

## ТЕХНОГЕННЫЕ ВОДОЕМЫ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ): ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю., Замана Л.В.,  
Абрамова В.А., Таскина Л.В., Куклин А.П.

*ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии»*

*Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, e-mail: NatTash2005@yandex.ru*

В Восточном Забайкалье за последние несколько десятков лет при разработке месторождений полезных ископаемых сформировалось достаточное количество разнообразных озерных образований. В зависимости от минералого-геохимических особенностей добываемого сырья эти новообразованные системы отличаются широким спектром физико-химических характеристик водной среды. Большинство водоемов находятся под влиянием высоких концентраций растворенных ионов (до 2618 мг/л) и имеют широкий диапазон значений pH (3,14–9,42). В статье охарактеризованы морфометрические параметры водоемов, химический состав вод, видовое разнообразие и структура сообществ фито- и зоопланктона карьерных озер Балейского золоторудного узла (Балейский, Новотроицкий и Тасеевский карьеры), Завитинского литий-бериллиевого и Жипкошинского сурьмяного месторождений. Водоросли и беспозвоночные этих водных систем изучены впервые. Планктон отличался низким видовым разнообразием – 51 таксон водорослей и 42 вида беспозвоночных. По географическому распространению в фито- и зоопланктоне доминируют космополиты, по местообитанию – планктонно-бентосные и планктонные виды водорослей и эврибонтные виды беспозвоночных. Численность и биомасса водорослей варьировали в пределах 4,8–22535,32 тыс. кл./л и 8,57–1565,52 мг/м<sup>3</sup> соответственно, беспозвоночных – 13,19–542,63 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 6,54–1992,60 мг/м<sup>3</sup>. Доминирующий комплекс сообществ фитопланктона обследованных водоемов носил цианобактериально-диатомовый характер с некоторой долей участия зеленых водорослей, зоопланктон слагался преимущественно мелкоразмерными формами – коловратками и младшевозрастными стадиями копепоид.

**Ключевые слова:** Юго-Восточное Забайкалье, месторождение, техногенные водоемы, химический состав вод, фитопланктон, зоопланктон

## MINING WATER BODIES (TRANSBAIKAL REGION): ENVIRONMENTAL FEATURES

Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Zamana L.V.,  
Abramova V.A., Taskina L.V., Kuklin A.P.

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: NatTash2005@yadex.ru*

In Eastern Transbaikalia over the past few decades, during the development of mineral deposits, a sufficient number of various lake formations have formed. Depending on the mineralogical and geochemical characteristics of the extracted raw materials, these newly formed systems are distinguished by a wide range of physicochemical characteristics of the aquatic environment. Most water bodies are under the influence of high concentrations of dissolved ions (up to 2618 mg/l) and have a wide range of pH values (3,14–9,42). The article describes the morphometric parameters of water bodies, the chemical composition of waters, species diversity and the structure of phyto- and zooplankton communities in quarry lakes of the Baleisky gold ore cluster (Baleisky, Novotroitsky and Taseevsky quarries), Zavitinsky lithium-beryllium and Zhipkoshinsky antimony deposits. The algae and invertebrates of these water systems have been studied for the first time. Plankton was characterized by low species diversity – 51 taxa of algae and 42 species of invertebrates. In terms of geographic distribution, phyto- and zooplankton are dominated by cosmopolitans; in terms of habitat, planktonic-benthic and planktonic species of algae and eurybiont species of invertebrates dominate. The number and biomass of algae varied within 4.8–22535.32 thousand cells/l and 8.57–1565.52 mg/m<sup>3</sup> .54–1992.60 mg/m<sup>3</sup>. The dominant complex of phytoplankton communities in the surveyed water bodies was cyanobacterial-diatom in nature with some participation of green algae; zooplankton was composed mainly of small-sized forms – rotifers and young stages of copepods.

**Keywords:** South-Eastern Transbaikalia, deposit, technogenic reservoirs, chemical composition of waters, phytoplankton, zooplankton

Забайкальский край – старейший горно-рудный регион России. Активная добыча полезных ископаемых велась в прошлом столетии и на некоторых объектах продолжается до настоящего времени [1, с. 147–225].

Длительная масштабная горнопромышленная деятельность приводит к значительным по площади и характеру преобразова-

ниям природных ландшафтов. Образуются техногенные формы рельефа – рудные карьеры, хвостохранилища, отвалы вскрышных и вмещающих пород, котлованы, выемки рудоносных песков, илоотстойники, дражные отвалы [2]. После открытой разработки рудных месторождений формируются водоемы, которые принято называть

«карьерными озерами», которые в зависимости от особенностей добываемого сырья отличаются широким спектром физико-химических характеристик водной среды [3].

Актуальность оценки состояния и перспектив развития новообразованных водных систем определяется прогрессирующим увеличением добычи полезных ископаемых открытым способом. Обводненные карьеры обладают принципиальным сходством гидрохимических, биопродукционных, седиментационных процессов с естественными лимническими системами, а также характеризуются рядом специфических черт, обусловленных техногенной природой и молодостью котловины [4]. Однако биологическая составляющая аквальных систем такого типа изучена слабо. В ряде работ представлены данные по некоторым группам гидробионтов: бактерии [5, 6], фитопланктон [7–9], зоопланктон [10–12] и пр.

