (ЖП-3 и ОР-1, август) превалировали кладоцеры — *Daphnia curvirostris* (90% всей биомассы) и *Bosmina longirostris* (59%). Состав и структура зоопланктона некоторых водоемов различались по станциям и датам отбора проб (табл. 3). В Балейском карьере (Бал-10) и нижнем Завитинском (ЗВ-2) карьерах беспозвоночные в большей мере концентрировались в глубоководных зонах.

Таблица 3

Видовой состав доминирующего комплекса зоопланктона в геотехногенных водоемах в градиенте изменения pH

Table 3

Composition of the dominant zooplankton complex in geotechnogenic water bodies in pH gradients

Точки отбора	Доминанты ( $\geq 5\%$ , по убыванию)
<b>Сильнокислые</b>	
Тс-3	<i>B. sericus</i>
<b>Кислые</b>	
Тс-1	<i>B. sericus</i>
<b>Нейтральные</b>	
Бал-5	<i>K. quadrata</i> , <i>N. incongruence</i>
Бал-6	<i>E. dilatata</i> , <i>L. luna</i> , <i>S. vetulus</i> , Cyclopoida
АнА	Cyclopoida, <i>A. nordenskioldii</i>
МК-2	<i>C. furcifer</i> , <i>D. curvirostris</i>
СП-1	Cyclopoida, <i>D. pulex</i> , <i>S. pectinata</i>
ЗВ-1	июнь — <i>H. mira</i> , <i>Synchaeta</i> sp. <sub>2</sub> , <i>K. quadrata</i> август — <i>K. quadrata</i> , <i>C. vicinus</i>
ОР-7	<i>B. angularis</i> , <i>K. quadrata</i>
<b>Слабощелочные</b>	
ЖП-3	<i>K. quadrata</i> , <i>D. curvirostris</i>
Бал-10	прибрежье — Cyclopoida, <i>E. dilatata</i> , <i>Ch. sphaericus</i> , <i>K. quadrata</i> , <i>A. priodonta</i> центр — <i>F. longiseta</i> , <i>N. incongruens</i> , <i>D. galeata</i> , <i>A. priodonta</i>
ШГ-9	Cyclopoida, <i>P. longiremis</i> , <i>K. cochlearis</i>
ШГ-10	<i>H. mira</i> , <i>A. niethammeri</i>
ЗВ-2	июнь — <i>K. quadrata</i> , Cyclopoida август — <i>C. vicinus</i> , <i>D. longispina</i> (центр), <i>K. quadrata</i> , <i>E. dilatata</i> (прибрежье)
ЗВ-3	<i>T. dybowskii</i> , <i>H. mira</i>
ЗВ-4	<i>T. dybowskii</i> , <i>D. galeata</i>
ОР-1	июнь — <i>B. longirostris</i> , <i>C. vicinus</i> , <i>F. longiseta</i> , <i>Synchaeta</i> sp. <sub>1</sub> . август — Cyclopoida
<b>Щелочные</b>	
ЖП-1	<i>K. quadrata</i>
ЖП-2	<i>K. quadrata</i>
ШГ-8	Cyclopoida, <i>P. complanata</i> , <i>Keratella</i> sp.
Бал-4	прибрежье — <i>K. longispina</i> , <i>K. cochlearis</i> , <i>K. quadrata</i> , Cyclopoida центр — <i>K. longispina</i> , <i>S. pectinata</i>

В щелочной среде обитания разнообразие зоопланктона слагалось из 36 таксонов (от 6 до 18) (табл. 2). Количественные показатели изменялись от

12,05 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 24,05 мг/м<sup>3</sup> (ШГ-8) до 542,63 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 1101,25 тыс. экз./м<sup>3</sup> (ЖП-2) (рис. 1). Совокупность полученных данных абсолютно не однородная



