

## Зоопланктон, зообентос, зооперифитон

УДК 581.526.323.2

### ЗООБЕНТОС ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА РЕКИ БУХТАРМА (ВЕРХНИЙ ИРТЫШ, ЮГО-ЗАПАДНЫЙ АЛТАЙ) НА РЕФЕРЕНТНЫХ УЧАСТКАХ И В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ

А. А. Евсеева

*Ханты-Мансийский отдел Тюменский филиал ФГБНУ “ВНИРО” (“Госрыбцентр”)  
628002 г. Ханты-Мансийск, ул. Гагарина 190В, e-mail: annaeco@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.08.2020

Описаны состав, структура и пространственное распределение зообентоса водотоков бассейна р. Бухтарма, приведены количественные показатели бентоса нижнего течения р. Бухтарма. Преобладание насекомых из отрядов поденок, ручейников и веснянок характерно для водотоков бассейна р. Бухтарма и связано с наличием в реках каменистых грунтов, быстрым течением, умеренно-холодноводным температурным режимом и высоким содержанием в воде кислорода – факторов, наиболее благоприятных для этих групп беспозвоночных. Дана оценка экологического состояния поверхностных вод исследованных водотоков с помощью методов биоиндикации, использованы биотические индексы TBI, BMWP, ASPT, EPT. Таксономический состав на каждом из исследованных водотоков и участков рек сформирован в соответствии с совокупностью особенностей экологических условий, связанных с природными и антропогенными факторами. Установлено, что водотоки на референтных участках возможно использовать в качестве эталонных согласно требований Европейской Рамочной водной директивы, также приведена характеристика инвариантных состояний биоценозов нижнего течения р. Бухтарма в импактной зоне с помощью критериев системы экологических модуляций В.А. Абакумова.

*Ключевые слова:* бентос, Верхний Иртыш, водоток, референтные участки, биоиндикация.

DOI: 10.47021/0320-3557-2021-66-83

#### ВВЕДЕНИЕ

Юго-западный Алтай (Рудный Алтай) относится к старейшим горнорудным районам, на его территории ведется активная добыча медных, свинцовых руд, золота и серебра. Деятельность горнодобывающих предприятий является одним из наиболее значимых факторов трансформации как наземных, так и водных экосистем горных территорий. В результате такого воздействия возникают техногенные формы рельефа, трансформируется водный сток рек региона, ухудшается качество поверхностных вод, в том числе, и в результате поступления в водные объекты высокотоксичных для живых организмов соединений тяжелых металлов.

Восточный Казахстан – центр цветной металлургии. Исторически и из-за технологической необходимости сложилось так, что все объекты горного, обогатительного и металлургического производства, а также предприятия теплоэнергетики сконцентрированы на берегах рек. Именно поэтому наиболее существенной проблемой бассейна р. Бухтарма является промышленное загрязнение сбросами сточных и шахтных вод. Загрязнение приводит к серьезным изменениям физико-химических свойств воды, отражающихся на состоянии гидробионтов водоема. Это в свою очередь ведет к деградации водных экосистем. Относительно не-

изменные водотоки сохраняются в основном в предгорьях и горах.

Как ранее отмечалось, при горнодобывающей деятельности медь и цинк являются наиболее распространенными факторами загрязнения водоемов тяжелыми металлами, вызывая структурные изменения водных экосистем, в том числе и трансформацию их донных сообществ. Наиболее значимыми эффектами тяжелых металлов для сообществ макробеспозвоночных являются: снижение видового богатства и разнообразия, уменьшение доли наиболее чувствительных групп макробеспозвоночных (веснянок, поденок, ручейников), замедление развития и продуктивности донных сообществ [Maret et al., 2003; Morgen, Trumble, 2010; Qu et al., 2010]. Показатели видового богатства имеют некоторые преимущества перед другими биоиндикационными показателями, связанные с его универсальностью, независимостью от наличия индикаторных таксонов. При этом снижение видового богатства макробеспозвоночных при загрязнении водоемов тяжелыми металлами не зависит от типа водного объекта и отмечается не только на территории Казахстана, но и в водных объектах всего мира: водотоках Китая [Qu et al., 2010], Чили [Alvial, 2012], США [Maret et al., 2003], Японии [Iwasaki et al., 2009], Боли-

вии [Smolders et al., 2003], Великобритании [Stockdale et al., 2009]. Различные металлы и их сочетания оказывают схожий негативный эффект на видовое богатство [Morgen, Trumble, 2010; Malaj et al., 2012], что делает этот показатель перспективным в оценке экологического состояния водотоков наряду с другими биотическими индексами. Однако существенные вариации видового богатства рек, различающихся по их положению в речной системе, размеру, гидрологическим и другим естественным факторам формирования зооценозов, затрудняют определение класса качества воды и требуют разработки региональных шкал качества по этому параметру, а также использования большого объема данных для определения фоновых значений видового богатства для рек разного типа [Яныгина, Евсеева, 2018 (Yanygina, Evseeva, 2018)].

Биологическое разнообразие – главное условие устойчивости всей жизни на Земле. Биологическое разнообразие – это главный природный показатель, поддерживающий основные функции биосферы и обеспечивающий ее регенерацию, устойчивость к негативным природным и антропогенным воздействиям. Горные экосистемы характеризуются более высокими, по сравнению с равнинными территориями, показателями биоразнообразия, что, вероятно, связано с большим разнообразием природных условия в горах, мозаичностью местообитаний [Биоразнообразие..., 2006 (Bioraznoobrazie ..., 2006)].

Алтае-Саянский регион занимает трансграничное положение на стыке границ четырех стран – России, Казахстана, Монголии и Китая. В целях сохранения биологического и ландшафтного разнообразия в Алтае-Саянской горной стране создано большое количество особо охраняемых природных территорий различного ранга, в Казахстане это Катон-Карагайский го-

сударственный национальный природный парк (ККГНПП), территория которого входит в состав трансграничного биосферного резервата “Большой Алтай”. Трансграничный биосферный резерват “Большой Алтай” занимает площадь 795200 га в пределах нескольких горных хребтов – Катунский, Листвяга, Южный Алтай, Тарбагатай и Сарым-Сакты.

