

Биологическое разнообразие гидробионтов в водотоках верхнеамурского бассейна под влиянием горнорудного производства

Г. Ц. ЦЫБЕКМИТОВА¹, М. И. ГЛАДЫШЕВ^{2, 3}, И. Е. МИХЕЕВ¹, Б. Б. БАЗАРОВА¹, А. П. КУКЛИН¹,
Е. Ю. АФОНИНА¹, О. П. ДУБОВСКАЯ^{2, 3}, Н. А. ТАШЛЫКОВА¹, Е. С. КРАВЧУК², С. В. КАЗЫКИНА¹,
С. П. ШУЛЕПИНА³, С. В. БОРЗЕНКО¹, А. Б. ШОЙДОКОВ¹, И. В. ЗУЕВ², В. И. КОЛМАКОВ^{2, 3},
П. Ю. АНДРУЩЕНКО^{2, 3}, А. А. СУХАНОВ¹, Т. А. НОВГОРОВОДА⁴, В. В. ГЛУПОВ⁴

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
672014, Чита, Забайкальский край, ул. Недорезова, 16а
E-mail: gazhit@bk.ru

²Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/50

³Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

⁴Институт систематики и экологии животных СО РАН
630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 11

Статья поступила 15.10.2024

После доработки 06.11.2024

Принята к печати 26.11.2024

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования биологического разнообразия гидробионтов в водотоках верхнеамурского бассейна, находящихся в зоне влияния горнодобывающего объекта ООО “ГРК “Быстринский” (БГРК). Верхнеамурский бассейн представляет собой исторический горнорудный регион. Кроме функционирования БГРК, также другими горнодобывающими компаниями в данном бассейне производится добыча рудного и россыпного золота. Основные исследования воздействия горнорудного производства на водные экосистемы верхнеамурского бассейна связаны с изучением трансграничной р. Аргунь. Цель работы – исследование биологического разнообразия гидробионтов водотоков верхнеамурского бассейна на примере р. Газимур, в пределах зоны возможного негативного воздействия объектов БГРК. В настоящее время фактором, обогащающим гидрохимическое состояние водной среды, является гидрогеохимическая аномалия горнорудной территории. Высокая миграционная способность Al, As, Sr, Cu, Mn, Zn, Fe, V в рассматриваемых речных водах позволяет им накапливаться до концентраций, превышающих ПДК, вне зависимости от степени воздействия БГРК. Проведенные гидробиологические исследования р. Газимур и его притоков показали, что гидробионты представлены широко распространенными видами Сибири и Дальнего Востока. Сезонные и межгодовые вариации биоты связаны с изменениями

© Цыбекмитова Г. Ц., Гладышев М. И., Михеев И. Е., Базарова Б. Б., Куклин А. П., Афонина Е. Ю., Дубовская О. П., Ташлыкова Н. А., Кравчук Е. С., Казыкина С. В., Шулепина С. П., Борзенко С. В., Шойдоков А. Б., Зуев И. В., Колмаков В. И., Андрущенко П. Ю., Суханов А. А., Новгорода Т. А., Глупов В. В., 2025

климатических, гидрохимических и гидрологических показателей. Одной из возможных причин низкого видового богатства и крайне низкой численности гидробионтов вблизи БГРК (реки Тайна и Быстрая) может являться высокая мутность речной воды. По результатам проведенных исследований выделены индикаторные виды гидробионтов для последующего проведения мониторинга воздействий горнорудного производства на водные экосистемы.

Ключевые слова: верхнеамурский бассейн, гидробиология, биологическое разнообразие, гидрохимия, водотоки.

ВВЕДЕНИЕ

Добыча драгоценных и цветных металлов в верхнеамурском бассейне производится с начала XVIII в. В настоящее время на территории наших исследований – на водосборе р. Газимур, относящейся к верхнеамурскому бассейну, продолжается добыча рудного и россыпного золота, медной руды такими природопользователями, как ООО “Кулинское”, ООО “Культуминское”, АО “Ново-Широкинский рудник”, ООО “Газимур”, ООО “ГРК “Солонеченское”, ООО “ГРК “Быстринское” [Основные социально-экономические показатели..., 2024].

Добыча полезных ископаемых как мощный антропогенный фактор может значительно расширить распространение загрязнений (например, взвешенных веществ, тяжелых металлов). Последствия горнорудных работ могут оказывать воздействие на окружающую среду даже спустя столетия после их освоения [Casiot et al., 2009]. При совместном воздействии антропогенные и климатические факторы оказывают отрицательное прямое и/или косвенное влияние на состояние окружающей среды, что может угрожать биоразнообразию водных экосистем. К таким угрозам относятся изменения уровня воды рек, загрязнения, разрушение и деградация среды обитания, чрезмерная эксплуатация водных ресурсов, изменение стока рек, а также инвазии или интродукция видов [Dudgeon et al., 2006; Базарова, 2007; Михеев, 2007; Обязов, Смахтин, 2014; Camizuli et al., 2014; Alimov, 2017; Ranasinghe et al., 2019]. Следовательно, под влиянием антропогенных факторов могут происходить закономерные изменения, приводящие к трансформации многообразия видов, популяций и сообществ гидробионтов [Miller, 1997; Cenci, 2000; Bleuel et al., 2005]. Гидробионты, постоянно находясь в водной среде, могут рассматриваться как индикаторы всех имевших место изменений в водотоках за продолжительный период времени.

Исследований, посвященных последствиям воздействия горнорудного производства на водные экосистемы верхнеамурского бассейна, малочисленны и разрозненны. Основные работы посвящены изучению состояния некоторых водотоков бассейна трансграничной р. Аргунь [Оглы, Качаева, 1999; Михеев, 2009; Аннотированный список..., 2012; Ташлыкова, Куклин, 2014; Никулина, Куклин, 2015; Афонина, Итигилова, 2016; Афонина, Афонин, 2017; Куклин, 2017; Зыкова, Рахманова, 2019; Казыкина, Зыкова, 2019; Zykova, 2020; Kuklin, Tsybekmitova, 2021]. Быстринское месторождение расположено в междуречье Ильдикан и Быстрая (правые притоки р. Газимур). Истоки данных рек зарождаются на Урюмканском хребте. Географически данный район входит в состав природного округа “Верхне-Амурское среднегорья” [Типы местности..., 1961].

Цель работы – исследование биологического разнообразия гидробионтов водотоков верхнеамурского бассейна на примере бассейна р. Газимур в пределах зоны возможного негативного воздействия объектов ООО “ГРК “Быстринское” (БГРК).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Территория исследований. В рамках Большой научной экспедиции СО РАН в июле 2022 г. и в июне 2023 г. изучено биологическое разнообразие гидробионтов в водотоках бассейна р. Газимур. Исследованиями охвачены восемь притоков р. Газимур (реки Быстрая, Тайна, Ильдикан, Буня, Бура, Ушмун, Бурукан и Аленуй) и основной водоток – р. Газимур. Станции отбора проб были заложены по уровням предполагаемого воздействия на разном удалении от территории расположения объектов БГРК (рис. 1). При этом в зону значительного воздействия отнесены реки (координаты – с. ш., в. д.): Быстрая (51°32'39", 118°35'50"), Тайна (51°34'33", 118°32'56"), Ильдикан (51°33'28", 118°22'52"); среднего воздей-

ствия – Буня ($51^{\circ}29'29''$, $118^{\circ}14'24''$), Газимур (выше с. Корабль, $51^{\circ}30'12''$, $118^{\circ}16'34''$), Газимур (выше с. Калдага, $51^{\circ}37'55''$, $118^{\circ}21'23''$); незначительного воздействия – Газимур ($51^{\circ}23'35''$, $118^{\circ}11'57''$), Ушмун ($51^{\circ}40'13''$, $118^{\circ}22'03''$), Газимур (с. Трубачево, $51^{\circ}23'35''$, $118^{\circ}11'57''$); эталонные (фоновые) зоны – Газимур ($51^{\circ}49'04''$, $118^{\circ}31'15''$), Бура ($51^{\circ}50'13''$, $118^{\circ}34'46''$), Бурукан ($51^{\circ}50'34''$, $118^{\circ}31'22''$), Аленуй ($51^{\circ}17'48''$, $118^{\circ}10'58''$). Фоновые станции располагались выше и ниже по течению р. Газимур на участках, не подверженных антропогенному воздействию объектов БРГК.

Методы исследования. Исследования водных экосистем проведены на основе комплексного экосистемного подхода с использованием гидробиологического и гидрохимического методов анализа. Химико-аналитические исследования воды на макрокомпоненты проведены в аттестованной лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН (г. Чита) общепринятыми методами. Микроэлементный анализ проведен в Аналитическом сертификационном испытательном центре АСИЦ ИПТМ РАН атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами с индуктивно связанной