( $CV > 100\%$ ). Наибольшее сходство фаун ( $\beta w = 0,52$ ) отмечено для Жипкошинских карьеров (ЖП-1 и ЖП-2), между остальными водоемами значение меры Уиттикера составляло 0,85–1. Согласно индексам разнообразия ( $H_n = 0,07–3,13$ ,  $D_s = 0,18–0,98$ ,  $e = 0,03–0,98$ ) ( $CV > 50\%$ ), Жипкошинские карьеры отнесены к водоемам с экстремальными экологическими условиями, в то время как зоопланктоценоз Новотроицкого карьера (Бал-4) характеризовался как разнообразный и выравненный. Во всех водоемах развивался только ротаторный зооценоз ( $N\%_{Rot} = 54–99$ ) с лидирующими видами *Keratella quadrata* и *Kellikottia longispina*. Основу биомассы формировали коловратки ( $B\%_{Rot} = 46–92$ ) и/или ветвистоусые рачки ( $B\%_{Clad} = 42–81$ ), среди которых превалировали *Daphnia magna* и *D. galeata*. Численность коловраток и копепод достоверно выше ( $p\text{-value} = 0,03$ ), чем в слабощелочных и сильнокислых/кислых водоемах, соответственно. Биомасса же копепод достоверно ниже ( $p\text{-value} = 0,02$ ) по сравнению со слабощелочными водоемами.

Сообщества зоопланктона обследованных геотехногенных водоемов характеризовались ограниченным набором видов беспозвоночных (от 2 до 40), низкой плотностью и превалированием в структуре Rotifera и ювенильных Cyclopoida, что считается отличительной особенностью водоемов антропогенного генезиса (Романов и др. 2011; Żurek et al. 2018; Goździejewska et al. 2021). Бедность планктонной фауны связана с рядом факторов: низкое содержание биогенов (Gammons et al. 2009), крутизна берегов, отсутствие мелководий и водной растительности (Blanchette, Lund 2016), что приводит к отсутствию биотопов для развития разнотипных сообществ.

Крайне низкое видовое разнообразие зоопланктонных сообществ ( $H_n \leq 1$ ) в кислой среде обитания отмечается и в других карьерных озерах (Moser, Weisse 2011; Ferrari et al. 2015; Pocięcha

et al. 2018; Mondal et al. 2021). Разнообразные и полидоминантные зоопланктоценозы со структурообразующими таксонами из Cyclopoida и Cladocera характерны для эвтрофных водоемов с рН 6.8–8.5 (El-Bassat, Taylor 2007; Sienkiewicz, Gasiorowski 2018; Goździejewska et al. 2021). В наших исследованиях ветвистоусые ракообразные отмечались спорадически и редко. Из них заметный вклад в численность и биомассу зоопланктона вносили виды рода *Daphnia* (*D. magna* в ЖП-1, ЖП-2, *D. curvirostris* в ЖП-3, *D. galeata* в ЗВ-4, Бал-4, Бал-5, *D. cucullata* в ЗВ-4, *D. longispina* в ЗВ-2), предпочитающие нейтральную и/или щелочную среду обитания (Коровчинский и др. 2021). Из коловраток доминировали преимущественно представители *Keratella* и *Brachionus*. *Keratella quadrata* — широко толерантный вид к изменениям ионного состава воды (Калинкина 2003). Ацидобионт *Brachionus sericus* обитает в сильнокислых водоемах Европы и Америки (Deneke 2000). Коловратки *Euchlanis dilatata*, *Lecana luna*, *Keratella cochlearis* и другие виды *Brachionus* предпочитают эвтрофные и загрязненные воды (El-Bassat, Taylor 2007; Ejsmont-Karabin 2012; Mondal et al. 2022); *Hexarthra* и *Polyarthra* — мезотрофные воды с широкой вариабельностью физико-химических показателей среды (Pereira et al. 2002).

### Заключение

Видовой состав планктофауны геотехногенных водоемов слагался из 111 видов/НОТ при варьировании от 3 до 40 видов/таксонов. Зоопланктон характеризовался широкой вариацией показателей  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразия, численности и биомассы. Зоопланктоценозы наиболее разнообразны и обильны в слабощелочных и щелочных водоемах. По условному разделению значений индексов разнообразия водоемы классифицировались от олиго-мезотрофного типа с высоким видовым разнообразием и выравненно-

стью сообщества зоопланктона (водоемы Балецкого месторождения) до характеристик, указывающих на экстремальные экологические условия (водоемы Тасеевского и Жипкошинского месторождений). Основными структурообразующими элементами являлись Rotifera и ювенильные Cyclozoidea. Доминантный состав зоопланктона в градиенте pH изменялся следующим образом: Rotifera (*Brachionus sericus*) — Rotifera (*Keratella quadrata*) и Cyclozoidea — Rotifera (*K. quadrata*, *Euchlanis dilatata*) и Crustacea (*Daphnia*, Cyclozoidea, Calanoida) — Rotifera (*K. quadrata*).