Целью настоящей работы является изучение химического состава техногенных

вод и основных характеристик планктонных сообществ.

#### Материалы и методы исследования

Основными объектами опробования в августе 2022 г. были карьерные озера Балейского рудного узла (Балейский, Новотроицкий и Тасеевский карьеры) Завитинского и Жипкошинского месторождений (рис. 1).

Балейско-Тасеевское рудное поле включает два золоторудных месторождения – Балейское и Тасеевское. *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 [13]. Балейский карьер имеет размеры около 1 км в длину и глубину более 133 м. Основными источниками водного питания являются подземные и инфильтрационные воды р. Унда. В карьер сбрасываются также городские сточные воды [2].

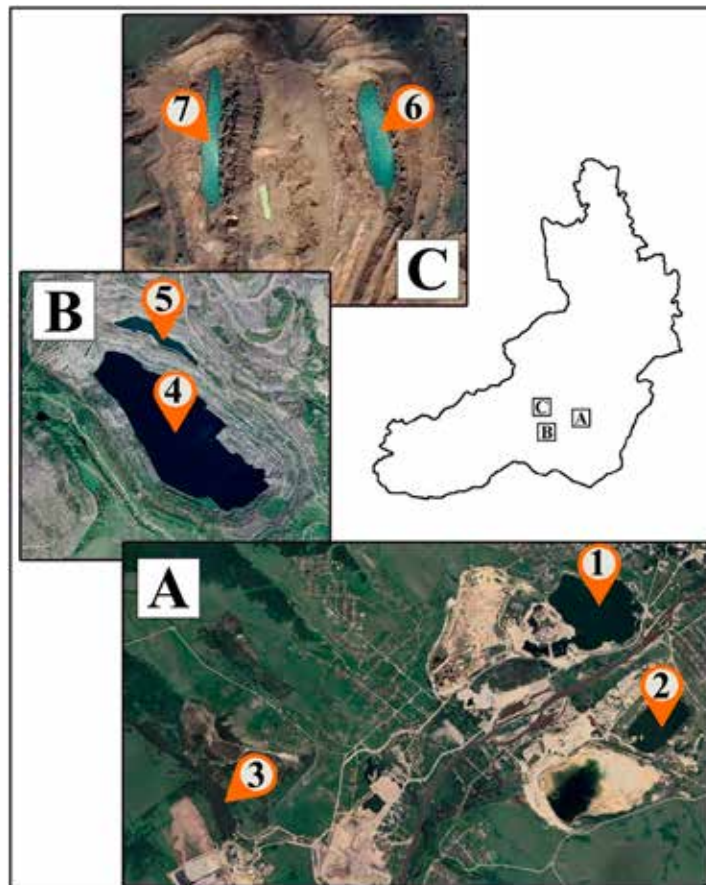


Рис. 1. Карта-схема основных пунктов опробования:  
 А – Балейский рудный узел, В – Завитинское месторождение, С – Жипкошинское месторождение;  
 Карьеры: 1 – Балейский, 2 – Тасеевский, 3 – Новотроицкий, 4 – Завитинский нижний,  
 5 – Завитинский верхний, 6 – Жипкошинский верхний, 7 – Жипкошинский нижний

*Тасеевское месторождение* разрабатывалось с 1948 по 1994 г. подземным и открытым способами. С 1994 г. Тасеевский карьер и все подземные горные выработки находятся в обводненном состоянии [14]. *Новотроицкое месторождение ториеносных монацитсодержащих песков* обрабатывалось с 1949 по 1964 г. Новотроицкий карьер в настоящее время затоплен [15].

Добыча руды на *Завитинском бериллий-литиевом месторождении* велась открытым способом. В 1997 г. рудник был закрыт. В настоящее время в контурах месторождения расположены отвалы вскрышных пород и два карьерных озера, которые используются местным населением п. Первомайский для отдыха и рыбной ловли [16].

*Жипкошинское месторождение* открыто в 1955 г. Площадь Жипкошинского карьера менее 0,001 км<sup>2</sup> [9].

Химико-аналитические исследования проб воды на макрокомпоненты и некоторые микроэлементы проведены в аттестованной лаборатории ИПРЭК СО РАН (г. Чита). Анализы водных проб методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП) выполнены в аналитическом центре Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск). Электропроводность, температура, pH и Eh измерялись на месте опробования.

Сбор и анализ проб фито- и зоопланктона проводились с использованием стандартных методик [17, с. 47–58, 67–71, 18, с. 140–411]. Пробы фитопланктона отбирались из одного-трех горизонтов (приповерхностный, глубина прозрачности, придонный), пробы зоопланктона – тотально (дно – поверхность) средней сетью Джели (размер ячеек сита 0,064 мм) и процеживанием 100 л воды (интегральная проба) через сеть (ячейка 0,073 мм).

Всего было отобрано 30 водных и 38 планктонных проб.

Математическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010, STATISTICA 10 и Origin 2021. Корреляционная карта (*correlation heat map*) сгенерирована с использованием Origin 2021.

### Результаты исследования и их обсуждение

Основные морфометрические и физико-химические характеристики карьерных озер приведены в табл. 1.