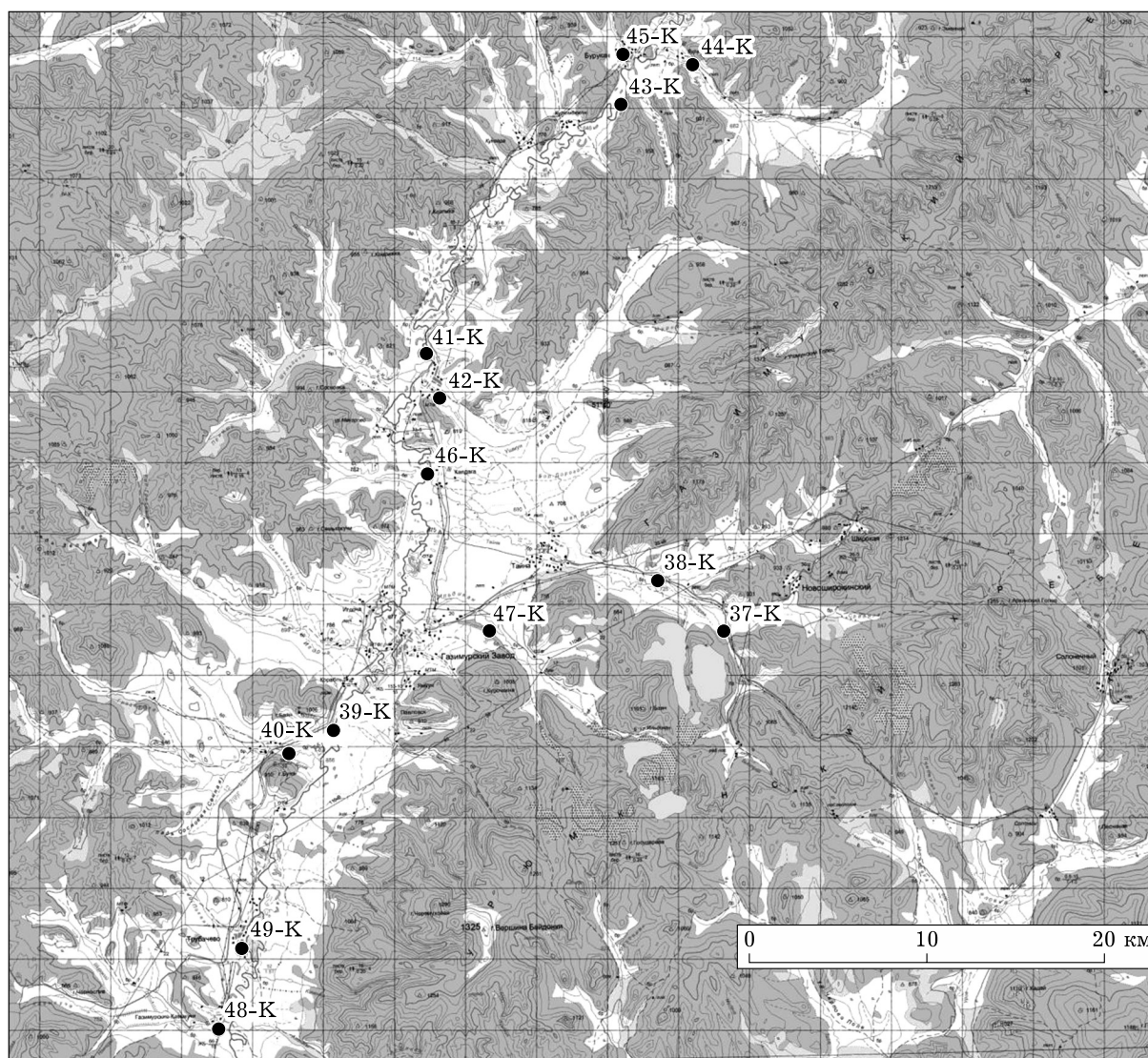


Рис. 1. Схема расположения участков гидробиологического исследования водотоков бассейна р. Газимур
Номера станций и названия рек: 37-К – р. Быстрая, 38-К – р. Тайна, 47-К – р. Ильдикан, 43-К – р. Газимур, 44-К – р. Бура, 45-К – р. Бурукан, 41-К – р. Газимур, 42-К – р. Ушмун, 46-К – р. Газимур (выше с. Калдага), 39-К – р. Газимур (выше с. Корабль), 40-К – р. Буня, 49-К – р. Газимур (в районе с. Трубачево), 48-К – р. Аленуй

плазмой с использованием методики НСАМ № 520-АЭС/МС. Для контроля качества анализов применялся стандартный образец воды – Certified Reference Material “Trace Metals in Drinking Water”. Непосредственно на месте отбора проб измеряли физико-химические параметры экосистемы (рН, минерализация, кислород, температура воды) с помощью многоканального зонда мониторинга EXO2 YSI Inc. Оценка качества вод по гидрохимическим показателям проводилась в сравнении с допустимыми нормативами, в том числе предельно допустимыми концентрациями (ПДК) в зависимости от назначения водотока [СанПиН, 2021; Приказ..., 2020].

Сбор и обработку гидробиологических полевых материалов проводили стандартными методами [Киселев, 1969; Кожова, 1978; Абакумов, 1979; Катанская, 1981; Методические рекомендации..., 1984; Садчиков, 2003; Бобров, Чемерис, 2005; Руководство..., 2011; Зуева и др., 2019]. Классификация таксонов и синонимы каждой группы водорослей приводились согласно электронной базы AlgaeBase [Guiry, Guiry, 2024], зоопланктона – в соответствии с современной номенклатурой World Register of Marine Species [WorMS, 2023]. К макроскопическим водорослям отнесены организмы, образующие скопления более 1 см в диаметре [Sheath et al., 1986]. При оценке качества вод по показателям водных растений использован индекс (Sm) [Зуева и др., 2019]. Поскольку морфофункциональные признаки растения отражают адаптацию видов к условиям среды и служат инструментом оценки качества экосистемы [Iversen et al., 2022], определена высота доминирующего вида листостебельного мха *Fontinalis antipyretica* Hedw. Измерения проводились от ризоидов до верхушки стебля. Для отнесения точек к различным зонам воздействия использовались основные показатели развития гидробионтов: видовое богатство (число видов) и индекс видового разнообразия Шеннона (H'), индекс сходства Жаккара. При ихтиологической съемке применяли стандартные орудия лова. Исследования видового состава ихтиофауны охватывали места нерестилищ и нагула, возможные места обитания редких и исчезающих видов рыб.

Статистическая обработка данных. В качестве обобщенного показателя видового альфа-разнообразия использован индекс H'

[Magurran, 1988], рассчитанный на основе данных по численности гидробионтов, для визуализации паттернов сходства – метод многомерного шкалирования (MDS). Ординация выполнена на основании данных по численности видов. При создании матрицы сходства использовали индекс несходства Брея – Кертиса [Beals, 1984]. Привязку выделенных сообществ обследованных водотоков осуществляли соотношением номеров станций, входящих в то или иное сообщество, со схемой отбора проб. За нормализацию численности гидробионтов отвечали преобразованные в логарифмический индекс $(x + 1)$ данные. Для оценки достоверности применяли однофакторный дисперсионный анализ сходства (ANOVA, $p \leq 0,05$). Неоднородность распределения количественных показателей гидробионтов оценивали по коэффициенту вариации (C_v , %). В тексте и таблицах в качестве показателя варьирования признака указаны среднее значение и стандартное отклонение ($\text{mean} \pm \text{SD}$). Статистическую обработку результатов и их визуализацию проводили с помощью программных пакетов PAST 4.16 [Hammer, 2012], Statistica 10.0 и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Гидрохимическое состояние водотоков.

Некоторые физико-химические показатели исследованных рек представлены в табл. 1.

Речные воды имели слабощелочную реакцию. По химическому составу они классифицировались как гидрокарбонатно-кальциево-магниевые, по минерализации отнесены к пресному типу (не более 573 мг/л). Показатели взвешенного вещества в большинстве случаев превышали нормативы, установленные для водоемов рыбохозяйственного назначения и санитарно-гигиенических требований.

Перманганатная окисляемость (ПО), бихроматная окисляемость (ХПК), концентрации азотсодержащих соединений (аммонийного, нитритного и нитратного азота) установлены в пределах ПДК, за исключением ПО в водах рек Буня и Бура. Среди металлов в р. Быстрая отмечено превышение ПДК по вышеуказанным нормативам для Al, As, Sr, Cu, Zn, Mn, Fe и V, в р. Тайна – для Al, As, Cu, Zn, Mn, Fe, V (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1
Физико-химические показатели в водотоках бассейна р. Газимур, мг/дм³

Река, номер станции	pH	O ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca	Mg	Na	K	Σ	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	XПК	ПО	PO ₄ ³⁻	Turb	Al	As	Sr	Cu	Zn	Mn	Fe	V
Быстрая, 37-К2	7,4	5,58	181,1	41,9	1,8	68,1	32,6	4,9	3,39	339,2	3,06	0,020	0,14	16,61	4,89	0,03	17,80	0,102	0,017	0,685	0,007	0,047	0,446	0,243	0,0012
Тайна, 38-К	7,7	9,52	191,6	41,6	3,3	41,2	23,6	7,3	2,04	313,5	5,90	0,013	0,32	20,52	7,33	0,02	71,84	0,513	0,016	0,364	0,003	0,024	0,149	1,395	0,0036
Ильדיкан 47-К	7,9	10,50	203,5	32,9	1,9	46,6	19,5	5,5	1,37	312,2	9,63	0,038	0,00	15,51	5,52	0,01	1,80	0,032	0,006	0,403	0,001	0,001	0,018	0,100	0,0009
Газимур, 46-К	7,7	8,66	153,7	15,4	1,7	26,4	10,6	6,9	1,55	220,0	0,63	0,000	0,15	17,46	6,86	0,01	3,12	0,033	0,003	0,391	0,001	0,055	0,084	0,381	0,0008
Буня, 40-К	7,6	9,19	147,9	7,6	1,1	28,2	10,4	9,4	1,27	206,3	0,52	0,030	0,37	—	9,43	0,02	9,93	0,097	0,002	0,246	0,001	0,015	0,101	0,892	0,0012
Газимур, 39-К	8,0	11,16	161,2	16,6	1,7	29,0	12,3	6,9	1,54	233,4	0,69	0,000	0,15	21,86	6,93	0,01	3,39	0,015	0,002	0,359	0,001	0,001	0,012	0,081	0,0007
Газимур 41-К	7,7	9,31	153,1	17,8	1,7	27,7	11,7	7,2	1,61	223,8	0,88	0,002	0,11	26,87	7,17	0,01	3,01	0,049	0,002	0,343	0,001	0,056	0,065	0,259	0,0008
Ушмун, 42-К	7,7	9,02	93,7	20,9	0,9	21,6	9,0	6,5	0,76	151,0	0,49	0,004	0,16	16,97	6,54	0,01	1,18	0,021	0,001	0,095	<п.о.	0,032	0,012	0,063	0,0004
Газимур, 49-К	7,8	9,60	157,4	14,4	1,3	28,8	11,7	6,8	1,54	226,6	0,56	0,005	0,16	22,84	6,78	0,01	3,37	0,049	0,003	0,428	0,001	0,004	0,074	0,378	0,0009
Бура, 44-К	7,6	8,94	199,7	6,8	1,3	43,2	10,4	8,4	1,17	272,3	0,80	0,043	0,16	24,67	8,35	0,01	1,46	0,037	0,001	0,501	<п.о.	0,032	0,107	0,111	0,0008
Бурукан, 45-К	7,7	9,89	116,9	25,2	0,6	27,2	12,7	6,1	0,80	187,6	0,42	0,003	0,03	16,36	6,07	0,01	1,74	0,028	0,003	0,313	0,001	0,031	0,063	0,216	0,0007
Газимур, 43-К	7,7	9,18	149,3	15,7	1,9	26,6	11,2	6,9	1,60	216,4	0,79	0,001	0,13	21,49	6,94	0,01	3,21	0,044	0,001	0,135	<п.о.	0,009	0,037	0,117	0,0004
Аленуй, 48-К2	8,0	8,99	121,3	9,0	0,9	25,0	7,6	7,4	0,96	164,6	0,57	0,020	0,21	23,45	7,40	0,01	2,30	0,041	0,002	0,242	<п.о.	0,022	0,095	0,336	0,0006
ПДК [Приказ 552]	н.н.	6,00	н.н.	100,0	300,0	180,0	40,0	120	50,0	н.н.	40,0	0,08	0,5	н.н.	н.н.	0,05	н.н.	0,04	0,05	0,4	0,001	0,01	0,01	0,1	0,001
ПДК [СанПиН]	6–9	4,00	н.н.	500,0	350,0	н.н.	50,0	200	н.н.	1500	45,0	3,0	1,5	30,0	7,0	н.н.	2,6	0,2	0,01	7,0	1,0	5,0	0,1	0,3	0,1