### Благодарности

Автор благодарит сотрудников лаборатории водных экосистем ИПРЭК СО РАН за помощь в сборе планктонных образцов.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания ФНИ (№ госрегистрации 121032200070-2).

### Funding

The reported study was carried out within the framework of the State Assignment for Fundamental Scientific Research, state registration number 121032200070-2.

### Литература

- Абрамова, В. А. (2018) Гидрохимия карьерных вод Завитинского месторождения редких металлов (Забайкальский край). *Аспирант. Приложение к журналу Вестник Забайкальского государственного университета*, т. 12, № 2, с. 3–7.
- Абрамова, В. А., Замана, Л. В. (2023) Редкоземельные элементы в водах геотехногенных объектов редкометалльных месторождений Восточного Забайкалья. *Геосферные исследования*, № 3, с. 86–97.
- Андроникова, И. Н. (1996) *Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов*. СПб.: Наука, 189 с.
- Афонина, Е. Ю. (2022) Видовое разнообразие зоопланктона техногенных водоемов Юго-Восточного Забайкалья. *Амурский зоологический журнал*, т. 14, № 2, с. 299–311. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2022-14-2-299-311>
- Афонина, Е. Ю., Ташлыкова, Н. А., Замана, Л. В. и др. (2022) Гидрохимия и гидробиология техногенных водоемов горнопромышленных территорий Юго-Восточного Забайкалья. *Аридные экосистемы*, т. 28, № 4 (93), с. 189–200.
- Баканов, А. И. (1997) *Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем. Мониторинг биоразнообразия*. М.: ИПЭЭ РАН, с. 278–282.
- Балушкина, Е. Б., Винберг, Г. Г. (1979) Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных. В кн.: Г. Г. Винберг (ред.). *Общие основы изучения водных экосистем*. Л.: Наука, с. 169–172.
- Боруцкий, Е. В., Степанова, Л. А., Кос, М. С. (1991) *Определитель Calanoida пресных вод СССР*. Л.: Наука, 504 с.
- Гораш, Ю. Ю. (2004) Развитие золотодобычи на Дарасунском руднике. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11, с. 154–156.
- Емлин, Э. Ф. (1991) *Техногенез колчеданных месторождений Урала*. Свердловск: Изд-во Уральского университета, 256 с.
- Замана, Л. В., Усманов, М. Т. (2009) Эколого-гидрогеохимическая характеристика водных объектов золотопромышленных разработок Балецкого-Тасеевского рудного поля (Восточное Забайкалье). *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*, № 1 (34), с. 106–111.
- Калинкина, Н. М. (2003) *Экологические факторы формирования толерантности планктонных ракообразных к минеральному загрязнению (на примере водоемов северной Карелии). Автореферат диссертации на соискание степени доктора биологических наук*. Петрозаводск, Петрозаводский государственный университет, 48 с.
- Киселев, И. А. (1969) *Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1. Вводные и общие вопросы планктологии*. Л.: Наука, 658 с.
- Коровчинский, Н. М., Котов, А. А., Синёв, А. Ю. и др. (2021) *Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2*. М.: КМК, 544 с.
- Корольков, А. Т. (2016) Монацитовая проблема города Балея. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН*, № 1 (54), с. 96–103.