Площадь изученных карьерных озер варьировала в широких пределах. Наимень-

шими являются карьеры Жипкошинского месторождения (0,2–2,64 км<sup>2</sup>), наибольшими – Балецкий (732257 м<sup>2</sup>) и Завитинский нижний (434479 м<sup>2</sup>) карьеры.

Максимальные глубины изменялись от 2 (Жипкошинский карьер (нижний)) до 133 м (Балецкий карьер). Прозрачность воды варьировала от 0,5 до 6,5–7 м. Наибольшие значения отмечены в Балецком и Завитинском (нижнем) карьерах. Поверхностный слой воды в карьерных озерах прогревался до 13,2–21,0 °С. Воды карьерных озер по величине pH варьировали от кислых (3,14–3,27, Тасеевский карьер) до щелочных (9,42, Новотроицкий карьер). Значения Eh находились в интервале от 121 (Завитинский (нижний) и Новотроицкий карьеры) до 600 мВ (Тасеевский карьер). По сумме ионов наиболее минерализованными были воды Тасеевского (2606–2618 мг/л) и Завитинского (1404–1593 мг/л) карьеров, наименее – воды Новотроицкого (75,7 мг/л). По анионному составу воды карьерных озер сульфатные, реже – гидрокарбонатно-сульфатные. В катионном составе преобладали Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> в переменных соотношениях.

Фитопланктон карьеров представлен 51 таксоном водорослей рангом ниже рода, из 7 отделов – Cyanobacteria (8), Chrysophyta (2), Bacillariophyta (17), Dinophyta (3), Chlorophyta (13), Charophyta (4) и Euglenophyta (4). Наиболее разнообразными были диатомовые и зеленые водоросли, а также цианобактерии (33,3; 25 и 16,7% соответственно). Максимальное богатство водорослей наблюдалось в Балецком озере (до 30 таксонов); минимальное (0–7) – в Тасеевском. Распределение видовой насыщенности фитопланктона, оцененной значениями удельного видового богатства, показало, что воды обследованных техногенных водоемов мало разнообразны в таксономическом отношении (11±7 таксонов в пробе).

Анализируя соотношение отделов водорослей в обследованных водоемах, можно отметить преобладание отделов Chlorophyta и Bacillariophyta в Завитинском и Новотроицком карьерах. Cyanobacteria, Chlorophyta и Bacillariophyta имели наибольший вес в Балецком карьере, а представители Bacillariophyta преобладали в Жипкошинском и Тасеевском карьерах. Доминирующий комплекс фитопланктона водоемов отличался. Преимущественно он носил цианобактериально-диатомовый характер с некоторой долей участия зеленых водорослей.

Таблица 1

Физико-химические параметры (min-max) техногенных вод горнопромышленных объектов рудных месторождений Восточного Забайкалья

Название станции	Балейский золоторудный узел				Жипкошинское сурьмяное месторождение		Завитинское литий-бериллиевое месторождение	
	Новотроицкий моноцитовый карьер	Тасевский карьер	Балейский карьер	Жипкошинский карьер верхний	Жипкошинский карьер нижний	Завитинский карьер верхний	Завитинский карьер нижний	
Координаты станции	N 51°32.824" E 116°34.940"	N 51°33.491" E 116°39.126"	N 51°34.204" E 116°38.504"	N 51°36.115" E 115°15.365"	N 51°36.489" E 115°15.227"	N 50°41.127" E 115°36.701"	N 50°40.649" E 115°37.069"	
Alt	636	571,8–575	560–1298	847		665	605	
S	126269	281136	732257	2283	2034	29816	434479	
H	10,1	72	133	6,5	2	11,3	33,0	
TR	0,5	5	6,5	4,5	2	6	7	
T	13,2	18–18,6	17,6–19,6	18,4–19,5	18,1–19,9	18,2–21	21,0	
pH	9,42	3,14–3,27	7,55–8,16	8,4–8,59	8,44–8,46	6,68–7,32	8,24	
Еh	138	539–600	159–196	279–338	261–315	231–281	121	
∑ионов	75,7	2606–2618	771–792	213–217	262–265	1404–1593	1238	
CO <sub>2</sub>	9,58	–	7,95–8,13	3,68–4,16	4,36–4,84	6,39–8,62	3,87	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	51,7	–	104–109	78,6–78,8	103–103,2	27,1–28,3	114,5	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,7	1964–1996	412–430	75,5–77,3	80–95,2	952–1121	740,2	
Cl <sup>-</sup>	0,8	10,1–10,7	29,4–29,5	0,69	0,3–0,69	14,5–14,6	31,6	
F <sup>-</sup>	0,29	2,15–2,2	0,4–0,41	0,27–0,28	0,37–0,38	1,25–1,3	0,53	
Ca <sup>2+</sup>	10,1	225–233	138–145	39,9–42,9	45,5–53,8	293–310,4	244,9	
Mg <sup>2+</sup>	2,82	217–220	56,4–57,5	6,68–7,06	11,6–13,6	78,8–81	60	
Na <sup>+</sup>	1,49	101–111	15,8–16,5	6,36–6,38	5,32–6,18	22,9–23,7	32,3	
K <sup>+</sup>	0,69	5,15–5,16	6,37–6,39	2,17–2,31	3,02–3,49	13–13,3	11,3	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,52	0,47–0,51	2,68–3,31	1,99–2,03	0,64–0,83	0,43–0,68	2,51	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,052	< 0,003	0,044–0,057	0,03–0,08	0,01–0,1	0,03	0,05	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,12	5,92–6,91	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1–0,17	< 0,1	
Si	5,7	10,2–10,3	0,5–0,73	9,79–9,93	8,34–8,56	7,03–7,17	1,16	
P	0,063	0,27	0,025–0,027	0,25	0,28–0,31	0,03–0,05	0,02	