Примечание. н.н. – не нормируется; п.о. – значения ниже предела обнаружения; Σ – сумма основных ионов; ПО – перманганатная окисляемость, мгО/дм³; ХПК – химическое потребление кислорода, мгО/дм³; Turb – мутность, ЕМФ. Станции отбора проб см. на рис. 1.

Фитопланктон. Всего за период исследования в составе фитопланктона водотоков обследованных объектов с различным уровнем воздействия отмечено 55 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 10 классам, 24 порядкам, 29 семействам и 39 родам. В июле 2022 г. в составе водорослей планктона выявлено 28 таксонов рангом ниже рода (Cyanobacteria – 4 таксона, Bacillariophyta – 16, Chlorophyta – 5 и Euglenophyta – 3). В июне 2023 г. отмечено 43 таксона (Cyanobacteria – 2, Bacillariophyta – 27, Chrysophyta – 4, Chlorophyta – 6, Cryptophyta – 1, Dinophyta – 1, Charophyta – 1, Euglenophyta – 1).

Количественные характеристики фитопланктона в 2022 и 2023 гг. представлены в табл. 2.

Коэффициент вариации составил 29,73 % при недостоверном различии средних значений индекса Шеннона между зонами воздействия ($p_{\text{факт}} > p_{\text{крит}}$). $CV_{(\text{численность})} = 42,8-108,9 \%$, $CV_{(\text{биомасса})} = 43,0-100,0 \%$. Средние значения общего количества таксонов между разными зонами воздействия варьировали и достоверных различий не имели ($p_{\text{факт}} > p_{\text{крит}}$).

В 2022 г. на станциях, расположенных наиболее близко к объектам воздействия ГРК “Быстринский” (реки Быстрая и Тайна), преобладали диатомовые водоросли, фитопланктон фоновой зоны преимущественно состоял из цианий. В 2023 г. в фитопланктоне численно доминировали диатомовые водоросли. Доминирующий комплекс фитопланктона фоновой зоны в 2022 г. был представлен водорослями семейства Microcystaceae, зон значительного воздействия – *Ulnaria acus* (Kützing)

Aboal 2003 и *Tabularia tabulata* (C. Agardh) Snoeijis 1992, в 2023 г. – диатомовыми водорослями *Melosira varians* C. Agardh, *Stephanodiscus* sp., *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith, а также золотистой (*Chrysococcus rufescens* Klebs) и харовой (*Closterium leibleinii* Kützing ex Ralfs) водорослями.

Проведенный анализ ANOVA ($p < 0,05$) показал, что в 2023 г. достоверных различий между составом и количественными характеристиками водорослей планктона разных зон воздействия не установлено. Неметрическое многомерное шкалирование (NMDS) не выявило четких границ дискретных комплексов фитопланктона по поясам воздействия (рис. 2).

Макроскопические водоросли. В исследованных водных объектах обнаружено 10 видов, форм и разновидностей макроводорослей. В таксономическом отношении выявленные виды относятся к пяти систематическим отделам: Cyanophyta (3 вида), Xanthophyta (4), Rhodophyta (2), Chlorophyta (10), Charophyta (1). В видовом составе преобладающими порядками из Cyanophyta являются Nostocales (2 вида), из Chlorophyta – Ulotrichales (7 видов). Наибольшим видовым разнообразием отличается семейство Chaetophoraceae – 4 вида. В целом можно отметить низкую насыщенность родов и семейств видами при достаточно большом разнообразии порядков. Все установленные в исследовании виды – космополиты, широко распространенные в реках Сибири и Дальнего Востока. По данным исследований фитобентоса в 2022 г. к макроскопическим водорослям может быть отнесен *Stigeoclonium tenue* (C. Agardh) Kützing, указанный

Т а б л и ц а 2

Структурные показатели фитопланктона (mean±SD) в водотоках с различным уровнем воздействия объектов БГРК в разные годы исследований

Зона воздей- ствия	Число таксонов, рангом ниже рода		Численность, тыс. кл./л		Биомасса, мг/м ³		Индекс Шеннона	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
1	10 ± 4,24	9,7 ± 2,3	456 ± 227	36,4 ± 21,9	633,0 ± 353,7	63,2 ± 47,0	2,10 ± 0,32	1,70 ± 0,48
2	–	15,7 ± 6,6	–	50,3 ± 21,6	–	79,6 ± 54,5	–	2,50 ± 1,05
3	–	11,7 ± 4,0	–	39,9 ± 43,4	–	82,9 ± 68,9	–	2,50 ± 0,28
4	16	13 ± 10	812,6	83,5 ± 41,2	290,7	219,0 ± 195,2	2,20 ± 1,47	1,50 ± 1,44

П р и м е ч а н и е. Степень воздействия: 1 – значительное, 2 – среднее, 3 – незначительное, 4 – отсутствует (фон); прочерк – отсутствие данных.

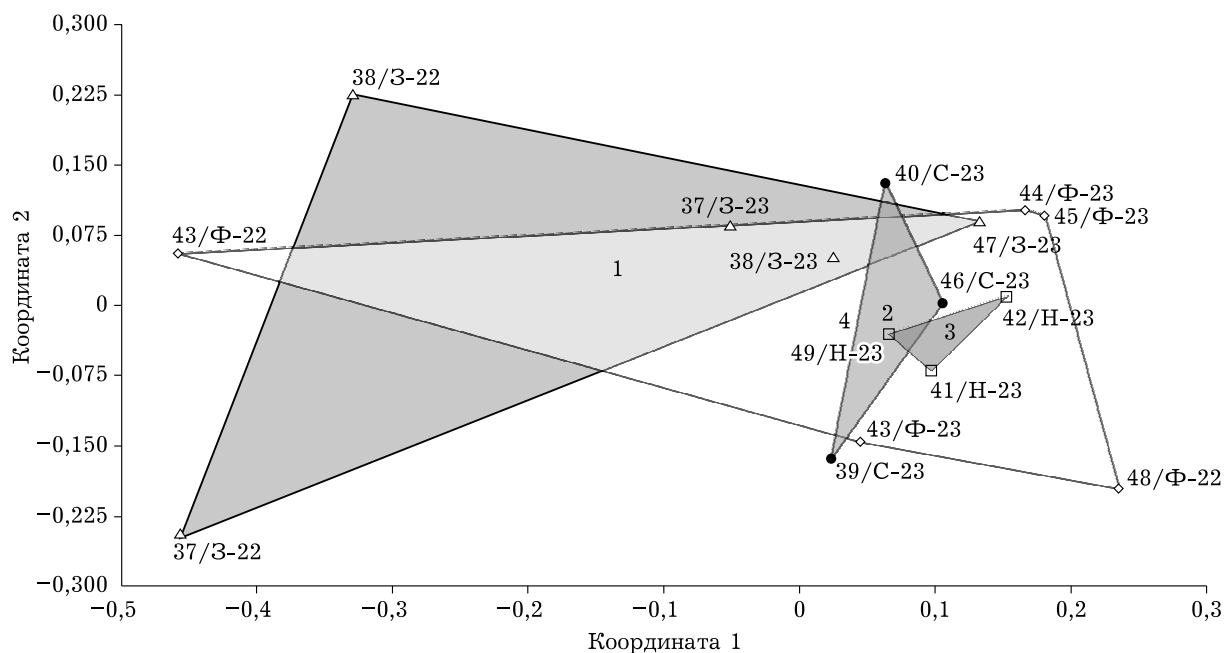


Рис. 2. MDS-ординация, выполненная на основе матрицы индекса Брея – Кертиса, для фитопланктона исследованных рек в осях двух первых неметрических шкал. Обозначения на примере точки 38/З-22: 38 – номер станции, буква – уровень воздействия (Ф – фон, Н – незначительное, С – среднее, З – значительное); 22 или 23 – год исследования

для р. Бурукан. В фитобентосе реки в 2023 г. данный вид не установлен.

Высокое видовое разнообразие (7–10 видов) и сложные по структуре сообщества макрофитных водорослей сформировались на фоновых участках рек (табл. 3).