- Кутикова, Л. А. (1970) Коловратки фауны СССР (*Rotatoria*). Подкласс *Eurotatoria* (отряды *Ploimida*, *Monimotrochida*, *Paedotrochida*). Л.: Наука, 745 с.
- Кутикова, Л. А. (2005) Бделлоидные коловратки фауны России. М.: КМК, 320 с.
- Мэгарран, Э. Э. (1992) Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 184 с.
- Плохинский, Н. А. (1961) Биометрия. Новосибирск: СО АН СССР, 364 с.
- Романов, Р. Е., Ермолаева, Н. И., Бортникова, С. Б. (2011) Оценка влияния тяжелых металлов на планктон в техногенном водоеме. *Химия в интересах устойчивого развития*, т. 19, № 3, с. 305–312.
- Смирнов, Н. Н. (1971) Фауна СССР. Ракообразные. Т. 1. Вып. 2. *Chydoridae* фауны мира. Л.: Наука, 533 с.
- Солодухина, М. А., Помазкова, Н. В. (2014) Ландшафты Шерловогорского рудного района Забайкальского края. *Успехи современного естествознания*, № 9, с. 70–78.
- Ташлыкова, Н. А., Афонина, Е. Ю., Замана, Л. В. и др. (2023) Техногенные водоемы (Забайкальский край): экологические особенности. *Успехи современного естествознания*, № 8, с. 66–75. <https://www.doi.org/10.17513/use.38090>
- Хомич, С. А. (1986) Карьерные водоемы как лимнические системы. *Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. Химия. Биология. География*, № 1, с. 73–74.
- Цалолихин, С. Я. (ред.). (1995) *Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные*. СПб.: Наука, с. 34–128.
- Чечель, Л. П. (2020) *Формирование гидрогеохимических полей вольфрамowych месторождений Восточного Забайкалья под влиянием природных и антропогенных факторов. Диссертация на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук*. Чита, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 180 с.
- Федоров, В. Д., Гильманов, Т. Г. (1980) *Экология*. М.: Изд-во Московского государственного университета, 464 с.
- Abramova, V. A., Afonina, E. Yu., Kuklin, A. P., Borzenko, S. V. (2023) Hydrogeochemistry and hydrobiology of technogenic reservoirs of mining territories of Eastern Transbaikalia. *E3S Web Conference. VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023)*, vol. 411, article 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341101027>
- Blanchette, M. L., Lund, M. A. (2016) Pit lakes are a global legacy of mining: An integrated approach to achieving sustainable ecosystems and value for communities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 23, pp. 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.012>
- Deneke, R. (2000) Review of rotifers and crustaceans in highly acidic environments of pH values  $\leq 3$ . *Hydrobiologia*, vol. 433, no. 103, pp. 167–172. <https://doi.org/10.1023/A:1004047510602>
- Ejsmont-Karabin, J. (2012) The usefulness of zooplankton as lake ecosystem indicators: Rotifer trophic state index. *Polish Journal of Ecology*, vol. 60, no. 2, pp. 339–350.
- El-Bassat, R. A., Taylor, W. D. (2007) The zooplankton community of Lake Abo Zaabal, a newly-formed mining lake in Cairo, Egypt. *African Journal of Aquatic Sciences*, vol. 32, no. 2, pp. 185–192. <https://doi.org/10.2989/AJAS.2007.32.2.10.207>
- Ferrari, C. R., de Azevedo, H., Wisniewski, M. J. S. et al. (2015) An overview of an acidic uranium mine pit lake (Caldas, Brazil): Composition of the zooplankton community and limnochemical aspects. *Mine Water and the Environment*, vol. 34, no. 3, pp. 343–351. <https://doi.org/10.1007/s10230-015-0333-9>
- Filippova, K. A., Deryagin, V. V. (2005) Chemical hydrology of mine pit lakes of the Bakala geotechnic system (Southern Urals). *Water Resources*, vol. 32, no. 4, pp. 427–433. <https://doi.org/10.1007/s11268-005-0054-8>
- Gammons, C. H., Harris, L. N., Castro, J. M. et al. (2009) Creating lakes from open pit mines: Processes and considerations, with emphasis on northern environments. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 2826, no. 9, 106 p.
- Goździejewska, A. M., Koszałka, J., Tandyrak, R. et al. (2021) Functional responses of zooplankton communities to depth, trophic status, and ion content in mine pit lakes. *Hydrobiologia*, vol. 848, no. 7, pp. 2699–2719. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04590-1>
- Kumar, R. N., McCullough, C. D., Lund, M. A. (2009) Water resources in Australian mine pit lakes. *Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*, vol. 118, no. 3-4, pp. 205–211. <https://doi.org/10.1179/174328610X12682159815028>
- Mondal, S., Palit, D., Hazra, N. (2021) Rotifer diversity in coal mine generated pit lakes of Raniganj Coal Field Area, West Bengal, India. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, vol. 7, no. 2, pp. 115–127. <https://doi.org/10.17216/limnofish.777321>
- Mondal, S., Palit, D., Hazra, N. (2022) Study on composition and spatio-temporal variation of zooplankton community in coal mine generated pit lakes, West Bengal, India. *Tropical Ecology*, vol. 64, no. 9, pp. 352–368. <https://doi.org/10.1007/s42965-022-00274-6>