Примечание: Alt – абсолютная высота (в м); S – площадь (по космоснимку, в м<sup>2</sup>); H – глубина (в м); TR – прозрачность (в м); T – температура (в °C); Еh – окислительно-восстановительный потенциал (мВ); ∑ионов – сумма ионов (в мг/л); CO<sub>2</sub> – концентрация углекислого газа (в мг/л); концентрация (в мг/л) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – гидрокарбонат-ионов; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – сульфат-ионов; Cl<sup>-</sup> – хлорид-ионов; F<sup>-</sup> – фторид-ионов; Ca<sup>2+</sup> – ионов кальция; Mg<sup>2+</sup> – ионов магния; Na<sup>+</sup> – ионов натрия; K<sup>+</sup> – ионов калия; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – нитрат-ионов; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – нитрит-ионов; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – ионов аммония; Si – кремний; P – фосфор; «-» – данные отсутствуют.

Подавляющее число выявленных видов являются космополитами с широкой экологической валентностью (96%). По биотопической приуроченности преобладают факультативно-планктонные и типично планктонные формы – 82% общего числа видов. Флора планктона карьерных озер представлена в основном пресноводными видами – индифферентами – более 60% – и пресноводно-соленоводными видами – галофилами – 33,3%. Анализ распределения водорослей в зависимости от активной реакции показал, что большинство водорослей обследованных водоемов – это алкалофилы (90%).

Количественное развитие водорослей в карьерных озерах варьировало в широком диапазоне (табл. 2).

Численность водорослей изменялась от 4,8 (Жипкошинский верхний) до 22535,52 тыс. кл./л (Новотроицкий), биомасса – от 8,57 (Жипкошинский верхний) до 1565,52 мг/м<sup>3</sup> (Завитинский нижний).

Индекс Шеннона изменялся от 0,49 до 3,12 бит, индекс Пилоу – от 0,20 до 0,87, индекс доминирования – от 0,12 до 0,86 (табл. 2). Полученные высокие значения индексов видового разнообразия, полученные для Балейского карьера, указывают на сложность структуры и высокое разнообразие фитопланктонного сообщества, а также подтверждают полидоминантность доминирующего комплекса фитопланктона. Для остальных карьеров характерны монодоминантные сообщества водорослей с низким видовым разнообразием.

Настоящие результаты подтверждают выводы других исследований [6, 9] о том, что видовое богатство водорослей в неагрессивных и нейтрально-слабощелочных водах значительно выше, чем в водоемах с низким значением pH. Уровень развития водорослей также сравнительно выше в водоемах техногенной природы, которые схожи с естественными лимническими системами.

Зоопланктон техногенных водоемов характеризовался невысоким видовым богатством. Всего отмечено 42 таксона рангом ниже рода, из них 18 видов Rotifera, 14 – Cladocera и 10 – Copepoda. Общее количество таксонов изменялось от 5 (Тасеевский карьер) до 17 (Новотроицкий карьер). Виды имели преимущественно широкое распространение (космополиты – 59%, голаркты – 24%, палеаркты – 17%). По приуроченности к местообитанию, в составе зоопланктона преобладали эврибионтные виды (45%). На втором месте – истинно планктонные

виды (19%), на третьем – виды, приуроченные к литоральной зоне (16%). Доля фитофильных и бентических представителей составляла соответственно 13 и 7%.

Интересной находкой является коловратка *Brachionus sericus*, обитающая в массе в Тасеевском карьере. Вид является типичным ацидобионтом, широко распространенным в сильноокислых водоемах Европы, Америки (Deneke, 2000). В кислых водах Шерловогорского карьера виды зоопланктона не встречались [9].

Количественные показатели беспозвоночных были низкими и изменялись от 13,19 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 6,54 мг/м<sup>3</sup> (Новотроицкий карьер) до 542,63 тыс. экз./м<sup>3</sup> (Жипкошинский нижний карьер) и 1992,60 мг/м<sup>3</sup> (Балейский карьер) (табл. 2).

Показатели индексов разнообразия ( $H_n$ ,  $I_d$ ,  $e$ ) варьировали в широком диапазоне: от 0,07 до 3,13 бит, от 0,18 до 0,98, от 0,03 до 0,98 соответственно. По условному разделению значений индексов водоемы классифицировались от олиго-мезотрофного типа с высоким видовым разнообразием и выравненностью сообщества зоопланктона (водоемы Балейского месторождения) до характеристик, указывающих на экстремальные экологические условия (водоемы Тасеевского и Жипкошинского месторождений).