В двухъярусных сообществах верхний ярус сложен как правило нитчатыми формами, нижний ярус – кустистыми и шарообразными. В эпилитоне доминируют *Chaetophoropsis elegans* (Roth) B. Wen Liu, Qian Xiong, X. Dong Liu, Z. Yu Hu & G. Xiang Liu и

Т а б л и ц а 3
Структурные показатели макроводорослей (mean $\pm$ SE) в водотоках с различным уровнем воздействия объектов БГРК

Степень воздействия	Река	Число видов	Число ярусов	Средняя фитомасса, г/м ²		Индекс Шеннона
				ВС _{сыр}	ВС _{сух}	
1	Идьдикан	3	1	–	–	1,1
	Быстрая	0	0	0	0	0
	Средняя	3	1	280,08 $\pm$ 145,70	5,80 $\pm$ 1,20	1,1
	Тайна	1	1	–	–	0
2	Бура	4	1	9,78 $\pm$ 4,5	0,24 $\pm$ 0,10	1,4
	Буня	5	1	82,3	16,13	1,6
	Газимур, выше с. Корабль	5	1	25,85 $\pm$ 12,50	4,30 $\pm$ 1,40	1,6
3	Газимур, ниже с. Калдага	7	1	342,16 $\pm$ 197,30	127,59 $\pm$ 80,40	1,95
	Ушмун	11	2	735,05 $\pm$ 291,90	22,67 $\pm$ 8,50	2,7
	Газимур, с. Ушмун	7	1	22,29 $\pm$ 2,00	3,22 $\pm$ 2,00	1,95
	Бурукан	7	1–2	108,51 $\pm$ 95,50	5,13 $\pm$ 3,30	1,95
4	Аленуй	10	2	153,35 $\pm$ 60,50	13,79 $\pm$ 5,80	2,3
	Газимур, с. Трубачево	6	1–2	63,22 $\pm$ 36,90	2,90 $\pm$ 1,90	1,6

П р и м е ч а н и е. ВС_{сыр} – воздушно-сырой вес; ВС_{сух} – воздушно-сухой вес; степень воздействия (1–4) см. табл. 2.

Ulothrix zonata (F. Weber & Mohr) Kützing, в эпифитоне – *U. zonata*. Представленные виды являются преимущественно олиго-бета-сапробами, что указывает на низкие содержания органических веществ в воде водотоков.

Реки, находящиеся в зоне незначительного воздействия, имеют сходные значения показателей разнообразия макроводорослей с фоновыми участками (7–11 видов). Незначительная нагрузка способствует увеличению разнообразия и фитомассы скоплений. В двухъярусных сообществах кустистые формы преобладают в верхнем ярусе, в одноярусных – шарообразные формы *Nostoc verrucosum* Vaucher ex Bornet & Flahault. Среди видового состава отмечены виды, являющиеся как олиго-бета-сапробами, так и альфа-мезосапробами. На участках, отнесенных к зоне среднего воздействия, макроводорослевые сообщества просты, нередко состоят из одного, реже двух массовых видов, без сложного многоярусного сложения. Число видов здесь ниже (4–5), сообщества развиты преимущественно в узкой кромке у берега, а также на субстратах, находящихся в поверхностном слое (*Audouinella chalybea* (Roth) Bory в р. Буня на затопленном кустарнике). В водотоках произрастают олиго-бета-сапробы. Главным загрязнителем является минеральное взвешенное вещество. На станциях рек с высоким уровнем воздействия макроводоросли отсутствуют (р. Быстрая) либо представлены единичными обрывками нитей (реки Ильдикан, Тайна). В момент исследования в этих водотоках установлена высокая мутность воды (см. табл. 1).

Высшие водные растения. Во флоре водных растений выявлено 17 видов из 15 родов, 14 семейств, 3 отделов. Отдел моховидные представлен тремя видами, хвощевидные – одним, покрытосеменные – 14.

Наиболее распространенным является мох *Fontinalis antipyretica* Hedw. Вид обнаружен на 12 из 14 станций. Длина таллома *F. antipyretica* колеблется в пределах 10–20 см. Максимальная длина зафиксирована в р. Ильдикан, более 15 см – в реках Бура (фон) и Газимур в окрестностях с. Калдага (среднее влияние). На двух станциях р. Быстрая (зона значительного воздействия) и в р. Газимур в окрестностях с. Корабль *F. antipyretica* не обнаружен. Наряду с *F. antipyretica* в толще воды рек часто встречается *Batrachium circinatum* (Sibth.) Spach (на семи станциях), в приустьевой зоне – *Butomus umbellatus* L.

Низкое разнообразие водных растений было характерно для территории, близко расположенных от БГРК (реки Быстрая, Тайна и Ильдикан). Различаются изученные водотоки и по обилию видов. Сравнительный анализ видового состава водных растений исследованных станций на основе коэффициента Жаккара показал низкие значения сходства – от 0 до 0,33. Оценка качества вод по результатам расчетов Sm-индекса показала, что в зоне значительного воздействия находятся станции на реках Быстрая и Ильдикан. Участки рек Бура, Буня, Аленуй, Газимур в районе р. Бурукан и с. Трубачево выбраны как эталонные для мониторинга (табл. 4).

Анализ флоры водных растений показывает, что в качестве индикаторных видов в мониторинге состояния экосистем могут служить мох *F. antipyretica*, а также виды рода *Ranunculis* как наиболее распространенные виды в бассейне р. Газимур.

Зоопланктон обследованных водотоков включал 99 видов/таксонов (Rotifera – 67 видов/таксонов, Cladocera – 19 и Copepoda – 13). В пробах также встречались неидентифицированные представители отряда Bdelloida

Т а б л и ц а 4

Структурные показатели водных растений (mean ± SD) в водотоках с различным уровнем воздействия объектов БГРК

Зона воздействия	Число видов	Обилие настоящих водных растений	Sm	Индекс Шеннона
1	3 ± 1	0,66 ± 0,58	4,57 ± 1,20	0,90 ± 0,20
2	4 ± 2	6,33 ± 4,16	12,29 ± 7,55	1,29 ± 0,71
3	4 ± 2	7 ± 2	13,54 ± 3,20	1,54 ± 0,24
4	6,00 ± 1,63	10,50 ± 2,52	19,01 ± 2,98	1,72 ± 0,20

П р и м е ч а н и е. Sm – индекс оценки качества вод [Зуева и др., 2019]. Зоны воздействия (1–4) см. табл. 2.

и ювенильные стадии Copepoda. В 2022 г. обнаружено 88 видов/таксонов, в 2023 г. – 43. Минимальное число видов/таксонов отмечалось в зонах значительного и среднего воздействия, максимальное – в зоне незначительного воздействия (табл. 5).

Наиболее часто встречались виды *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1776), *Euchlanis dilatata* Ehrenberg 1832, *Testudinella patina* (Hermann, 1783), *Coronatella rectangula* (G. O. Sars, 1862), *Bryocamptus (Bryocamptus) vej dovskyi* (Mrázek, 1893), *B. (B.) umiatensis* M. S. Wilson, 1958, *Epactophanes richardi* s. lat. Mrázek, 1893, науплии и копепоиды Copepoda. Коловратка *Lophocharis oxysternon* (Gosse, 1851) обнаружена исключительно в пробах из фоновых рек (2022 г.), а *Brachionus nilsoni* Ahlstrom, 1940 – только в зоне значительного воздействия (2023 г.).

В оба года исследований наименьшее значение индекса *H* отмечалось вблизи объектов БГРК в зоне значительного воздействия, наибольшее – в зоне незначительного воздействия. Распределение обилия зоопланктона по разным зонам воздействия и внутри одной зоны крайне неоднородное ($C_V > 42$ и 58 % соответственно). В 2022 г. наименьшая плотность гидробионтов отмечалась в зоне среднего воздействия, наибольшая – в зоне значительного воздействия, в 2023 г. – соответственно на фоновом участке и в зоне незначительного воздействия (см. табл. 5). По результатам ANOVA ($p < 0,05$), в 2022 г. альфа-разнообразие в зоне незначительного воздействия достоверно выше, чем в зонах среднего и значительного воздействия, биомасса зоопланктона достоверно различалась между зонами значительного и среднего воздействия. В 2023 г. достоверных различий между зоопланктоном разных зон воздействия не выявлено.

В июле 2022 г. основу зоопланктона определяли (от зоны значительного воздействия до фона): *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834), *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785), Harpacticoida (*Bryocamptus (B.) vej dovskyi*, *B. (B.) umiatensis*, *Epactophanes richardi* s. lat. *Attheyella (Neomrazekiella) nordenskioldii nordenskioldii* (Lilljeborg, 1902)), науплии Copepoda → *Euchlanis dilatata lucksiana* Hauer, 1832, *Trichortia pocillum* (Müller, 1766), науплии Copepoda → Bdelloida, *Trichotria tetractis similis* (Stenroos, 1830), *E. dilatata lucksiana*, *Testudinella patina*, науплии Copepoda → Bdelloida, Harpacticoida, науплии Copepoda; в июне 2023 г. – *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Filinia longiseta*, *Lecane luna* Müller, 1776, копепоиды Copepoda → *Euchlanis dilatata*, *Cephalodella gibba* (Ehrenberg, 1830), науплии Copepoda → *E. dilatata*, копепоиды Copepoda → *E. dilatata*, науплии Copepoda.

Анализ пространственного распределения кластеров на MDS-диаграмме (рис. 3) позволил выделить в сообществах зоопланктона исследованной территории наличие двух дискретных комплексов (1 и 2–4). Зона значительного воздействия (1) характеризовалась различиями в числе видов/таксонов зоопланктона и их численности от остальных мало различающихся между собой (температура воды, скорость течения, содержание растворенного кислорода) зон среднего (2) и незначительного (3) воздействия, а также фоновой участка (4).

Макрозообентос. Исследованиями макрозообентоса в 2022–2023 гг. обнаружено 158 таксонов разных систематических уровней. Наиболее разнообразным по видовому богатству и численности отмечался отряд двукрылых семейства хирономид. Субдоминантными по численности являлись отряды поденок, ручейников и веснянок. Среди прочих таксономи-

Т а б л и ц а 5

Структурные показатели зоопланктона (mean ± SD) в водотоках с различным уровнем воздействия объектов БГРК в разные годы исследований

Зона воздействия	Число видов/таксонов		Биомасса, мг/м ³		Численность, экз./м ³		Индекс Шеннона	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
1	27 ± 3,5	5,3 ± 3,5	33 ± 4,1	2,2 ± 2,6	6619 ± 3612	171 ± 80	2,5 ± 0,4	2,0 ± 0,5
2	11,5 ± 4,5	6,7 ± 3,2	0,2 ± 0,1	0,6 ± 0,6	240 ± 129	128 ± 84	2,7 ± 0,4	2,2 ± 0,6
3	37 ± 4	10,7 ± 2,2	12,1 ± 9,9	0,5 ± 0,4	3701 ± 4050	216 ± 183	4,2 ± 0,1	2,7 ± 0,3
4	27,5 ± 3,5	6,25 ± 2,0	3,1 ± 0,7	0,5 ± 0,3	1069 ± 368	88 ± 102	3,6 ± 0,0	2,2 ± 0,6

П р и м е ч а н и е . См. табл. 2.