- Moser, M., Weisse, T. (2011) The most acidified Austrian lake in comparison to a neutralized mining lake. *Limnologica*, vol. 41, no. 4, pp. 303–315.
- Pereira, R., Soares, A. M. V. M., Ribeiro, R., Gonçalves, F. (2002) Assessing the trophic state of Linhos Lake: A first step towards ecological rehabilitation. *Journal of Environmental Management*, vol. 64, no. 3, pp. 285–297. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0521>
- Pociecha, A., Bielańska-Grajner, I., Szarek-Gwiazda, E. et al. (2018) Rotifer diversity in the acidic pyrite mine pit lakes in the Sudety Mountains (Poland). *Mine Water and the Environment*, vol. 37, no. 2, pp. 518–527. <https://doi.org/10.1007/s10230-017-0492-y>
- Ramanchuk, A. I., Makarevich, T. A., Khomitch, S. et al. (2021) Methodological approaches to phytomediation of productive processes in chalk quarry reservoirs of Belarus. *Ecological Indicators*, vol. 129, article 107995. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107995>
- Ruttner-Kolisko, A. (1977) Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers. *Archiv für Hydrobiologie. Beihefte. Ergebnisse der Limnologie*, bd. 8, pp. 71–76.
- Sienkiewicz, E., Gąsiorowski, M. (2018) The influence of acid mine drainage on the phyto- and zooplankton communities in a clay pit lake in the Łuk Mużakowa Geopark (western Poland). *Fundamental and Applied Limnology*, vol. 191, no. 2, pp. 143–154. <https://doi.org/10.1127/fal/2018/1079>
- Skrzypczak, A. R., Napiórkowska-Krzebietke, A. (2020) Identification of hydrochemical and hydrobiological properties of mine waters for use in aquaculture. *Aquaculture Reports*, vol. 18, article 100460. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100460>
- Vucic, J. M., Cohen, R. S., Gray, D. K. et al. (2019) Young gravel-pit lakes along Canada's Dempster Highway: How do they compare with natural lakes? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 51, no. 1, pp. 25–39. <https://doi.org/10.1080/15230430.2019.1565854>
- WoRMS: *World Register of Marine Species* (2024) [Online]. Available at: <http://www.marinespecies.org> (дата обращения 11.02.2024).
- Żurek, R., Diakiv, V., Szarek-Gwiazda, E. et al. (2018) Unique pit lake created in an open-pit potassium salt mine (Dombrowska Pit Lake in Kalush, Ukraine). *Mine Water and the Environment*, vol. 37, no. 3, pp. 456–469. <https://doi.org/10.1007/s10230-018-0527-z>

## References

- Abramova, V. A. (2018) Gidrokimiya kar'ernykh vod Zavitsinskogo mestorozhdeniya redkikh metallov (Zabajkal'skij kraj) [Geochemistry of quarry water of rare metals at Zavitsinskoe deposit (Transbaikalian region)]. *Aspirant. Prilozhenie k zhurnalu "Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta" — Postgraduate Student. Appendix to the journal Bulletin of the Trans-Baikalian State University*, vol. 12, no. 2, pp. 3–7. (In Russian)
- Abramova, V. A., Afonina, E. Yu., Kuklin, A. P., Borzenko, S. V. (2023) Hydrogeochemistry and hydrobiology of technogenic reservoirs of mining territories of Eastern Transbaikalia. *E3S Web Conference. VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023)*, vol. 411, article 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341101027> (In English)
- Abramova, V. A., Zamana, L. V. (2023) Redkozemel'nye elementy v vodakh geotekhnogennykh ob'ektov redkometal'nykh mestorozhdenij Vostochnogo Zabajkal'ya [Rare-earth elements in the waters of geotechnogenic objects of rare metal deposits of Eastern Transbaikalia]. *Geosfernye issledovaniya — Geosphere Research*, no. 3, pp. 86–97. (In Russian)
- Afonina, E. Yu. (2022) Vidovoe raznoobrazie zooplanktona tekhnogennykh vodoemov Yugo-Vostochnogo Zabajkal'ya [Zooplankton species diversity in technogenic reservoirs of the Southeastern Transbaikalia]. *Amurskij zoologicheskij zhurnal — Amurian Zoological Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 299–311. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2022-14-2-299-311> (In Russian)
- Afonina, E. Yu., Tashlykova, N. A., Zamana, L. V. et al. (2022) The hydrochemistry and hydrobiology of technogenic reservoirs at mining territories of the Southeastern Transbaikalian region. *Arid Ecosystems*, vol. 12, no. 4, pp. 505–515. <https://www.doi.org/10.1134/S2079096122040023> (In English)
- Andronikova, I. N. (1996) *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types]*. Saint Petersburg: Nauka Publ., 189 p. (In Russian)
- Bakanov, A. I. (1997) *Ispol'zovanie kharakteristik raznoobraziya zoobentosa dlya monitoringa sostoyaniya presnovodnykh ekosistem. Monitoring bioraznoobraziya [Using the characteristics of zoobenthos diversity to monitor the state of freshwater ecosystems. Monitoring of biodiversity]*. Moscow: IEE RAS Publ., pp. 278–282. (In Russian)