В целом, Алтае-Саянская горная страна представляет особый интерес в изучении и сохранении биоразнообразия как один из наиболее богатых в таксономическом отношении регионов мира. Высокая значимость Алтае-Саянской горной страны подчеркивается его включением Всемирным фондом дикой природы в список 200 территорий мира, в которых сосредоточено более 90% биоразнообразия планеты. В число основных угроз биоразнообразию, в том числе и горных территорий, входят загрязнение окружающей среды, изменение и разрушение местообитаний. Алтае-Саянская горная страна в целом относится к территориям, наименее измененным в результате хозяйственной деятельности человека. Однако отдельные ее участки испытывают интенсивные антропогенные модификации, что несет угрозу сохранения биоразнообразия [Яныгина, Евсеева, 2018 (Yanygina, Evseeva, 2018)].

Для оценки возможных изменений, предотвращения негативных последствий и сохранения биоразнообразия региона необходимо проведение исследований по оценке и выявлению особенностей динамики разнообразия на референтных участках, а также и на участках, подверженных антропогенной нагрузке.

Цель данной работы – изучение видового богатства зообентоса водотоков бассейна р. Бухтарма (Юго-Западный Алтай) и оценка особенностей его трансформации в зоне деятельности горнодобывающих предприятий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор материала проводили в 2007–2019 гг. Было обследовано 12 водотоков, на 16 станциях отобрано 213 качественных и 42 количественных проб зообентоса. Референтные участки бассейна р. Бухтарма (р. Бухтарма (с. Берель), р. Белая Берель, р. Большой Кокколь, р. Язовая, р. Сахатушка, р. Арасан, р. Сарымсакты, р. Черновая, р. Таутекели, р. Чиндагатуй, р. Тургусун, р. Щебнюшка) обследовали эпизодически (табл. 1). Результаты изучения зообентоса некоторых водотоков ККГНПП в период 2009–2011 гг. опубликованы в ряде статей [Евсеева, 2014, 2016 (Evseeva, 2014, 2016); Евсеева, Кушникова, 2016 (Evseeva, Kushnikova, 2016)].

На участке р. Бухтарма в районе с. Малеевск и с. Зубовка исследования проводили в 2007–2018 гг. ежегодно в период открытой воды с апреля по октябрь в рамках мониторинга качества поверхностных вод согласно Программе Комплексной лаборатории оценки качества окружающей среды “Казгидромет” по Восточно-Казахстанской области.

Отбор и обработку проб макрозообентоса проводили в соответствии с методикой, изложенной в “Руководстве по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем” [Руководство..., 1992 (Rukovodstvo..., 1992)].

**Таблица 1.** Характеристика станций отбора проб зообентоса водотоков бассейна р. Бухтарма**Table 1.** Characteristics of zoobenthos sampling stations in the Bukhtarma river basin

№	Водоток Watercourse	Годы исследований Years of research	Место отбора проб The location of the sampling
1	р. Большой Кокколь	2011 г.	1.0 км выше Коккольского водопада
2	р. Белая Берель	2010–2011 г.	2.0 км ниже впадения р. Большой Кокколь
3		2009–2011 г., 2016 г., 2018 г.	1.0 км выше с. Урыль
4	р. Язовая	2009–2011 гг., 2016 г., 2018 г.	4.0 км ниже каскада водопадов
5	р. Сахатушка	2011 г.	1.0 ниже берельских курганов
6	р. Чиндагатуй	2019 г.	0.7 км выше устья
7	р. Черновая	2016 г., 2018 г.	0.2 км выше с. Черновое
8	р. Арасан	2016 г., 2018 г.	1.0 км ниже оз. Рахмановское
9	р. Сарымсақты	2016 г., 2018 г.	1.8 км выше с. Катон-Карагай
10	р. Таутекели	2019 г.	1.5 км выше устья
11	р. Тургусун	2012 г.	в створе гидропоста
12	р. Щебнюшка	2012 г.	1.0 км выше впадения в р. Тургусун
13	р. Бухтарма	2011 г.	0.5 км выше с. Жамбыл
14		2009–2011 гг., 2016 г., 2018 г.	с. Берель, в створе гидропоста
15		2007–2018 гг.	0.3 км выше с. Малеевск
16		2007–2018 гг.	0.3 км ниже сбросов сточных вод обогатительной фабрики Зырянского свинцового комбината, 5.9 км ниже впадения р. Березовка

Количественные показатели исследовали только для двух створов р. Бухтарма в нижнем течении в период 2007–2009 гг. Количественные пробы зообентоса отбирали гидробиологическим скребком с режущей кромкой шириной 18 см, мельничный газ №23. На каждом участке пробы собирали с поверхности грунта полосой в 1 м пятикратно, площадь облова при этом составляла 0.9 м<sup>2</sup>. Животных выбирали в чашке Петри под бинокляром и помещали в емкости с 4%-ным раствором формалина. В лаборатории беспозвоночных определяли до вида (кроме хирономид, идентифицированных до семейства, и водных клещей, идентифицированных до надсемейства) и взвешивали на аналитических электронных весах ALJ 220-4 фирмы “Kern” (Германия) с дискретностью отсчета 0.1 мг.

Определение видов проводили по соответствующим определителям. Точность определения варьировала в зависимости от степени изученности данной таксономической группы. Большая часть групп определена до видов или родов; большинство представителей личинок двукрылых (Chironomidae, Simuliidae и др.), личинок жуков – только до семейства. Поэтому согласно А.И. Баканова использовано понятие “низший определяемый таксон” (НОТ, называемый далее по тексту таксоном или видом) [Баканов, 1997 (Bakanov, 1997)].

Доминантов определяли по частоте встречаемости согласно предложенного ран-

жирования: константные – встречаемость более 50%, второстепенные – 25–50%, случайные – менее 25% [Баканов, 2005 (Bakanov, 2005)].

Сообщества макрозообентоса характеризовали следующими метриками: числом таксонов в пробе (S), биотическим индексом Вудивисса TBI, индексами BMWP, ASPT, EPT [Семенченко, 2004 (Semenchenko, 2004); Вшивкова, 2019 (Vshivkova, 2019)], а также численностью (N, экз./м<sup>2</sup>) и биомассой (B, г/м<sup>2</sup>), индексом видового разнообразия Шеннона-Уивера (H, бит/экз.). Индекс видового разнообразия рассчитывали по численности беспозвоночных. При оценке экологического состояния среды по индексу Шеннона использовали неравномерную шкалу, принимая для 1 класса (очень чистые) значения индекса >3; 2 класса (чистые) – 2.01–3.00; 3 класса (умеренно загрязненные) – 1.51–2.00; 4 класса (загрязненные) – 1.01–1.50; 5 класса (грязные) – 0.50–1.00; 6 класса (очень грязные) – <0.50 [Яныгина, 2014 (Yanygina, 2014)].