Корреляционные тепловые карты (рис. 2), построенные для карьерных озер, определили факторы, влияющие на развитие планктонных сообществ.

Для планктона Балейского озера корреляционным анализом выявлена сильная теснота связи (-0,9998–0,9992,  $p < 0,05$ ) обилия всех групп водорослей с глубиной, прозрачностью, температурой, pH, Eh, с содержанием  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ . Для зоопланктона установлена тесная взаимосвязь содержания ионов  $Mg^{2+}$  и  $Na^+$  с численными характеристиками коловраток и содержания ионов  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ , P с биомассой кладоцер.

В Новотроицком карьере отмечена тесная достоверная отрицательная корреляция pH с численностью коловраток (-0,9506,  $p < 0,049$ ) и достоверная положительная связь с  $H_n$  (0,9695,  $p < 0,030$ ). Других достоверных корреляций не отмечено.

В Тасеевском карьере выявлена отрицательная корреляционная зависимость в диапазоне от -0,9950 до -0,9948 ( $p < 0,05$ ) численности диатомовых и эвгленовых водорослей с P,  $K^+$  и  $NO_3^-$ . Численность зоопланктона достоверно ( $p < 0,05$ ) отрицательно коррелировала с температурой (-0,9789),  $NO_3^-$  (-0,9859) и положительно – с  $NH_4^{+}$  (0,9937) и  $SO_4^{2-}$  (0,9926).

Таблица 2

Показатели структуры (N – численность, B – биомасса) и разнообразия (H<sub>n</sub> – индекс Шеннона, I<sub>d</sub> – индекс доминирования, e – индекс Пielou) планктона техногенных водоемов в августе 2022 г.

Название станции	Фитопланктон									
	Новотроицкий карьер	Тасевский карьер	Балейский карьер	Жипкошинский верхний карьер	Жипкошинский нижний карьер	Завитинский верхний карьер	Завитинский нижний карьер			
N, тыс. кл./л	1277,90–22535,52	0–37,34	643,00–929,88	4,8–36,12	0,62–16,1	52,44–195,92	384,56–589,10			
B, мг/м <sup>3</sup>	309,37–1215,27	0–27,68	183,75–674,56	8,57–18,67	0,124–13,78	99,90–127,17	324,82–1565,52			
N	Cyanobacteria	1161,52–22052,16	0	517,20–699,22	0	0	0			
	Chrysoophyta	1,38–18,24	0	0	0	1,84–3,72	0			
	Bacillariophyta	112,7–465,12	0–32,63	10,25–63,08	0–1,68	0,62–16,1	20,24–186,00	376,68–573,62		
	Dinophyta	0	0	1,36–4,56	0	0	3,72–14,72	3,51–19,44		
	Chlorophyta	0–0,46	0	110,16–159,22	4,8–34,44	0	2,48–15,64	1,72–6,84		
	Charophyta	0–1,84	0	3,040–4,08	0	0–0,84	0	0		
B	Euglenophyta	0	0–4,71	0–0,76	0	0	0–0,87			
	Cyanobacteria	223,14–749,64	0	25,04–48,77	0	0–0,02	0			
	Chrysoophyta	0,83–10,94	0	0	0	0	2,39–3,49			
	Bacillariophyta	84,24–454,69	0–27,25	78,67–493,11	0–0,34	0,124–13,78	13,2–65,28	214,71–989,00		
Доминирующие виды	Dinophyta	0	0	43,52–140,22	0	0	29,76–110,40			
	Chlorophyta	0–0,5	0	10,3415,16	8,57–18,33	0	1,18–1,37			
	Charophyta	0–1,11	0	0–2,45	0	0–0,76	0			
	Euglenophyta	0	0–0,43	0–0,04	0	0	0			
Доминирующие виды										
H <sub>n</sub> , бит	0,49–1,69	2,2	1,98–2,76	0,59	1,92–3,12	Fc, Fr, Psp	Fc, Nsp			
I <sub>d</sub>	0,39–0,86	0,9	0,23–0,32	0,83	0,12–0,28	0,74–2,67	0,49–1,09			
e	0,35–0,53	0,2	0,79–0,87	0,42	0,35–0,38	0,19–0,80	0,44–0,85			
						0,38–0,79	0,35–0,64			