- Balushkina, E. B., Vinberg, G. G. (1979) Zavisimost' mezhdu massoj i dlinoj tela u planktonnykh zivotnykh [The relationship between body weight and length in planktonic animals]. In: G. G. Vinberg (ed.). *Obshchie osnovy izucheniya vodnykh ekosistem [General principles of study of aquatic ecosystems]*. Leningrad: Nauka Publ., pp. 169–172. (In Russian)
- Blanchette, M. L., Lund, M. A. (2016) Pit lakes are a global legacy of mining: An integrated approach to achieving sustainable ecosystems and value for communities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 23, pp. 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.012> (In English)
- Borutsky, E. V., Stepanova, L. A., Kos, M. S. (1991) *Opredelitel' Calanoida presnykh vod SSSR [Freshwater Calanoida of the USSR: An identification guide]*. Leningrad: Nauka Publ., 504 p. (In Russian)
- Chechel, L. P. (2020) *Formirovanie gidrogeokhimicheskikh polej vol'framovykh mestorozhdenij Vostochnogo Zabajkal'ya pod vliyaniem prirodnykh i antropogennykh faktorov [Formation of hydrogeochemical fields of tungsten-ore areas in Eastern Transbaikalia under the influence of natural and anthropogenic factors]*. PhD dissertation (Geology). Chita, National Research Tomsk Polytechnic University, 180 p. (In Russian)
- Deneke, R. (2000) Review of rotifers and crustaceans in highly acidic environments of pH values  $\leq 3$ . *Hydrobiologia*, vol. 433, no. 103, pp. 167–172. <https://doi.org/10.1023/A:1004047510602> (In English)
- Ejsmont-Karabin, J. (2012). The usefulness of zooplankton as lake ecosystem indicators: Rotifer trophic state index. *Polish Journal of Ecology*, vol. 60, no. 2, pp. 339–350. (In English)
- El-Bassat, R. A., Taylor, W. D. (2007) The zooplankton community of Lake Abo Zaabal, a newly-formed mining lake in Cairo, Egypt. *African Journal of Aquatic Sciences*, vol. 32, no. 2, pp. 185–192. <https://doi.org/10.2989/AJAS.2007.32.2.10.207> (In English)
- Emlin, E. F. (1991) *Tekhnogenez kolchedannykh mestorozhdenij Urala [Technogenesis of pyrite deposits of the Urals]*. Sverdlovsk: Ural University Press, 256 p. (In Russian)
- Fedorov, V. D., Gilmanov, T. G. (1980) *Ekologiya [Ecology]*. Moscow: Moscow University Press, 464 p. (In Russian)
- Ferrari, C. R., de Azevedo, H., Wisniewski, M. J. S. et al. (2015) An overview of an acidic uranium mine pit lake (Caldas, Brazil): Composition of the zooplankton community and limnochemical aspects. *Mine Water and the Environment*, vol. 34, no. 3, pp. 343–351. <https://doi.org/10.1007/s10230-015-0333-9> (In English)
- Filippova, K. A., Deryagin, V. V. (2005) Chemical hydrology of mine pit lakes of the Bakala geotechnic system (Southern Urals). *Water Resources*, vol. 32, no. 4, pp. 427–433. <https://doi.org/10.1007/s11268-005-0054-8> (In English)
- Gammons, C. H., Harris, L. N., Castro, J. M. et al. (2009) Creating lakes from open pit mines: Processes and considerations, with emphasis on northern environments. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 2826, no. 9, 106 p. (In English)
- Gorash, Yu. Yu. (2004) Razvitie zolotodobychi na Darasunskom rudnike [Expansion of gold mining at the Darasunskiy mine]. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten' — Mining Informational and Analytical Bulletin*, no. 11, pp. 154–156. (In Russian)
- Goździejewska, A. M., Koszałka, J., Tandyrak, R. et al. (2021) Functional responses of zooplankton communities to depth, trophic status, and ion content in mine pit lakes. *Hydrobiologia*, vol. 848, no. 7, pp. 2699–2719. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04590-1> (In English)
- Kalinkina, N. M. (2003) *Ekologicheskie faktory formirovaniya tolerantnosti planktonnykh rakoobraznykh k mineral'nomu zagryazneniyu (na primere vodoemov severnoj Karelii) [Ecological factors of formation of planktonic crustaceans tolerance to mineral pollution (by the example of Karelian waterbodies)]*. Extended abstract of PhD dissertation (Biology). Petrozavodsk, Petrozavodsk State University, 48 p. (In Russian)
- Khomich, S. A. (1986) Kar'ernye vodoemy kak limnicheskie sistemy [Quarry reservoirs as limnetic systems]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya — Vestnik of the Belarusian State University. Series 2. Chemistry. Biology. Geography*, no. 1, pp. 73–74. (In Russian)
- Kiselev, I. A. (1969) *Plankton morej i kontinental'nykh vodoemov. T. 1. Vvodnye i obshchie voprosy planktologii [Plankton of the seas and continental waters. Vol. 1. Introduction and general issues of planktology]*. Leningrad: Nauka Publ., 658 p. (In Russian)
- Korol'kov, A. T. (2016) Monatsitovaya problema goroda Baleyа [Monazite problem of the city of Baleyа]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenij — Proceedings of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits*, no. 1 (54), pp. 96–103. (In Russian)
- Korovchinsky, N. M., Kotov, A. A., Sinev, A. Yu. et al. (2021) *Vetvistousye rakoobraznye (Crustacea: Cladocera) Severnoj Evrazii [Water fleas (Crustacea: Cladocera) of North Eurasia. Vol. 2]*. Moscow: KMK Scientific Press, 544 p. (In Russian)