Краткая характеристика гидрохимического режима импактной зоны р. Бухтарма представлена по результатам анализа поверхностных вод сотрудниками Лаборатории мониторинга окружающей среды “Казгидромет по Восточно-Казахстанской области”. Приведенные предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ рыбохозяйственного значения.

Краткая характеристика гидрологического режима исследованных рек. Бухтарма – река в Восточном Казахстане, крупный правый приток Иртыша. Ее длина 405 км, площадь бассейна 15485 км<sup>2</sup>, падение 2290 м. Исток в ледниках хребта Южный Алтай. По водоразделу проходит граница с Республикой Алтай в составе России. В верховьях р. Бухтарма – это горная река, текущая в узкой долине, в низовьях характер течения более спокойный. Средняя густота речной сети составляет от 0.30 км/км<sup>2</sup> на левобережье р. Бухтарма, до 0.70 км/км<sup>2</sup> на правобережье. Питание смешанное. Половодье весной и летом. Замерзает со второй половины ноября до апреля. Толщина льда достигает 50–80 см. Среднегодовой расход воды составляет 238 м<sup>3</sup>/с. Река Бухтарма имеет около 250 притоков, общей длиной около 800 км, на водосборе имеется 295 озер общей площадью 35 км<sup>2</sup> [Калачев, Лаврентьева, 1965 (Kalachev, Lavrent'eva, 1965)].

Река Белая Берель – правый приток р. Бухтарма. Длина реки 68 км, площадь бассейна около 1060 км<sup>2</sup>, падение 1454 м. Питается водами, вытекающими из ледников Катунского хребта Алтая. Белая Берель вытекает из-под ледников Большой Берельский (непосредственно на южном склоне массива Белуха) и Малый Берельский, на южном склоне Катунского хребта на Алтае. Высота точки, где соединяются ледники, составляет 2102 м. Река течет сначала на юго-запад, затем на юг.

Река Большой Кокколь – левый приток р. Белая Берель, длина 13 км. На р. Большой Кокколь имеется Коккольский водопад высотой 60 м. Река Язовая – правый приток р. Белая Берель, длина реки 32 км, площадь водосбора 192 км<sup>2</sup>. Река Арасан – левый приток р. Белая Берель, длина реки 19 км, площадь водосбора 115 км<sup>2</sup>.

Река Черновая – правый приток р. Бухтарма, длина реки 56 км, площадь водосбора 651 км<sup>2</sup>. Река Сахатушка – правый приток р. Бухтарма, длина 11 км, площадь водосбора 69 км<sup>2</sup>. Чиндагатуй (Шиндагатуй) – правый приток р. Бухтарма, протекает в Кош-Агачском районе Республики Алтай (Россия) и Катон-Карагайском районе Восточно-Казахстанской области (Казахстан). Длина реки составляет 34 км (из них на территории Казахстана 4.3 км). Берет начало на территории России, у горы Молибдек к югу от Алахинского озера. В верхней половине река течет между гор на юго-восток, в нижней – на юго-запад. Устьевая часть находится в Казахстане, где река разделяется на рукава и впадает в р. Бух-

тарма по правому берегу в 309 км от ее устья (в 32 км к востоку от села Аршаты).

Река Тургусун впадает с правого берега в р. Бухтарма, длина реки 32 км, площадь водосбора 1250 км<sup>2</sup>. Река Щебнюшка – левобережный приток р. Тургусун, длина 13 км, площадь водосбора 42 км<sup>2</sup>.

Река Сарымсакты – левый приток р. Бухтарма, начинается с высокогорного озера на одноименном хребте у подножия горы Кызылтас, длина 43 км, площадь водосбора 634 км<sup>2</sup>. Река Таутекели – левобережный приток р. Бухтарма, длина 14 км, площадь водосбора 95 км<sup>2</sup> [Калачев, Лаврентьева, 1965 (Kalachev, Lavrent'eva, 1965)].

Согласно классификации Л.М. Корытного [Корытный, 2001 (Korytnyj, 2001)] по длине и площади водосбора р. Бухтарма относится к категории “большая”, реки Белая Берель и Черновая – “средняя”, реки Язовая, Тургусун, Сарымсакты, Чиндагатуй – “малая”, реки Большой Кокколь, Арасан, Сахатушка, Щебнюшка, Таутекели – “очень малая”.

Таким образом, все исследованные реки типично горные, характеризующиеся весенними бурными паводками, растянутым половодьем, связанным с таянием снежников в горах, каменистыми грунтами, низкими температурами воды, высокими скоростями течения. Основные элементы русла данных водотоков – плесы, перекаты.

Антропогенное влияние на водотоки бассейна р. Бухтарма. Гидрохимический режим. Качество воды р. Бухтарма в большей степени формируется под воздействием сточных вод Зыряновского горно-обогатительного комплекса (ЗГОК). Отвалы горных пород бывшего Зыряновского рудника расположены в долине р. Березовка и захватывают водоохранную зону этой реки, что не соответствует современным требованиям к строительству экологически опасных объектов [Положение..., 1995 (Polozheniya..., 1995)]. Река Березовка впадает в р. Бухтарма по левому берегу в черте с. Малеевк.

Рудник Малевский расположен на правобережье р. Бухтарма. Производственные сточные воды, образующиеся в результате технологических операций (бурение шпуров, скважин, орошение горной массы, горных выработок и др.) и грунтовая вода, выделяющаяся при обнажении горных пород, транспортируются по трубопроводам через ствол шахты “Малеевская” на очистные сооружения шахтных вод Малеевского рудника. Хозяйственно-бытовые сточные воды рудника поступают на очистные сооружения Малеевского рудника. Смесь шахт-

ных и хозяйственных сточных вод Малевского рудника, очищенных на очистных сооружениях, сбрасывается самотеком по подземному коллектору до точки выпуска вод в р. Бухтарма. Выпуск сточных вод производится рассредоточено с правого берега р. Бухтарма [Мониторинг..., 2001 (Monitoring..., 2001)].