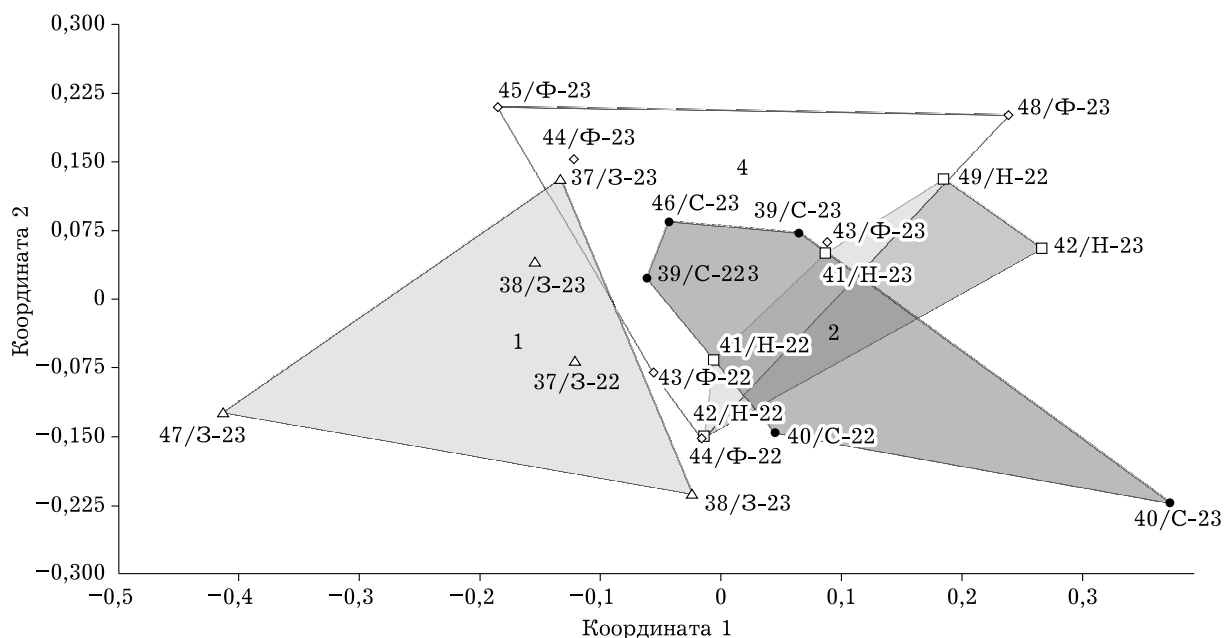


Рис. 3. MDS-ординация, выполненная на основе матрицы индекса Брея – Кертиса, для зоопланктона исследованных рек в осях двух первых неметрических шкал (обозначения такие же, как на рис. 2)

ческих групп отмечались нематоды, олигохеты, пиявки, клопы, паукообразные, стрекозы, мокрецы, мошки, долгоножки, вислокрылки, брюхоногие и двустворчатые моллюски. Среди двустворчатых моллюсков на участке р. Газимур ($51^{\circ}49'04''$ в. д., $118^{\circ}31'15''$ с. ш.) в единичных экземплярах отмечен моллюск семейства Unionidae рода *Middendorffinaia*, занесенный в Красную книгу РФ. Моллюски указанного рода обитают в чистых водах, что характеризует исследованный участок как соответствующий фоновому значению.

Средние значения численности зообентоса в 2022 г. изменялись от 0,001 до $2,44 \pm 0,90$ тыс. экз./м², в 2023 г. – от $0,64 \pm 0,29$ до $15,38 \pm 7,12$ тыс. экз./м², биомассы – от 0,0003 до $17,11 \pm 2,84$ г/м² и от $2,09 \pm 1,59$ до $87,41 \pm 67,46$ г/м² соответственно. Индекс H изменялся от 1,0 до $3,04 \pm 0,28$ бит/экз. (2022 г.) и от $1,79 \pm 0,79$ до $3,35 \pm 0,20$ бит/экз. (2023 г.). Количество видов на станциях изменялось от 3 до 27 (2022 г.), от 2 до 19 (2023 г.). Распределение количественных характеристик по станциям отбора проб представлено на рис. 4.

Количественные показатели численности и биомассы зообентоса в 2023 г. по сравнению с результатами 2022 г. увеличились. Возможно, это связано с вылетом большинства амфибиотических насекомых ко времени отбора

проб 2022 г., которые обедняют состав бентофауны. По результатам ANOVA в 2023 г. достоверные различия по численности, биомассе и числу видов макрозообентоса между группами станций, расположенных в зонах с различной степенью воздействия, отсутствовали: $p = 0,04$; $p = 0,015$; $p = 0,0007$.

Исследования в 2023 г. показали тенденцию увеличения видового разнообразия зообентоса по индексу H по сравнению с 2022 г. и улучшения экологического состояния по зонам воздействия. В 2022 и 2023 гг. были отмечены невысокие значения численности бентофауны в реках Быстрая, Тайна, Ильдикан, Буня, Бурукан. Поденки вида *Ephoron nigridorsum* (Tshernova, 1934) на участках р. Газимур выше с. Корабль, выше с. Калдага, в районе с. Трубачево вносили основной вклад в высокую численность зообентоса (более 1000 экз/м²) и относились к зоне незначительного воздействия и фоновой территории, чем отличались от других поясов (табл. 6).

По результатам исследований зообентоса в 2023 г. состояние воды рек Быстрая и Тайна улучшилось по сравнению с результатами 2022 г. Также наблюдалось улучшение состояния рек Ушмун и Газимур в районе выше впадения р. Ушмун, они были отнесены к зоне незначительного воздействия. В зоне среднего

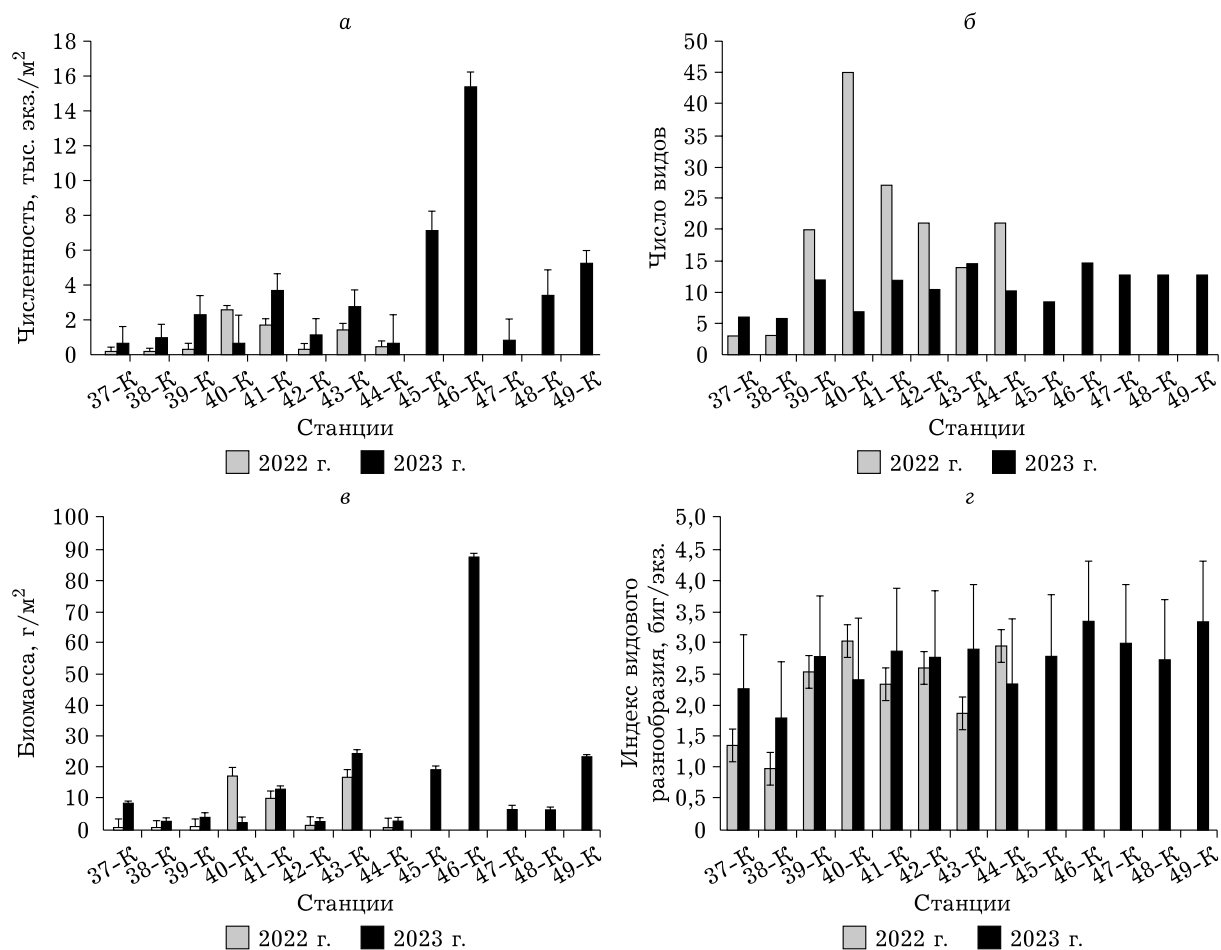


Рис. 4. Распределение количественных показателей макрозообентоса по станциям в водотоках с различным уровнем воздействия объектов БГРК, 2022–2023 гг.

воздействия отмечено преобладание хирономидного комплекса до 100 %. На участках фонового воздействия выявлено массовое развитие поденок разных семейств: Polymitarcyidae вида *Ephoron nigradorsum* (Tshernova, 1934), Ephemerellidae вида *Ephemerella* (*Serratella*) *ignita* (Poda, 1761), Baetidae вида *Baetis* gr. *fuscatus* Linnaeus, 1761, Ephemeridae вида *Ephemerella grvulgata* Linnaeus, 1758. Отмечено, что на

заиленных песках с растительными остатками в массе развивались личинки хирономид (до 100 % численности и биомассы). Сравнительно высокая плотность зообентосных организмов отмечена на участках р. Газимур, ниже впадения в нее притоков.