Окончание табл. 2

Название станции	Новотроицкий карьер	Тасевский карьер	Балейский карьер	Зоопланктон			Завитинский верхний карьер	Завитинский нижний карьер
				Жипкошинский верхний карьер	Жипкошинский нижний карьер	Завитинский верхний карьер		
N, тыс. экз./м <sup>3</sup>	13,19–76,61	26,68–47,39	42,81–74,54	131,10–182,57	146,21–542,63	14,62–21,71	17,53–22,14	
B, мг/м <sup>3</sup>	6,54–161,29	15,18–69,32	272,33–1992,60	191,79–1101,25	324,63–880,54	26,05–93,98	54,52–176,96	
N	Rotifera	11,99–72,28	18,33–38,27	128,1–176,66	144,50–539,60	9,74–20,43	3,34–11,93	
	Copepoda	1,16–1,49	0–0,02	17,12–24,70	2,88–4,50	1,24–4,88	1,93–13,99	
	Cladocera	0,04–2,83	0–0,02	7,36–11,57	0,14–1,41	0,85–2,42	3,68–4,81	
B	Rotifera	6,03–20,01	112,67–401,35	132,09–183,58	150,74–625,15	10,16–23,8	2,54–17,02	
	Copepoda	6,54–39,48	0–0,07	139,99–658,0	20,16–27,75	2,16–83,82	6,26–152,50	
	Cladocera	0,26–101,80	0–0,23	19,67–933,25	31,95–897,50	0–0,09	21,91–31,24	
Доминирующие виды	<i>Kl, Sp, Kc</i>	<i>Bu</i>	<i>Fl, Cycl, Ni, Ed</i>	<i>Kq</i>	<i>Kq</i>	<i>Kq, Cycl</i>	<i>Cv, Kq, Ed, Dl</i>	
H <sub>n</sub> , бит	2,35–3,13	0,2	2,59–2,85	0,33–0,46	0,07–0,15	0,63–0,92	1,20–2,25	
I <sub>d</sub>	0,18–0,38	0,97	0,20–0,25	0,92	0,98	0,55–0,84	0,23–0,45	
e	0,78–0,98	0,13	0,70–0,96	0,17–0,20	0,03–0,10	0,45–0,68	0,62–0,97	

Примечание: *Asp* – *Anabaena* sp.; *Ac* – *Aphanothece clathrate* West & G.S. West 1906; *Nsp* – *Nitzschia* sp.; *Gc* – *Gloeocapsa crepidinum* (Thuret) Thuret 1876; *Mr* – *Microcystis pulverea* (H.C. Wood), 1907; *Aa* – *Ankyra ancora* f. *issaevi* (Kisselev) Fott 1974; *Om* – *Oocystis marssonii* Lemmermann 1898; *Fc* – *Fragilaria crotonensis* Kitton 1869; *Fr* – *Fragilaria radians* (Kützing) D.M. Williams & Round 1988; *Ed* – *Euchlamis dilatata* Ehrenberg, 1832; *Bu* – *Brachionus urceus sericeus* Rousselet, 1907; *Kq* – *Keratella quadrata* (Müller, 1786); *Kc* – *K. cochlearis* (Gosse, 1851); *Kl* – *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879); *Sp* – *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832; *Fl* – *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834); *Dl* – *Daphnia longispina* s.lat. (O.F. Müller, 1785); *Ni* – *Neurodiaptomus incongruens* (Poppe, 1888); *Cv* – *Cyclops vicinus* Uljanin, 1875; *Cycl* – Cyclopoidea.