Приоритетными загрязнителями поверхностных вод р. Бухтарма являются цветные металлы медь, цинк, а также нефтепродукты.

Так, по данным Комплексной Лаборатории мониторинга окружающей среды “Казгидромет по Восточно-казахстанской области” в фоновом створе “0.3 км выше с. Лесная Пристань” в 2007–2018 гг. среднегодовые концентрации составили: меди 1.8 ПДК, цинка 0.6 ПДК, нефтепродуктов 1.3 ПДК, ХПК 7.1 мг/л, азота нитритного 0.3 ПДК. Максимальные концентрации составили: меди 3.0 ПДК, цинка 1.7 ПДК, нефтепродуктов 1.8 ПДК, ХПК 22.3 мг/л, азота нитритного 0.7 ПДК. Кислородный режим и БПК<sub>5</sub> в норме. Минерализация изменялась в пределах 73.5–179 мг/л. Качество поверхностных вод в этом створе соответствовало 2-му классу, воды чистые, среднее значение индекса ИЗВ составило 0.92. Поверхностные воды р. Бухтарма в створе “1.5 км ниже устья р. Березовка” в 2007–2018 гг. относились к 3-му классу качества, умеренно-загрязненные воды. Среднее значение индекса ИЗВ составило 1.81. Среднегодовые концентрации составили: меди 4.8 ПДК, цинка 2.4 ПДК, нефтепродуктов 1.1 ПДК, ХПК 9.4 мг/л, азота нитритного 0.5 ПДК. Максимальные концентрации составили: меди 14.0 ПДК, цинка 8.6 ПДК, нефтепродукты 1.6 ПДК, ХПК 28.7 мг/л, азота нитритного 1.7 ПДК. Кислородный режим в норме. Минерализация изменялась в пределах 92.5–277 мг/л.

Таким образом, река Бухтарма характеризуется как чистая, но после впадения р. Березовка класс качества уменьшается до умеренно-загрязненной. Это связано со сбросом недостаточно очищенных шахтных вод Греховского рудника и обогатительной фабрики ЗГОКа.

Бентофауна фоновых водотоков и участков. В составе зообентоса фоновых водотоков и референтных участков бассейна р. Бухтарма в 2009–2018 гг. было обнаружено ~114 НОТ, в том числе: отряд Plecoptera – 9 семейств (24 видов), отряд Ephemeroptera – 7 семейств (37 видов), отряд Trichoptera – 11 семейств (26 видов), отряд Diptera – 8 семейств (16 видов), отряд Coleoptera – 3 семейства (3 вида), класс

Mollusca – 4 семейства (6 видов), класс Oligochaeta, класс Crustacea, класс Arachnida (табл. 2).

Основу донных сообществ беспозвоночных исследованных рек составляют амфибиотические насекомые, доля поденок, веснянок и ручейников составила 77% (88 таксонов). Наиболее массовыми группами литореофильных животных являются личинки поденок сем. Heptageniidae, сем. Ephemerellidae, сем. Baetidae, личинки веснянок сем. Perlodidae, личинки ручейников сем. Rhyacophilidae и Limnephilidae. В составе фауны амфибиотических насекомых наиболее часто встречались веснянки *I. altaica*, поденки *E. lepnevae*, *E. thriacantha*, *E. pellucidus*, *R. grandifolia*, *B. pseudothermicus*, ручейники *B. americanus*, *G. altaicum*, *D. palatus*, род *Rhyacophila*.

Из интересных находок в р. Щербюха обнаружен вид личинки веснянки *Y. altaica* (сем. Peltoperlidae) открытый в 2003 г. Девятковым В.И. [2003 (Devyatkov, 2003)]. Данный вид эндемик Западного Алтая, обитатель ручьев и небольших горных речек, ранее отмечался только в бассейнах рек Уба и Ульба [Девятков, 2005 (Devyatkov, 2005)].

Впервые были обследованы донные сообщества рек Чиндагатуй и Таутекели. Фауна беспозвоночных данных водотоков вполне разнообразна и представлена амфибиотическими насекомыми, все обнаруженные виды обычны для водотоков бассейна р. Бухтарма.

Так, в составе зообентоса р. Таутекели было обнаружено 22 таксона, из них личинки веснянок – 4 (*I. altaica*, *A. deminuta*, *S. teleckojensis*, *Arcynoperyx* sp.), личинок поденок – 9 (*B. pseudothermicus*, *Baetis* sp., *E. pellucidus*, *E. thriacantha*, *E. lepnevae*, *E. ignita*, *N. chocolata*, *R. grandifolia*, *A. altaicus*), личинок ручейников – 4 (*B. americanus*, *D. palatus*, *C. nevae*, *G. altaicum*), личинки двукрылых – 4 (Orthocladinae sp., Diamesinae sp., Simuliidae sp., Limoniidae sp.), личинки жуков Elmidae sp.

Так, в составе зообентоса р. Чиндагатуй было определено 20 таксонов, из них личинки веснянок – 3 (*I. altaica*, *A. deminuta*, *H. lepnevae*), личинок поденок – 5 (*B. bicaudatus*, *B. fuscatus*, *Baetis* sp., *E. pellucidus*, *R. grandifolia*), личинок ручейников – 6 (*G. tungusensis*, *L. hirtum*, Limnephilidae sp., *R. impar*, *R. sibirica*, *G. altaicum*), личинки двукрылых – 6 (Orthocladinae sp., Diamesinae sp., Tanypodinae sp., Simuliidae sp., Blephariceridae sp., *D. bimaculata*).