Ихтиофауна. Биологическое разнообразие ихтиофауны представлено девятью широко распространенными амурскими видами.

Т а б л и ц а 6
Средние значения количественных показателей зообентоса (mean ± SD) на участках рек с различным уровнем воздействия объектов БГРК (2023 г.)

Зона воздействия	Численность, тыс. экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Число видов	Индекс Шеннона
2	0,79 ± 0,18	5,37 ± 2,34	4,00 ± 1,50	3,89 ± 1,5
3	2,46 ± 0,77	6,88 ± 1,97	11,00 ± 0,90	2,71 ± 0,10
4	7,78 ± 2,88	44,93 ± 19,52	14,00 ± 1,20	3,21 ± 0,10

П р и м е ч а н и е. Значительного уровня воздействия по показателям зообентоса в 2023 г. не выявлено, поэтому количественные показатели для указанной зоны не приводятся. Ост. усл. обозн. см в табл. 2.

Структурные показатели ихтиофауны (mean±SD) в водотоках с различным уровнем воздействия объектов БГРК в разные годы исследований

Пояс воздействия	Число видов		Численность, экз./м ²		Индекс Шеннона	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
1	4,3 ± 2,3	2,00 ± 0,58	9,50 ± 4,47	16,00 ± 14,68	1,03	0,413 ± 0,198
2	1,5 ± 0,5	3,50 ± 1,70	20,00 ± 16,01	30,00 ± 6,81	0,27 ± 0,27	1,040 ± 0,250
3	3	6,00 ± 1,30	9,00 ± 13,17	33,00 ± 8,96	0,76	1,420 ± 0,320
4	2	4,00 ± 1,06	23,50 ± 22,73	53,00 ± 18,10	0,1	0,740 ± 0,570

П р и м е ч а н и е. См. табл. 2.

По своему происхождению, особенностям биологии виды, слагающие ихтиофауну бассейна р. Газимур, относятся к пяти фаунистическим комплексам: бореально-равнинный (*Phoxinus czekanowskii* Dybowski, 1869, *Cobitis melanouleuca* Nichols, 1925, *Gobio gobio synocephalus* Dybowski, 1869), бореально-предгорный (*Brachymystax lenok* Pallas, 1773, *Phoxinus lagowskii* Dybowski, 1869, *Barbatula toni* Dybowski, 1869), древний верхнетретичный (*Rhodeus sericeus*), автохтонный китайский (*Lefua pleskei* Herzenstein, 1887) и индийский (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877). Эндемичные виды рыб в составе ихтиофауны отсутствуют.

По своей биотопической принадлежности встречены реофилы (*Brachymystax lenok*), реолимнофилы (*Phoxinus lagowskii*, *Barbatula toni*, *Rhodeus sericeus*), лимнореофилы (*Phoxinus czekanowskii*, *Gobio gobio synocephalus*, *Cobitis melanouleuca*, *Perccottus glenii*, *Lefua pleskei*).

В 2022 г. наибольшая численность рыб наблюдалась в зоне значительного воздействия, а наименьшая – в фоновых водотоках и на участках рек зоны среднего воздействия. Обратная ситуация отмечалась в 2023 г., наибольшее количество видов и численность фиксировались в зонах среднего и незначительного воздействия, чуть меньше – на фоновом участке (табл. 7).

В контрольных уловах до 40 % численности приходилось на *Phoxinus lagowskii*, доля *Phoxinus czekanowskii* составляла 32 %, *Rhodeus sericeus* – 13 %, *Perccottus glenii* и *Barbatula toni* – по 4 %, *Brachymystax lenok* и *Cobitis melanouleuca* – по 3 %, и *Lefua pleskei* – 1 %. Более разнообразный видовой состав ихтиофауны имеет р. Газимур, чем его притоки.

ОБСУЖДЕНИЕ

Гидробиоценоз является сложной многокомпонентной системой, развитие которой в водных экосистемах определяется многочисленными факторами и связями. Формирование сообществ гидробионтов рек обуславливается непосредственно переносом водных масс, а именно скоростью течения, под воздействием которого происходит становление грунтов, выравниваются все гидрологические градиенты, повышается возможность удержания организмов в толще воды [Киселев, 1969]. С гидродинамическими факторами тесно связаны показатели светового режима экосистемы. Среди них основная роль отводится прозрачности воды [Rakhuba, 2021]. К примеру, чувствительность водорослей к свету избирательна и зависит во многом от экологии вида. Для обследованных водотоков бассейна р. Газимур отмечено доминирование в фитопланктоне преимущественно диатомовых водорослей. Диатомовые менее требовательны к свету, легче переносят помутнение вод за счет содержания взвешенных минеральных частиц [Kooistra et al., 2007; Shi et al., 2020]. Высокая скорость течения рек может препятствовать развитию планктонной фауны вследствие травмирования беспозвоночных [Trinci et al., 2017]. Одной из возможных причин низкого видового богатства и численности биоты в зоне значительного воздействия (реки Тайна и Быстрая) может являться мутность воды, отмеченная нами во время проведения исследований (см. табл. 1). В то же время на юго-востоке Забайкальского края продолжается влияние на речные экосистемы накопленного негативного эффекта многолетней добычи полезных ископаемых [Михеев, 2009; Куклин, 2017; Kuklin, Tsybekmitova,

2021]. Хотя большинство водотоков территории исследования представляет собой малые и средние по протяженности реки, находящиеся в естественном состоянии. Исключением является река Быстрая, в верхнем течении которой ранее производилась добыча россыпного золота. На момент проведения наших исследований в 2023 г. рекой активно размывались отстойники с накопленными мелкодисперсными осадками. В результате размыва значительно повысилась мутность реки, которая сохраняется и в р. Тайна (образуемой слиянием рек Средняя и Быстрая). Добыча россыпного золота в р. Газимурская Кавыкуча и в притоке р. Синяха также приводит к повышению мутности в р. Газимур и оказывает влияние на распространение и состав гидробионтов [Казыкина, 2015; Zyкова, 2020; Kuklin, Tsybekmitova, 2021]. Установлено, что повышенная концентрация взвешенных веществ в воде оказывает воздействие на сообщества зоопланктона [Jiang et al., 2010], на трофическую цепь “рыба – зоопланктон” [Chen, Chen, 2017].

Высокая миграционная способность Al, As, Sr, Cu, Mn, Zn, Fe, V в рассматриваемых речных водах позволяет им накапливаться до концентраций, превышающих ПДК, вне зависимости от зон воздействия БГРК. В результате они могут активно накапливаться гидробионтами [Зубарев, Бурик, 2019; Hussain et al., 2021; Kuklin, Tsybekmitova, 2021].

Характерной чертой формирования флористического состава фитопланктона обследованной территории являются особенности гидрологического режима [Ташлыкова, Куклин, 2014; Никулина, Куклин, 2015]. Таксономическая структура сообществ планктонных водорослей характеризовалась неоднородностью. В оба года исследования в фитопланктоне преобладали диатомовые водоросли. В 2022 г. в составе субдоминантного комплекса зоны значительного воздействия характерна обильная вегетация зеленых водорослей, а фоновой зоны – цианобактерий. Для июня 2023 г. характерен поздневесенний тип фитопланктона, когда в толще воды преобладают диатомовые и золотистые водоросли. В фитопланктоне в этот период только начинают активизироваться зеленые водоросли и цианобактерии. В планктоне станций зоны значительного воздействия отмечено присутствие эвгленовых водорослей, в зоне средней степе-

ни воздействия – цианей. В целом, структура сообществ фитопланктона зон с различной степенью воздействия, представленная на графике многомерного шкалирования (MDS), существенно не отличается (см. рис. 2). Выявленные закономерности в большей степени отражают тип среды обитания.

Поздняя весна и начало лета – период наибольшего разнообразия и обилия макроводорослей [Sheath, Burkholder, 1985; Sheath et al., 1986]. Состав и структура сообществ макроводорослей в исследованных малых реках развиваются с доминированием представителей порядка улотриковых в эпилимнине. В средних реках с развитием водной растительности эпифитно развивается кладофора. Состав и структура сообществ соответствуют раннелетнему комплексу. В осенний период следует ожидать увеличения роли кладофоры и ностокковых в эпилимнине, что наблюдалось в бассейнах рек Хилок и Аргунь [Куклин, 2002, 2009а, б]. Для рек, имеющих широкую пойму с переувлажненными и заболоченными участками, наряду с хетофоровыми значительную долю в фитомассе сообществ макроводорослей вносят ностокковые, в частности *Nostoc verrucosum* и *Nostoc carneum* C. Agardh ex Bornet & Flahault.

Отдельные виды высших водных растений чувствительны к физическим и химическим изменениям в среде и, следовательно, являются хорошими индикаторами настоящих и долговременных экологических изменений [Семенченко, Разлуцкий, 2011]. В исследованных водотоках распространенным видом является *Fontinalis antipyretica*, что также характерно для горных рек Архангельской области [Тетерюк, Железнова, 2008]. Данный вид способен накапливать токсичные элементы [Say, Whitton, 1983, Samecka-Cymerman et al., 2005; Gecheva et al., 2023] и является интересным объектом мониторинга загрязнений воды и характеристики сред с различными типами загрязнений [Cenci, 2000].

Общее обилие и альфа-разнообразие зоопланктона обследованных рек в июле 2022 г. выше, чем в июне 2023 г. Сезонные и межгодовые вариации зоопланктона связаны с изменениями различных климатических, гидрохимических и гидрологических показателей [Афони́на, Итигилова, 2010, 2016; Кулаков, 2018; Федяева, 2024].

Известно, что многие виды олигохет, относящиеся к семейству Tubificidae, являются показателем грязных вод [Finogenova, Lobasheva, 1987; Rodriguez, Reynoldson, 2011; Golubkov et al., 2019]. В чистых водных объектах обитают поденки, веснянки, двусторчатые моллюски и среди хирономид – виды подсемейства Orthocladiinae [Безматерных, 2007; Голубков и др., 2020]. Исследования зообентоса и качества вод рек Забайкальского края показали, что скорость течения и наличие каменистого грунта в водотоках имеют высокую корреляционную связь с числом видов, численностью и биомассой ручейников и поденок. Большинство видов из этих двух отрядов является реофильным, поэтому их представители малочисленны на тех станциях, где скорость течения низкая и преобладает песчано-илисто-каменистый грунт [Наделяева, 2006; Казыкина, 2015].