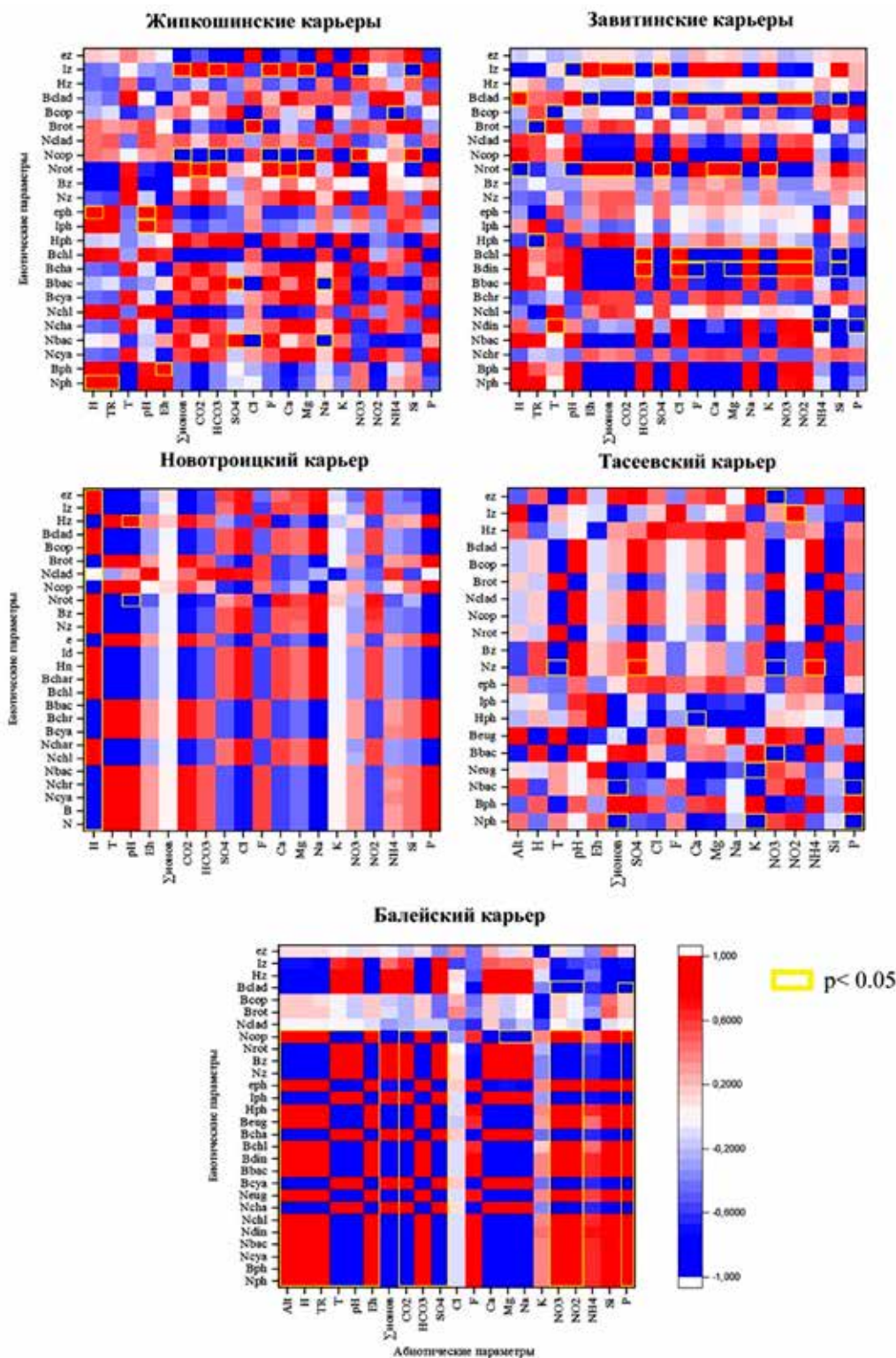


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между показателями планктона и физико-химическими показателями: Alt – абсолютная высота (в м); S – площадь (в км<sup>2</sup>); H – глубина (в м); TR – прозрачность (в м); T – температура (в °C); pH; Eh – окислительно-восстановительный потенциал (мВ); Σионов – сумма ионов (в мг/л); CO<sub>2</sub> – концентрация углекислого газа (в мг/л); концентрация (в мг/л); HCO<sub>3</sub> – гидрокарбонат-ионов; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – сульфат-ионов; Cl – хлорид-ионов; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – нитрат-ионов; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – нитрит-ионов; F<sup>-</sup> – фторид-ионов; Ca<sup>2+</sup> – ионов кальция; Mg<sup>2+</sup> – ионов магния; Na<sup>+</sup> – ионов натрия; K<sup>+</sup> – ионов калия; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – нитрат-ионов; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – нитрит-ионов; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – ионов аммония; Si – кремний; P – фосфор



Для Завитинских карьеров корреляционный анализ позволил выявить сильную положительную и отрицательную тесноту связи ( $-0,9524 - -0,9994...0,9597 - 0,9989$ ,  $p < 0,05$ ) обилия динофитовых и зеленых водорослей, а также коловраток и ветвистых с показателями макрокомпонентного состава.

В Жипкошинских карьерах для планктона отмечены высокие значения значимых корреляций ( $p < 0,05$ ) со многими переменными окружающей среды. Так, численность фитопланктона положительно коррелировала с глубиной и прозрачностью воды, биомасса – с Eh. Численность и биомасса диатомей – отрицательно с содержанием  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  и положительно – с  $\text{SO}_4^{2-}$ . Индексы видового разнообразия – положительно с pH и глубиной. Численность Rotifera положительно коррелировала с содержанием  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , биомасса – отрицательно с  $\text{SO}_4^{2-}$ . Для численности Copepoda установлена высокая отрицательная связь с суммой ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ , и положительная – с  $\text{NO}_3^-$  и Si.

Таким образом, во всех карьерных озерах, за исключением Новотроицкого, организмы планктона наиболее чувствительны к макрокомпонентному составу вод. Гидрохимический состав оказывает влияние на динофитовые, зеленые и диатомовые водоросли и коловраток. Для Новотроицкого карьера определяющим фактором является щелочность вод.

Наши результаты по влиянию факторов среды на развитие гидробионтов подтверждаются исследованиями других авторов [11], показавшими, что состав и структура планктонных биоценозов в техногенных водоемах определяются совокупностью комплекса абиотических параметров.

В обследованных карьерных водоемах видовое богатство фито- и зоопланктона формировали 48 таксонов водорослей рангом ниже рода и 42 вида беспозвоночных. По таксономическому составу фитопланктон имел цианобактериально-диатомовый характер с некоторой долей участия зеленых водорослей. В зоопланктоне качественно богатыми были коловратки и ветвистые ракообразные.

По географическому распространению в фито- и зоопланктоне доминируют космополиты, по местообитанию – планктонно-бентосные и планктонные виды водорослей и эврибионтные виды беспозвоночных, что в целом отражает экологическое состояние водоемов и сложившиеся в них условия.

Диапазон численности фитопланктона изменялся от 37,34 до 22535,52 тыс. кл./л. биомассы – от 27,28 до 1565,52 мг/м<sup>3</sup>. Общая численность зоопланктона варьировала в пределах 13,19–542,63 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Доминирующий комплекс сообществ зоопланктона слагался преимущественно мелкоразмерными формами (Rotifera и ювенильные Cysteroidea), что и обусловило низкие значения общей биомассы (6,54–1992,60 мг/м<sup>3</sup>).