**Таблица 2.** Таксономический состав макрозообентоса водотоков бассейна р. Бухтарма на референтных участках (ref) и в импактной зоне (Б1 и Б2)**Table 2.** Taxonomic composition of macrozoobenthos of the Bukhtarma river basin watercourses in the reference areas (ref) and in the impact zone (B1 and B2)

Таксон / Taxon	ref	Б1	Б2	Таксон / Taxon	ref	Б1	Б2
<b>Класс Oligochaeta</b>	–	+	+	<i>Diura majuscula</i> (Klapalek, 1912)	+	+	–
<b>Тип Моллюски (Mollusca)</b>				<i>D. nanseni</i> (Kempny, 1900)	+	–	–
<b>Класс Gastropoda</b>				<i>D. bicaudata</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	+
<b>сем. Planorbidae</b>				<i>D. sp.</i>	+	–	–
<i>Anisus sp.</i>	+	–	–	<i>Pictetiella asiatica</i> Zwick & Levanidova, 1971	+	–	–
<b>Сем. Lymnaeidae</b>				<i>Levanidovia mirabilis</i> Teslenko et Zhiltzova, 1989.	–	+	–
<i>Radix auricularia</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	+	<b>сем. Pteronarcyidae</b>			
<i>Galba truncatula</i> (O.F. Müller, 1774)	+	–	–	<i>Pteronarcys reticulata</i> (Burmeister, 1839)	+	+	–
Lymnaeidae sp.	+	–	–	<b>сем. Taeniopterygidae</b>			
<b>Класс Bivalvia</b>				<i>Taenionema japonicum</i> (Okamoto, 1922)	+	–	–
<b>Сем. Euglesidae</b>				<b>Отр. Heteroptera</b>			
<i>Euglesa sp.</i>	+	–	–	<b>сем. Aphelocheiridae</b>			
<b>сем. Sphaeriidae</b>				<i>Aphelocheirus nawae</i> Nawa, 1905	–	+	–
<i>Sphaerium sp.</i>	+	–	–	<b>сем. Corixidae</b>			
<b>Кл. Crustacea</b>				<i>Sigara limitata</i> (Fieber, 1848)	–	–	+
<b>Amphipoda</b>				<i>Micronecta sp.</i>	–	+	+
<b>сем. Gammaridae</b>				<b>сем. Nepidae</b>			
<i>Gammarus korbuensis</i> Martynov, 1930	+	+	+	<i>Nepa cinerea</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	–
<i>G. lacustris</i> Sars, 1863	–	–	+	<b>Отр. Жесткокрылые, или жуки (Coleoptera)</b>			
<b>кл. Паукообразные (Arachnida)</b>				<b>сем. Dytiscidae</b>			
<b>отр. Acariformes</b>				<i>Oreodytes sanmarkii</i> (Sahlberg, 1926)	+	+	+
<i>Hydrachnidia sp.</i>	+	+	+	<i>Agabus sp.</i>	–	+	+
<b>Кл. Насекомые (Insecta)</b>				<b>сем. Hydraenidae</b>			
<b>Отр. Odonata</b>				<i>Hydraena sp.</i>	+	–	–
<b>сем. Calopterygidae</b>				<b>сем. Elmidae</b>			
<i>Calopteryx splendens</i> (Harris, 1782)	–	+	+	Elmidae sp.	+	+	–
<b>сем. Gomphidae</b>				<b>Отр. Ручейники (Trichoptera)</b>			
<i>Ophiogomphus cecilia</i> (Geoffroy in Fourcroy, 1785)	–	+	–	<b>сем. Ecnomidae</b>			
<b>Отр. Поденки (Ephemeroptera)</b>				<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur, 1842)	+		+
<b>Сем. Ameletidae</b>				<b>сем. Rhyacophilidae</b>			
<i>Ameletus altaicus</i> Kluge, 2007	+	+	–	<i>R. sibirica</i> McLachlan, 1879	+	+	+
<i>A. cedrensis</i> Sinitshenkova, 1977	+	–	–	<i>R. angulata</i> Martynov, 1910	+	–	–
<i>A. sp.</i>	+	+	+	<i>R. fasciata</i> Hagen, 1859	+	–	–
<b>сем. Siphonuridae</b>				<i>R. rectata</i> Martynov, 1914	+	–	–
<i>Siphonurus lacustris</i> Eaton, 1870	+	+	+	<i>R. impar</i> Martynov, 1914	+	+	–
<b>сем. Baetidae</b>				<i>R. sp.</i>	+	–	–
<i>Centroptilum luteolum</i> Müller, 1776		+	+	<b>сем. Arctopsychidae</b>			
<i>Baetis tuberculata</i> Kazlauskas, 1963	+			<i>Arctopsyche ladogensis</i> Kolenati, 1859	+	+	+
<i>B. feles</i> Kluge, 1980	–	+	+	<b>сем. Hydropsychidae</b>			
<i>B. fuscatus</i> (Linnaeus, 1761)	+	+	+	<i>Ceratopsyche nevae</i> Kolenati, 1858	+	+	+
<i>B. pseudothermicus</i> Kluge, 1983	+	+	–	<i>Hydropsyche angustipennis</i> (Pictet, 1834)	–		+
<i>B. vernus</i> Curtis, 1834	–	–	+	<i>H. pellucidula</i> (Curtis, 1834)	–	+	+
<i>B. rhodani</i> (Pictet, 1843)	+	–	–	<b>Сем. Stenopsychidae</b>			