Ухудшение экологического состояния водотоков (уменьшение количества малых водотоков, загрязнение, нарушение грунта в руслах рек) оказывает негативное воздействие на места обитания, нереста, нагула и миграционных путей рыб. Добыча россыпного золота на притоках р. Газимур может привести к смещению зон негативного влияния, не обусловленного последствием воздействия объектов БГРК, не только вниз, но и вверх по течению. Исследованиями 2022–2023 гг. подтверждено наличие девяти видов рыб в реках, расположенных в зоне промышленного влияния объектов БГРК при сравнении с состоянием проектных решений [Гидробиологические исследования..., 2008; Комплексная экологическая оценка..., 2019]. Следовательно, в этот период не произошло значительных изменений в видовом разнообразии ихтиофауны, учтенных до ввода объекта в эксплуатацию. Распределение рыбного населения водотоков неравномерное и носит характер ярко выраженного сезонного процесса, определяемого биологией видов и условиями среды их обитания.

ВЫВОДЫ

1. В целом, гидробионты исследованных водотоков представлены широко распространенными видами Сибири и Дальнего Востока. В единичных экземплярах обнаружена из числа редких и исчезающих видов жемчужница даурская – двусторчатый моллюск се-

мейства Unionidae рода *Middendorffinaia* (занесен в Красную книгу РФ).

2. Основным выявленным фактором, оказывающим влияние на биологическое разнообразие гидробионтов, является накопленный в верхнеамурском бассейне кумулятивный негативный эффект многолетней добычи полезных ископаемых. Зоны их воздействий накладываются на территорию расположения объектов БГРК. Кумулятивный эффект проявляется в виде повышенного содержания взвешенных веществ и химических элементов в водной среде.

3. Оценка качества вод на основе разнообразия, обилия гидробионтов и индекса *H* показывает, что в зону антропогенного влияния входят экосистемы рек Быстрая (37-К2), Тайна (38-К) и Ильдикан (47-К).

4. По результатам проведенных комплексных исследований выделены индикаторные виды гидробионтов для последующего их использования в мониторинге воздействий горнорудного производства на водные экосистемы. В качестве индикаторов фоновых участков выделен ксеносапробионтный вид водорослей – *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart. Schmidt in A. Schmidt, 1899, из представителей ихтиофауны – ленок *Brachymystax lenok* и сибирский голец-усач *Barbatula toni*. Для участков с незначительным воздействием – нитчатые водоросли *Chaetophora lobata* и *Draparnaldia mutabilis*, для участков со значительным воздействием – из зоопланктонного сообщества – *Brachionus nilsoni* Ahlstrom. 1940, из высших водных растений – *Fontinalis* sp.

Благодарности

Выражаем благодарность Е. Б. Фефиловой (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН) в определении видов Harpacticoida.

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в разработку концепции, проведении исследования, в подготовку и редактирование рукописи.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Большой научной экспедиции СО РАН “Углубленное изучение биоразнообразия в районе объектов Забайкальского дивизиона компании “Норникель”: определение масштабов зоны негативного воздействия, оценка степени воздействия на состояние биоразнообразия в разных поясах”, государственного задания № 121032200070-2 “Геоэкология водных экосистем

Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза. Основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов” и государственного задания Института биофизики СО РАН № FWES-2024-0024.

Соблюдение этических стандартов

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Абакумов В. А. Контроль качества поверхностных вод СССР по гидробиологическим показателям. М.: Гидрометеиздат, 1979. 524 с.
- Аннотированный список флоры и фауны водотоков и водоемов бассейна р. Аргунь. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 152 с.
- Афоница Е. Ю., Афоница А. В. Оценка состояния гидробиоценозов малых водотоков бассейна р. Аргунь // Теорет. и прикл. экология. 2017. № 3. С. 57–65.
- Афоница Е. Ю., Итигилова М. Ц. Сезонная и межгодовая динамика зоопланктона реки Онон (Забайкальский край) // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 3. С. 89–93.
- Афоница Е. Ю., Итигилова М. Ц. Зоопланктон притоков реки Аргунь при разном уровне воды // Вода: химия и экология. 2016. № 9. С. 47–55.
- Базарова С. Б. Воздействие горнодобывающих предприятий на экосистему региона и оценка эффективности их экологической деятельности // Региональная экономика и управление: электрон. науч. журн. 2007. № 2 (10). 1008.
- Безматерных Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири. Новосибирск, 2007. 87 с.
- Бобров А. А., Чемерис Е. В. Изучение растительного покрова ручьев и рек: методика, приемы, сложности // Гидробиотаника 2005: материалы VI Всерос. шк.-конф. Рыбинск: Дом печати, 2006. С. 181–203.
- Гидробиологические исследования в рамках инженерно-экологических изысканий (Быстринский ГОК) // Отчет о научно-исследовательской работе по договору с ООО “ГРК” Быстринское”. Чита: ОБЭФ “Байкал”, 2008. 22 с.
- Голубков С. М., Балущкина Е. В., Голубков М. С. Восстановление сообществ зообентоса и качества вод речной экосистемы после снижения уровня органического загрязнения // Сиб. экол. журн. 2020. Т. 27, № 2. С. 184–196.
- Зубарев В. А., Бурик В. Н. Гидрохимическая характеристика рек Еврейской автономной области и содержание тяжелых металлов в жабрах голяна (*Phoxinus lagowskii*) // Региональные проблемы. 2019. № 22 (1). С. 31–37.
- Зуева Н. В., Алексеев Д. К., Куличенко А. Ю., Примак Е. А., Зуев Ю. А., Воякина Е. Ю., Степанова А. Б. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах. СПб.: РГГМУ, 2019. 140 с.
- Зыкова Е. Х., Рахманова Н. В. Зоопланктон водотоков бассейна реки Аргунь в 2016–2017 годах // Водные ресурсы и водопользование. 2019. № 9. С. 86–96.
- Казыкина С. М. Качество воды малых рек в районе золотодобывающего предприятия рудника “Ключи” // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: сб. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2015. С. 320–325.
- Казыкина С. М., Зыкова Е. Х. Оценка качества воды р. Аргунь и ее притоков по водным организмам // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2019. № 8. С. 56–65.
- Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1981. 187 с.
- Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. Т. 1. 658 с.
- Кожова О. М., Мельник Н. Г. Инструкции по обработке проб планктона счетным методом. Иркутск: ИГУ, 1978. 52 с.
- Комплексная экологическая оценка влияния хвостохранилища на водные объекты, прогноз миграции токсичных элементов ООО “ГРК “Быстринское”. Чита: ИПРЭК СО РАН, 2019. 85 с.
- Куклин А. П. Экология макрофитных водорослей Восточного Забайкалья (на примере водоемов бассейна р. Хилок): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2002. 18 с.
- Куклин А. П. Макрофитные водоросли бассейна реки Аргунь // Аргунские просторы. Чита: Экспресс-Изд-во, 2009а. С. 113–119.
- Куклин А. П. Макрофитные водоросли в малых реках бассейна реки Хилок // Изв. ИГУ. Серия: Биология. Экология. 2009б. Т. 2, № 1. С. 45–48.
- Куклин А. П. Геохимические условия ландшафта как фактор формирования видового состава макроскопических водорослей в малых реках Байкальского и Амурского бассейнов // Вопросы соврем. альгологии. 2017. № 1 (13). С. 9.
- Кулаков Д. В. Сезонные и межгодовые изменения зоопланктона реки Неман // Принципы экологии. 2018. № 2. С. 87–102.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Зообентос и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 53 с.
- Михеев И. Е. Верхнеамурская ихтиофауна в лабильных экологических условиях // Природоохранное сотрудничество Читинской области (РФ) и автономного района Внутренняя Монголия (КНР) в трансграничных экологических регионах. Чита, 2007. С. 238–242.
- Михеев И. Е. Новые факторы риска для рыбных ресурсов в бассейне Верхнего Амура (Забайкалье) // III Дружбинские чтения: Комплексные исследования природной среды в бассейне р. Амур: материалы межрег. науч. конф., Хабаровск, 6–9 октября 2009 г.: в 2 кн. Хабаровск: ДВО РАН, 2009. С. 225–228.
- Наделяева С. М. Зообентос рек Верхне-Амурского и Байкало-Енисейского бассейнов (Читинская область) и его использование для оценки качества воды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2006. 21 с.
- Никулина Т. В., Куклин А. П. Диатомовая флора реки Газимур (Верхний Амур, Забайкальский край) // Вопросы соврем. альгологии. 2015. № 3. С. 26.
- Обязов В. А., Смахтин В. К. Гидрологический режим рек бассейна реки Аргунь // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Тр.