- Kumar, R. N., McCullough, C. D., Lund, M. A. (2009) Water resources in Australian mine pit lakes. *Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*, vol. 118, no. 3-4, pp. 205–211. <https://doi.org/10.1179/174328610X12682159815028> (In English)
- Kutikova, L. A. (1970) *Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria). Podklass Eurotatoria (otryady Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida) [Rotifers of the fauna of USSR (Rotatoria). Eurotatoria (Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida)]*. Leningrad: Nauka Publ., 744 p. (In Russian)
- Kutikova, L. A. (2005) *Bdelloidnye kolovratki fauny Rossii [The bdelloid rotifers of the fauna of Russia]*. Moscow: KMK Scientific Press, 320 p. (In Russian)
- Magurran, A. E. (1992) *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie [Ecological diversity and its measurement]*. Moscow: Mir Publ., 184 p. (In Russian)
- Mondal, S., Palit, D., Hazra, N. (2021) Rotifer diversity in coal mine generated pit lakes of Raniganj Coal Field Area, West Bengal, India. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, vol. 7, no. 2, pp. 115–127. <https://doi.org/10.17216/limnofish.777321>
- Mondal, S., Palit, D., Hazra, N. (2022) Study on composition and spatio-temporal variation of zooplankton community in coal mine generated pit lakes, West Bengal, India. *Tropical Ecology*, vol. 64, no. 9, pp. 352–368. <https://doi.org/10.1007/s42965-022-00274-6> (In English)
- Moser, M., Weisse, T. (2011) The most acidified Austrian lake in comparison to a neutralized mining lake. *Limnologica*, vol. 41, no. 4, pp. 303–315. (In English)
- Pereira, R., Soares, A. M. V. M., Ribeiro, R., Gonçalves, F. (2002) Assessing the trophic state of Linhos Lake: A first step towards ecological rehabilitation. *Journal of Environmental Management*, vol. 64, no. 3, pp. 285–297. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0521> (In English)
- Plokhinskiy, N. A. (1961) *Biometriya [Biometrics]*. Novosibirsk: Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 364 p. (In Russian)
- Pociecha, A., Bielańska-Grajner, I., Szarek-Gwiazda, E. E. et al. (2018) Rotifer diversity in the acidic pyrite mine pit lakes in the Sudety Mountains (Poland). *Mine Water and the Environment*, vol. 37, no. 2, pp. 518–527. <https://doi.org/10.1007/s10230-017-0492-y> (In English)
- Ramanchuk, A. I., Makarevich, T. A., Khomitch, S. et al. (2021) Methodological approaches to phytomediation of productive processes in chalk quarry reservoirs of Belarus. *Ecological Indicators*, vol. 129, article 107995. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107995> (In English)
- Romanov, R. E., Ermolaeva, N. I., Bortnikova, S. B. (2011) Otsenka vliyaniya tyazhelykh metallov na plankton v tekhnogennom vodoeme [Evaluation of the effect of heavy metals on the plankton in the technogenic water reservoir]. *Khimiya v interesakh ustojchivogo razvitiya — Chemistry for Sustainable Development*, vol. 19, no. 3, pp. 305–312. (In Russian)
- Ruttner-Kolisko, A. (1977) Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers. *Archiv für Hydrobiologie. Beihefte. Ergebnisse der Limnologie*, bd. 8, pp. 71–76. (In English)
- Sienkiewicz, E., Gąsiorowski, M. (2018) The influence of acid mine drainage on the phyto- and zooplankton communities in a clay pit lake in the Łuk Mużakowa Geopark (Western Poland). *Fundamental and Applied Limnology*, vol. 191, no. 2, pp. 143–154. <https://doi.org/10.1127/fal/2018/1079> (In English)
- Skrzypczak, A. R., Napiórkowska-Krzebietke, A. (2020) Identification of hydrochemical and hydrobiological properties of mine waters for use in aquaculture. *Aquaculture Reports*, vol. 18, article 100460. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100460> (In English)
- Smirnov, N. N. (1971) *Fauna USSR. Rakoobraznye. T. 1. Vyp. 2. Chydoridae fauny mira [Fauna of the USSR. Invertebrates. Vol. 1. Iss. 2. Chydoridae of the world fauna]*. Leningrad: Nauka Publ., 533 p. (In Russian)
- Solodukhina, M. A., Pomazkova, N. V. (2014) Landshafty Sherlovogorskogo rudnogo rajona Zabajkal'skogo kraja [Landscapes of Sherlovogorskaya ore district of the Zabaikalsk region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, no. 9, pp. 70–78. (In Russian)
- Tashlykova, N. A., Afonina, E. Yu., Zamana, L. V. et al. (2023) Tekhnogennyye vodoemy (Zabaykal'skiy kraj): ekologicheskie osobennosti [Mining water bodies (Transbaikal region): Environmental features]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, no. 8, pp. 66–75. <https://www.doi.org/10.17513/use.38090> (In Russian)
- Tsalolikhin, S. Ya. (ed.). (1995) *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorij. T. 2. Rakoobraznye [Key to freshwater invertebrates in Russia and adjacent territories. Vol. 2. Crustaceans]*. Saint Petersburg: Nauka Publ., pp. 34–128. (In Russian)
- Vucic, J. M., Cohen, R., S., Gray, D. K. et al. (2019) Young gravel-pit lakes along Canada's Dempster Highway: How do they compare with natural lakes? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 51, no. 1, pp. 25–39. <https://doi.org/10.1080/15230430.2019.1565854> (In English)
- WoRMS: *World Register of Marine Species* (2024) [Online]. Available at: <http://www.marinespecies.org> (дата обращения 11.02.2024). (In English)