Таксон / Taxon	ref	Б1	Б2	Таксон / Taxon	ref	Б1	Б2
<i>B. bicaudatus</i> Dodds, 1923	+	+	–	<i>Stenopsyche marmorata</i> Navas, 1920	+	+	+
<i>B. silvaticus</i> Kluge, 1983	+	–	–	<b>сем. Glossosomatidae</b>			
<i>B. oreophilus</i> Kluge, 1982	+	–	–	<i>Agapetus ochripes</i> Curtis, 1834	+	–	–
<i>B. sp.</i>	+	+	+	<i>Glossosoma altaicum</i> Martynov, 1914	+	+	+
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1761)	+	–	+	<b>сем. Apatanidae</b>			
<b>сем. Heptageniidae</b>	–	–	–	<i>Apatania zonella</i> (Zetterstedt, 1840)	+	+	+
<i>Cinygma lyriforme</i> McDunnough, 1924	+	–	–	<b>сем. Limnephilidae</b>			
<i>C. sp.</i>	+	–	–	<i>Anabolia furcata</i> Brauer, 1857	+	–	–
<i>Rhithrogena sibirica</i> Brodsky, 1930	+	+	+	<i>A. laevis</i> (Zetterstedt, 1840)	+	–	–
<i>R. hirasana</i> Imanishi, 1935	+	+	–	<i>Asynarchus amurensis</i> (Ulmer, 1905)	+	–	–
<i>R. lepnevae</i> Brodsky, 1930	+	–	–	<i>A. lapponicus</i> (Zetterstedt, 1840)	+	–	–
<i>R. cava</i> Ulmer, 1927	+	–	+	<i>Chaetopteryx sahlbergi</i> McLachlan, 1876	+	–	–
<i>R. grandifolia</i> Tshernova, 1952	+	+	–	<i>Dicosmoecus palatus</i> (McLachlan, 1872)	+	–	–
<i>R. sp.</i>	+	–	–	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> (McLachlan, 1872)	+	–	–
<i>Heptagenia sulfurea</i> (Muller, 1776)	+	+	+	<i>Halesus tessellatus</i> (Rambur, 1842)	+		
<i>H. flava</i> Rostock, 1878	–	–	+	<i>Limnephilus stigma</i> Curtis, 1834	+		
<i>H. sp.</i>	+	–	–	<i>L. centralis</i> Curtis, 1834		+	+
<i>Epeorus pellucidus</i> Brodsky, 1930	+	+	+	<i>L. sp. (juv)</i>	+	+	–
<i>E. maculatus</i> (Tshernova, 1949)		+		<b>сем. Goeridae</b>			
<i>E. alexandri</i> Kluge et Tiunova, 1989	+	+	–	<i>Goera tungusensis</i> Martynov, 1909	+	+	–
<i>Ecdyonurus aspersus</i> (Kluge, 1980)	+	–	+	<b>сем. Lepidostomatidae</b>			
<i>E. inversus</i> Kluge, 1980	–	+	–	<i>Lepidostoma hirtum</i> (Fabr., 1775)	+	+	+
<b>сем. Leptophlebiidae</b>				<b>сем. Leptoceridae</b>			
<i>Choroterpes altiocolus</i> Kluge, 1984	+	+	–	<i>Athripsodes cinereus</i> (Curtis, 1834)	–	–	+
<i>Neoleptophlebia chocolata</i> Imanishi, 1937	+	–	+	<i>A. sp.</i>	–	+	+
<i>Leptophlebia strandii</i> Eaton, 1901	–	+	–	<i>Mystacides dentatus</i> Martynov, 1924	–	–	+
<b>сем. Potamanthidae</b>				<i>M. sp.</i>	–	+	+
<i>Potamanthus luteus</i> (Linnaeus, 1767)	–	+	+	<i>Oecetis testacea</i> Curtis, 1834	–	–	+
<b>сем. Ephemerellidae</b>				<i>O. sp.</i>	–	+	+
<i>Ephemerella lepnevae</i> Thernova, 1949	+	+	+	Leptoceridae sp.	–	–	+
<i>E. triacantha</i> Thernova, 1967	+	+	+	<b>сем. Molannidae</b>			
<i>E. kozhovi</i> Bajkova, 1967	+	–	–	<i>Molanna angustata</i> (Curtis, 1834)	–	–	+
<i>E. ignita</i> Poda, 1761	+	+	+	<b>сем. Brachycentridae</b>			
<i>E. lenoki</i> (Tshernova, 1952)	–	+	+	<i>Brachycentrus americanus</i> (Banks, 1899)	+	+	+
<i>E. nuda</i> Tshernova, 1949	+	+	+	<b>Отр. Двукрылые (Diptera)</b>			
<i>E. setigera</i> Bajkova, 1967	+	+	+	<b>сем. Tipulidae</b>			
<i>E. aurivillii</i> Bengtsson, 1908	+	+	+	<i>Tipula sp.</i>	+	+	+
<i>E. sp.</i>	+	–	–	<b>сем. Pediciidae</b>			
<b>сем. Ephemeridae</b>				<i>Dicranota bimaculata</i> Schummel, 1829	+	–	–
<i>Ephemera sachalinensis</i> Matsumura, 1911	+	+	+	<b>сем. Limoniidae</b>			
<b>сем. Caenidae</b>				<i>Hexatoma sp.</i>	–	+	+
<i>Caenis rivulorum</i> Eaton, 1884	+	–	–	<i>Scleroprocta sp.</i>	+	–	–
<b>Отр. Веснянки (Plecoptera)</b>				<i>Antocha vitripennis</i> Meigen, 1830	–	+	+
<b>сем. Nemouridae</b>				<i>Eriocera sp.</i>	–	+	+
<i>Amphinemura borealis</i> (Morton, 1894)	+	–	–	<b>сем. Dixidae</b>			
<i>Nemoura sp.</i>	+	+	+	<i>Paradixa sp.</i>	–	+	+

Таксон / Taxon	ref	Б1	Б2	Таксон / Taxon	ref	Б1	Б2
<b>сем. Capniidae</b>				<b>сем. Athericidae</b>			
<i>Capnia nigra</i> (Pictet, 1833)	–	+	–	<i>Atherix ibis</i> (Fabricius, 1798)	–	+	+
<i>C. sp.</i>	–	–	+	<b>сем. Deuterophlebiidae</b>			
<b>сем. Leuctridae</b>				<i>Deuterophlebia sajanica</i> Jedlicka & Halgos, 1981	+	+	–
<i>Leuctra fusca</i> Linne, 1758	+	–	+	<b>сем. Blephariceridae</b>			
<b>сем. Chloroperlidae</b>				<i>Blepharicera sp.</i>	+	+	–
<i>Alloperla deminuta</i> Zapekina-Dulkeit, 1970	+	+	–	<i>Blepharicera asiatica</i> (Brodskiĭ, 1930)	+	–	–
<i>Haploperla lepnevae</i> Zapekina-Dulkeit, 1971	+	–	+	<b>сем. Simuliidae</b>			
<i>Suwalia teleckoejensis</i> (Samal, 1939)	+	+	–	Simuliidae sp.	+	–	–
<i>Triznaka longidentata</i> (Rausser, 1986)	+	–	–	<b>сем. Ceratopogonidae</b>			
<b>сем. Perlidae</b>				Ceratopogonidae sp.	+	+	–
<i>Kamimuria exilis</i> (McLachlan, 1872)	+	+	–	<b>сем. Tabanidae</b>			
<i>Paragnetina flavotincta</i> (McLachlan, 1872)	+	+	–	<i>Tabanus sp.</i>	–	+	+
<i>Agnetina extrema</i> Navas, 1912	+	+	–	<b>сем. Chironomidae</b>			
<i>A. brevipennis</i> Navás, 1912	–	+	–	<i>Arctopelopia sp.</i>	+	–	–
<b>сем. Pteronarcyidae</b>				<b>п/сем. Orthoclaudiinae</b>			
<i>Pteronarcys reticulata</i> (Burmeister, 1839)	+	+	+	Orthoclaudiinae sp.	+	+	+
<b>сем. Peltoperlidae</b>				<b>п/сем. Diamesinae</b>			
<i>Yoraperla altaica</i> Devyatkov, 2003	+	–	–	<i>Pagastia sp.</i>	+	–	–
<b>сем. Perlodidae</b>				Diamesinae sp.	+	–	–
<i>Megarcyys ochracea</i> Klapalek, 1912	+	–	–	<b>п/сем. Prodiamesinae</b>			
<i>Skwala pusilla</i> Klapalek, 1912	+	+	+	<i>Prodiamesa olivacea</i> (Meigen, 1818)	+	–	–
<i>Arcynopteryx polaris</i> Klapalek, 1912	+	+	–	Prodiamesinae sp.	+	–	–
<i>Isoperla altaica</i> Samal, 1939	+	–	–	<b>п/сем. Tanypodinae sp.</b>	–	+	+
<i>I. asiatica</i> Rausĕr, 1968.	–	+	–	<b>п/сем. Chironominae</b>	+	+	+
<i>I. lunigera</i> (Klapalek, 1923)	–	+	+	<i>Polypedilum sp.</i>	+	–	–