- II Всерос. науч. конф. с междунар. участием. 2014. Т. 1. С. 210–216.
- Оглы З. П., Качаева М. И. Биоразнообразие водных экосистем Забайкалья: Каталог водорослей вернеамурского бассейна. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 91 с.
- Основные социально-экономические показатели муниципальных образований Забайкальского края в январе – июле 2024 года. Чита: Забайкалкрайстат, 2024. 39 с.
- Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 20.10.2022).
- Руководство по определению биомассы видов фитопланктона пелагиали озера Байкал: методич. пособие / ред. Е. В. Лихошвай. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2011. 51 с.
- Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Изд-во “Университет и школа”, 2003. 157 с.
- СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Постановление от 26 сентября 2001 года № 24. М., 2021. 46 с.
- Семенченко В. П., Разлуцкий В. И. Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Беларус Навука, 2011. 329 с.
- Ташлыкова Н. А., Куклин А. П. Водоросли малых водотоков бассейна реки Онон (Кыринский район, Забайкальский край) // Вестн. Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН. 2014. № 2. С. 79–87.
- Тетерук Б. Ю., Железнова Г. В. Водная флора бассейна среднего течения реки Вычегда // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: материалы Всерос. науч.-практ. конф. 2008. № 6. С. 107–110.
- Типы местности и природное районирование Читинской области / отв. ред.: С. Д. Попов, В. С. Преображенский. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 158 с.
- Федяева Л. А. Межгодовые изменения зоопланктона протоков дельты Волги в весенне-летний период // Трансформация экосистем. 2024. Т. 7, № 1. С. 147–176.
- Alimov A. F. The Analysis of Results of Monitoring of Biological Communities in Some Lakes // J. Sib. Fed. Univ. Biol. 2017. 10 (4). P. 395–403. doi: 10.17513/1997-1389-0041
- Beals E. W. Bray-Curtis ordination: an effective strategy for analysis of multivariate ecological data // Adv. Ecol. Res. 1984. Vol. 14. P. 1–55.
- Bleuel C., Wesenberg D., Sutter K., Miersch J., Braha B., Borlocher F., Krauss G. J. The use of the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw. as a bioindicator for heavy metals // Sci. Total Environ. 2005. N 345. P. 13–21.
- Camizuli E., Monna F., Scheifler R., Amiotte-Suchet P., Losno R., Beis P., Bohard B., Chateau C., Alibert P. Impact of trace metals from past mining on the aquatic ecosystem: A multi-proxy approach in the Morvan (France) // Environ. Res. 2014. Vol. 134. P. 410–419. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2014.07.008>
- Casiot C., Egal M., Elbaz-Poulichet F., Bruneel O., Bancelon-Montigny C., Cordier M. A., Gomez E., Aliaume C. Hydrological and geochemical control of metals and arsenic in a Mediterranean river contaminated by acid mine drainage (the Amous River, France); preliminary assessment of impacts on fish (*Leuciscus cephalus*) // Appl. Geochem. 2009. N 24. P. 787–799.
- Cenci R. M. The use of aquatic moss (*Fontinalis antipyretica*) as monitor of contamination in standing and running waters: limits and advantages // J. Limnol. 2000. N 60. P. 53–61.
- Chen M., Chen F. Effect of suspended solids on interaction between filter-feeding fish *Aristichthys nobilis* and zooplankton in a shallow lake using a mesocosm experiment // J. Freshwater Ecol. 2017. Vol. 32, N 1. P. 219–227.
- Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M. O., Kawabata Z.-I. I., Knowler D. J., Lévêque C., Naiman R. J., Prieur-Richard A.-H. H., Soto D., Stiassny M. L. J. et al. Freshwater Biodiversity: Importance, Threats, Status and Conservation Challenges // Biol. Rev. 2006. N 81. P. 163–182.
- Finogenova N. P., Lobasheva T. M. Growth of *Tubifex tubifex* Muller (Oligochaeta, Tubificidae) under various trophic conditions // Int. Rev. Hydrobiol. 1987. Vol. 72. P. 709–726.
- Gecheva G., Stankova S., Varbanova E., Kaynarova L., Georgieva D., Stefanova V. Macrophyte-Based Assessment of Upland Rivers: Bioindicators and Bio-monitors // Plants. 2023. Vol. 12. 1366. <https://doi.org/10.3390/plants12061366>
- Golubkov S. M., Golubkov M. S., Tiunov A. V. Anthropogenic carbon as a basal resource in the benthic food webs in the Neva Estuary (Baltic Sea) // Mar. Pollut. Bull. 2019. Vol. 146. P. 190–200.
- Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org>. (дата обращения 04.04.2024).
- Hammer Ø. Paleontological Statistics, Version 2.17. Reference Manual. Oslo: Natural History Museum, Univ., 2012. 229 p.
- Hussain M. M., Wang J., Bibi I., Shahid M., Niazi N. K., Iqbal J., Mian I. A., Shaheen S. M., Bashir S., Shah N. S., Hina K., Rinklebe J. Arsenic Speciation and Biotransformation pathways in the Aquatic Ecosystem: The Significance of Algae // J. Hazard. Mater. 2021. Vol. 403. P. 124027. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124027
- Iversen L. L., García-Girón J., Pan Y. Towards linking freshwater plants and ecosystems via functional biogeography // Aquat. Bot. 2022. Vol. 176. P. 103454. doi: 10.1016/j.aquabot.2021.103454
- Jiang W. W., Liu Z. W., Guo L., Chen F. Z., Song X. L. Experimental study on the effect of sediment resuspension on zooplankton community // J. Lake Sci. 2010. Vol. 22. P. 557–562.
- Kooistra W. H., Gersonde R., Medlin L. K., Mann D. G. The origin and evolution of the diatoms: their adaptation to a planktonic existence // Evolut. Primary Produc. Sea. 2007. P. 207–249.
- Kuklin A. P., Tsybekmitova G. Ts. Pollution and biodiversity: a case study of the Argun River basin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Regions of New Development: the Current State of Natural Complexes and Their Protection. 2021. P. 012017. doi: 10.1088/1755-1315/895/1/012017

- Magurran A. E. Ecological diversity and its measurement. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1988. 179 p.
- Miller J. R. The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites // J. Geochem. Explor. 1997. N 58. P. 101–118.
- Rakhuba A. V. Spatial heterogeneity of hydrochemical and trophic characteristics of the Kuibyshev reservoir in summer // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 818. 2021. 012036. doi: 10.1088/1755-1315/818/1/012036
- Ranasinghe R., Wu C. S., Conallin J., Duong T. M., Anthony E. J. Disentangling the Relative Impacts of Climate Change and Human Activities on Fluvial Sediment Supply to the Coast by the World's Large Rivers: Pearl River Basin, China // Sci. Rep. 2019. N 9. P. 9236.
- Rodriguez P., Reynoldson T. B. The Pollution Biology of Aquatic Oligochaetes. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2011. 265 p.
- Samecka-Cymerman A., Kolon K., Kempers A. J. A comparison of native and transplanted *Fontinalis antipyretica* Hedw. as biomonitors of water polluted with heavy metals // Sci. Total Envir. 2005. Vol. 341, N 1-3. P. 97–107.
- Say P. J., Whitton B. A. Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. 1: *Fontinalis antipyretica* Hedw // Hydrobiologia. 1983. Vol. 100. P. 245–260.
- Sheath R. G., Burkholder J. M. Characteristics of softwater streams in Rhode Island. II. Composition and seasonal dynamics of macroalgal communities // Hydrobiologia. 1985. Vol. 128. P. 109–118.
- Sheath R. G., Burkholder J. M., Hambrook J. A., Hoggland A. M., Hoy E., Kane M. E., Morison M. O., Steinman A. D., van Alstyne K. L. Characteristics of softwater streams in Rhode Island. III. Distribution of macrophytic vegetation in a small drainage basin // Hydrobiologia. 1986. Vol. 140. P. 183–191.
- Shi P., Xie P., Liu L., Cui J., Wang X., Yang P. Photoacclimation in freshwater diatoms: Interspecific and inter-habitat comparisons // J. Freshwater Ecol. 2020. Vol. 35, N 1. P. 391–407.
- Trinci G., Harvey G. L., Henshaw A. J., Bertoldi W., Höfker F. Life in turbulent flows: interactions between hydrodynamics and aquatic organisms in rivers // WIREs Water. 2017. Vol. 4, N 3. doi: 10.1002/wat2.1213
- WoRMS: World Register of Marine Species. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.marinespecies.org>. (дата обращения 08.04.2024).
- Zykova E. H. Species diversity of zooplankton in the Argun River basin in 2018 // Limnol. Freshwater Biol. 2020. N 4. P. 771–772.

Biological diversity of the hydrobionts in watercourses of the Upper Amur basin under the influence of mining production

G. TS. TSYBEKMITOVA¹, M. I. GLADYSHEV^{2, 3}, I. E. MIKHEEV¹, B. B. BAZAROVA¹, A. P. KUKLIN¹, E. YU. AFONINA¹, O. P. DUBOVSKAYA^{2, 3}, N. A. TASHLYKOVA¹, E. S. KRAVCHUK², S. V. KAZYKINA¹, S. P. SHULEPINA³, S. V. BORZENKO¹, A. B. SHOYDOKOV¹, I. V. ZUEV², V. I. KOLMAKOV^{2, 3}, P. YU. ANDRUSHCHENKO^{2, 3}, A. A. SUKHANOV¹, T. A. NOVGORODOVA⁴, V. V. GLUPOV⁴

¹*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of SB RAS
16a, Nedorezova st., Chita, Transbaikal region, 672014, Russia
E-mail:gazhit@bk.ru*

²*Institute of Biophysics, Federal Research Center KSC of SB RAS
50/50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia*

³*Siberian Federal University
79, pr. Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

⁴*Institute of Systematics and Ecology of Animals of SB RAS
11, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia*

The article presents the results of a study of the biological diversity of hydrobionts in the watercourses of the Upper Amur basin, located in the zone of influence of the mining facility of the mining company "Bystrinsky LLC" (BGRK). The Upper Amur Basin is a historical mining region. In addition to the functioning of the BGRK, other mining companies also produce ore and placer gold in this basin. The main studies of the impact of mining on the aquatic ecosystems of the Upper Amur basin are related to the study of the transboundary Argun River. The purpose of the work is to study the biological diversity of hydrobionts of watercourses of the Upper Amur basin, on the example of the Gazimur River, within the zone of possible negative impact of BGRK facilities. Currently, the hydrogeochemical anomaly of the mining area is a factor enriching the hydrochemical state of the aquatic environment. The high migration capacity of Al, As, Sr, Cu, Mn, Zn, Fe, V in the river waters under consideration allows them to accumulate to concentrations exceeding MPC, regardless of the degree of exposure to BGRK. Hydrobiological studies of the Gazimur River and its tributaries have shown that hydrobionts are represented by widespread species of Siberia and the Far East. Seasonal and interannual variations of biota are associated with changes in climatic, hydrochemical and hydrological indicators. One of the possible reasons for the low species richness and extremely low number of aquatic organisms near the BGRK (the Taina and Bystraya Rivers) may be the high turbidity of river water. Based on the results of the conducted research, indicator species of hydrobionts were identified for subsequent monitoring of the effects of mining on aquatic ecosystems.

Key words. Upper Amur basin, Transbaikal division, hydrobiology, biological diversity, hydrochemistry, watercourses.