- Zamana, L. V., Usmanov, M. T. (2009) Ekologo-gidrogeokhimicheskaya kharakteristika vodnykh ob'ektov zolotopromyshlennykh razrabotok Balejsko-Taseevskogo rudnogo polya (Vostochnoe Zabajkal'e) [Ecological and hydrogeochemical characteristics of water bodies of gold mining developments of the Baleisko-Taseevsky ore field (Eastern Transbaikalia)]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenij* — *Proceedings of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits*, no. 1 (34), pp. 106–111. (In Russian)
- Žurek, R., Diakiv, V., Szarek-Gwiazda, E. et al. (2018) Unique pit lake created in an opencast potassium salt mine (Dombrovska Pit Lake in Kalush, Ukraine). *Mine Water and the Environment*, vol. 37, no. 3, pp. 456–469. <https://doi.org/10.1007/s10230-018-0527-z> (In English)

**Для цитирования:** Афонина, Е. Ю. (2024) Сообщества зоопланктона геотехногенных водоемов. *Амурский зоологический журнал*, т. XVI, № 3, с. 556–578. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-3-556-578>  
**Получена** 29 февраля 2024; прошла рецензирование 19 апреля 2024; принята 23 апреля 2024.

**For citation:** Afonina, E. Yu. (2024) Zooplankton communities in geotechnogenic water bodies. *Amurian Zoological Journal*, vol. XVI, no. 3, pp. 556–578. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-3-556-578>

**Received** 29 February 2024; reviewed 19 April 2024; accepted 23 April 2024.