Наибольшее таксономическое богатство присуще донным биоценозам р. Язовая. Здесь было отмечено 42 таксона макробеспозвоночных, доля оксиреофильных видов (ЕРТ) составила 71%.

При оценке качества вод по биотическому индексу Вудивисса было установлено, что вода референтных водотоков бассейна р. Бухтарма относится к I–II классу – очень чистая – чистая (табл. 3).

Значения индекса BMWP варьировали в пределах 68–168, в среднем составив 120, что соответствует категории “очень хорошее качество воды” [Семенченко, 2004 (Semenchenko, 2004)]. Значение индекса ASPT во всех случаях было выше 5.0, что указывает на “прекрасное качество вод”. Показатель ЕРТ не имеет бальной градации качества воды, однако является весьма чувствительным к различного рода загрязнениям, его значение для очень чистых вод колеблется в пределах от 12 до 14 видов. Индекс ЕРТ (% ЕРТ) представляет собой долю таксонов ЕРТ по отношению к общему числу таксонов. Большая доля ЕРТ свидетельствует о высоком качестве воды. Значение индекса ЕРТ варьировало в пределах от 5 до 18, в среднем составив 13.

Доля оксиреофильных ЕРТ-таксонов варьировала в пределах 50–100%, в среднем, по

водотокам составив 74%, очень хорошее качество воды [Вшивкова, 2019 (Vshivkova, 2019)].

**Зообентос р. Бухтарма в импактной зоне.** Отбор проб в импактной зоне проводили на 2 станциях, сбор и обработку гидробиологических проб осуществляли в рамках госпрограммы мониторинга качества поверхностных вод, проводимого филиалом “Казгидромет” по Восточно-Казахстанской области: “0.3 км выше с. Малеевск” (Б1) и “0.3 км ниже сбросов сточных вод обогатительной фабрики Зыряновского свинцового комбината” (Б2). Створ на р. Бухтарма, расположенный 0.3 км выше с. Малеевск является эталонным для мониторинга качества поверхностных вод на р. Бухтарма [Евсеева, Кушникова, 2017 (Evseeva, Kushnikova, 2017)].

Бентофауна р. Бухтарма в импактной зоне вполне разнообразна и представлена типичными реофильными видами. В составе зообентоса на импактных участках в 2007–2018 гг. было зарегистрировано 104 НОТ донных беспозвоночных, из них личинок веснянок – 22, личинок поденок – 33, личинок ручейников – 23, личинок двукрылых – 13, жуки – 3, а также личинки стрекоз, моллюски, клопы, гаммарусы, гидракарини и олигохеты (табл. 2).

**Таблица 3.** Структурные характеристики развития донных сообществ зообентоса фоновых водотоков бассейна р. Бухтарма в 2009–2019 гг.**Table 3.** Structural characteristics of the development of bottom communities of zoobenthos in the background water-courses of the Bukhtarma river basin in 2009–2019

Водоток / створ Watercourse / target	Годы Years	S <sub>з</sub> пробе S <sub>in sample</sub>	EPT	% EPT	TBI	BMWP	ASPT
р. Большой Кокколь	2011 г.	16	11	69	10.0	135	8.4
р. Белая Берель (2.0 км ниже впадения р. Большой Кокколь)	2010 г.	10	5	50	8.0	68	6.8
	2011 г.	13	10	77	8.5	99	8.0
	<b>среднее</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>65</b>	<b>8.8</b>	<b>100</b>	<b>7.7</b>
р. Белая Берель (с. Урыль)	2009 г.	17	13	76	10.0	127	7.5
	2010 г.	12	7	58	9.0	75	6.3
	2011 г.	18	13	72	10.0	124	6.9
	2016 г.	16	11	69	10.0	102	6.4
	2018 г.	17	13	76	10.0	112	6.6
	<b>среднее</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>70</b>	<b>9.8</b>	<b>108</b>	<b>6.7</b>
р. Язовая	2009 г.	21	15	71	10.0	133	6.3
	2010 г.	17	14	82	10.0	129	7.6
	2011 г.	19	14	74	10.0	124	6.5
	2018 г.	16	11	69	10.0	108	6.7
	<b>Среднее</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>74</b>	<b>10.0</b>	<b>123</b>	<b>6.8</b>
р. Сарымсақты	2016 г.	13	11	85	9.0	96	7.4
	2017 г.	26	18	69	10.0	168	6.5
	2018 г.	25	16	64	10.0	163	6.6
	<b>Среднее</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>73</b>	<b>9.7</b>	<b>142</b>	<b>6.8</b>
р. Арасан	2016 г.	21	16	76	10.0	156	7.4
	2018 г.	19	15	79	10.0	152	8.0
	<b>Среднее</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>78</b>	<b>10.0</b>	<b>154</b>	<b>7.7</b>
р. Черновая	2016 г.	20	14	70	10.0	131	6.5
	2018 г.	26	18	69	10.0	169	6.5
	<b>Среднее</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>70</b>	<b>10.0</b>	<b>150</b>	<b>6.5</b>
р. Чиндагатуй	2019 г.	20	14	70	10.0	128	6.4
р. Таутекели	2019 г.	22	17	77	10.0	168	7.6
р. Сахатушка	2011 г.	19	13	68	10.0	132	6.9
р. Тургусун	2012 г.	11	11	100	9.0	97	8.8
р. Щебнюшка	2012 г.	10	7	70	8.0	76	7.6
р. Бухтарма (с. Жамбыл)	2011 г.	13	10	77	9.0	86	6.6
р. Бухтарма (с. Берель)	2009 г.	18	12	67	10.0	116	6.4
	2010 г.	13	10	77	10.0	82	6.3
	2011 г.	14	10	71	9.0	105	7.5
	2016 г.	11	9	82	9.0	96	8.7
	2018 г.	15	11	73	9.0	109	7.3
	<b>Среднее</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>74</b>	<b>9.4</b>	<b>102</b>	<b>7.2</b>
<b>Среднее по референтным</b>	–	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>74</b>	<b>9.5</b>	<b>120</b>	<b>7.2</b>