Значения индексов видового разнообразия по фитопланктону, полученные для Балейского карьера, указывают на сложность структуры и высокое биоразнообразие сообщества, а также подтверждают полидоминантность доминирующего комплекса фитопланктона. Для остальных карьеров характерны монодоминантные сообщества водорослей с низким видовым разнообразием. По зоопланктону, Балейское, Новотроицкое и Завитинское карьерные озера можно отнести к водоемам мезотрофного типа. Тасеевский карьер отличался экстремальными экологическими условиями, вследствие низких показателей pH.

#### Список литературы

1. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья: история, современное состояние, проблемы, перспективы развития. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999. 574 с.
2. Замана Л.В., Вахнина И.Л., Усманов М.Т., Филленко Р.А. Экологическая оценка золотопромышленных ландшафтов Балей (Восточное Забайкалье) // Материалы XIII Научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Соцкова Сибирского отделения Российской академии наук, 2007. С. 46–47.
3. Замана Л.В., Чечель Л.П. Эколого-геохимическая оценка водоемов рудных карьеров Восточного Забайкалья // Эволюция биосферы и техногенез: материалы всероссийской конференции с международным участием. Чита: ИПРЭК СО РАН, 2016. С. 121–124.
4. Хомич С.А. Подходы к оценке состояния и перспектив развития объектов водохозяйственной рекультивации // Литосфера. 1996. № 6. С. 80–92.
5. She Z., Pan X., Wang J., Shao R., Wang G., Wang S., Yue Z. Vertical environmental gradient drives prokaryotic microbial community assembly and species coexistence in a stratified acid mine drainage lake // Water Research. 2021. Vol. 206. P. 117739. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117739.
6. Seckbach J., Chapman D.J., Garbary D.J., Oren A., Reisser W. Algae and cyanobacteria under environmental extremes: final comments. Algae and Cyanobacteria in extreme environments // Cellular origin, life in extreme habitats and astrobiology. 2007. Vol. 11. Dordrecht: Springer. P. 783–786. DOI: 10.1007/978-1-4020-6112-7\_42.
7. Wołowski K., Uzarowicz Ł., Łukaszek M., Pawlik-Skowrońska B. Diversity of algal communities in acid mine drainages of different physico-chemical properties // Nova Hedwigia, 2013. Vol. 97 (1–2). P. 117. DOI: 10.1127/0029-5035/2013.
8. Paulsson O., Widerlund A. Algal nutrient limitation and metal uptake experiment in the Åkerberg pit lake, northern Sweden // Applied Geochemistry. 2021. Vol. 125. 104829. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104829.

9. Афонина Е.Ю., Ташлыкова Н.А., Замана Л.В., Ку-  
 клин А.П., Абрамова В.А., Чечель Л.П. Гидрохимия и ги-  
 драбиология техногенных водоемов горнопромышленных  
 территорий Юго-Восточного Забайкалья // Аридные экоси-  
 стемы. 2022. Т. 28, № 4 (93). С. 189–200.
10. Pocięcha A., Bielańska-Grajner I., Szarek-Gwiazda  
 E.E., Wilk-Woźniak E., Kuciel H., Walusiak E. Rotifer diversity  
 in the acidic pyrite mine pit lakes in the Sudety Mountains (Po-  
 land) // *Mine Water Environment*. 2018. Vol. 37. P. 518. DOI:  
 10.1007/s10230-017-0492-y.
11. Mondal S., Palit D., Hazra N. Study on composition and  
 spatiotemporal variation of zooplankton community in coal mine  
 generated pit lakes, West Bengal, India // *Tropical Ecol.* 2022.  
 Vol. 64 (9). DOI: 10.1007/s42965-022-00274-6.
12. Goździejewska A.M., Koszałka J., Tandyrak R., Gro-  
 chowska J., Parszuto K. Functional responses of zooplankton  
 communities to depth, trophic status, and ion content in mine  
 pit lakes // *Hydrobiologia*. 2021. Vol. 848. P. 2699–2719. DOI:  
 10.1007/s10750-021-04590-1.
13. Верхотуров А.Г., Карпов В.В. Проблемы устойчи-  
 вости бортов затопленного карьера в г. Балее // Кулагинские  
 чтения: техника и технологии производственных процессов.  
 2021. С. 129–134.
14. Худорба О.А., Гребнев Е.А. Оценка современного  
 состояния инженерно-геологических условий Тасеевского  
 золоторудного месторождения // *Науки о Земле и недро-  
 пользование*. 2007. Т. 31, № 5. С. 116–119.
15. Корольков А.Т. Монацитовая проблема города Ба-  
 лее // *Известия Сибирского отделения. Секции наук о Земле*  
 РАЕН. 2016. № 1 (54). С. 96–103.
16. Абрамова В.А. Рудные элементы в карьерных во-  
 дах Завитинского редкометалльного месторождения (Вос-  
 точное Забайкалье) // *Геологическая эволюция взаимо-  
 действия воды с горными породами: материалы третьей*  
*Всероссийской научной конференции с международным*  
*участием (Чита, 20–25 августа 2018 г.). Улан-Удэ: Бурят-*  
*ский научный центр Сибирского отделения РАН, 2018.*  
 С. 328–331.
17. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного  
 фитопланктона. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.
18. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных  
 водоемов. Т. 1. Л.: Наука, 1969. 658 с.