За период 2007–2018 гг. на створе, расположенном выше сбросов сточных вод ЗГОК в составе донных сообществ зообентоса зафиксировано 86 НОТ беспозвоночных: из них личинок веснянок – 19, личинок поденок – 27, личинок ручейников – 16, личинок двукрылых – 13, жуки – 3, клопы – 2, личинки стрекоз – 2, моллюски, гаммарусы, гидракарини и олигохеты – по 1 таксону.

Основу биоценозов составляли оксиреофильные беспозвоночные – индикаторы чистых вод, доля EPT – 72% (62 таксона). По частоте встречаемости преобладали личинки веснянок *P. reticulata*, *S. pusilla*, *H. lepnevae*, личинки поденок *E. vulgata*, *H. sulfurea*, *E. pellucidus*,

*E. thriacantha*, *E. ignita*, сем. Baetidae, личинки ручейников *H. angustipennis*, сем. Limnephilidae, двукрылые сем. Chironomidae, сем. Limoniidae. Из 104 НОТ макробеспозвоночных зафиксированных в р. Бухтарма в импактной зоне 30 встречаются только на данном створе Б1.

На втором створе Б2 ниже впадения р. Березовка значительного снижения таксономического разнообразия зообентоса не наблюдалось, однако изменяется его состав. Здесь за весь период исследования в 2007–2018 гг. было зарегистрировано 72 НОТ: из них личинок веснянок – 9, личинок поденок – 24, личинок ручейников – 20, личинок двукрылых – 10, жуки, клопы, гаммарусы –

по 2 таксона, личинки стрекоз, моллюски, гидракарини и олигохеты – по 1 таксону. Доля оксифильных видов (ЕРТ) составила 74% (53 таксона). Однако по частоте встречаемости доминировали таксоны, переносящие загрязнение – это личинки двукрылых п/сем. Chironominae, сем. Tabanidae, сем. Limoniidae, некоторые виды личинок поденок сем. Baetidae, ручейники *C. nevae*, клопы сем. Corixidae. На втором створе Б2 определено 13 таксонов, не встречающихся на первом.

**Таблица 4.** Характеристики развития донных сообществ зообентоса на станциях мониторинга р. Бухтарма в 2007–2018 гг.

**Table 4.** Characteristics of the development of bottom communities of zoobenthos at the monitoring stations of the Bukhtarma river in 2007–2018

Створ Target	Годы	S <sub>общее</sub> S <sub>general</sub>	S <sub>в пробе</sub> (среднее) S <sub>in the</sub> sample (average)	ЕРТ	% ЕРТ	H, бит/экз bits/ind	N, экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>	B, г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	TBI	BMWP	ASPT
“0.3 км выше с. Малеевск” Б1	2007	27	10	9	75	2.10	33.1	0.310	6.8	46	7.4
	2008	42	13	10	85	3.10	65.7	0.621	8.5	97	7.8
	2009	54	17	13	76	3.15	149.2	1.386	9.6	115	6.9
	2010	55	15	11	73	–	–	–	9.3	110	7.4
	2011	46	15	12	80	–	–	–	9.4	115	7.7
	2012	33	10	8	80	–	–	–	8.1	72	7.9
	2013	29	8	7	85	–	–	–	7.1	62	8.1
	2014	46	10	8	79	–	–	–	8.3	77	8.3
	2015	65	9	7	76	–	–	–	7.8	69	7.6
	2016	34	10	7	74	–	–	–	8.3	74	7.6
	2017	56	12	9	75	–	–	–	8.6	99	7.8
2018	33	8	6	79	–	–	–	7.7	62	8.2	
	<b>среднее</b>	<b>43</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>78</b>	<b>2.78</b>	<b>82.7</b>	<b>0.772</b>	<b>8.3</b>	<b>83</b>	<b>7.7</b>
“0.3 км ниже сбросов вод обогадитель- ной фабрики Зырянского свинцового комбината” Б2	2007	10	4	2	90	1.14	16.2	0.220	5.0	25	7.9
	2008	21	6	4	81	1.26	70.4	0.106	6.7	42	7.1
	2009	45	12	9	75	2.04	152.0	0.426	8.8	83	6.8
	2010	49	11	6	56	–	–	–	8.4	66	5.7
	2011	31	11	7	64	–	–	–	8.7	78	7.2
	2012	25	5	4	72	–	–	–	7.3	38	7.2
	2013	15	4	2	33	–	–	–	4.6	29	6.8
	2014	28	5	3	57	–	–	–	6.5	33	6.7
	2015	62	10	8	85	–	–	–	7.9	77	8.5
	2016	31	7	5	77	–	–	–	7.3	48	8.2
	2017	48	9	6	67	–	–	–	7.3	70	7.3
2018	37	8	6	72	–	–	–	7.8	62	7.7	
	<b>среднее</b>	<b>34</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>69</b>	<b>1.48</b>	<b>79.5</b>	<b>0.251</b>	<b>7.2</b>	<b>54</b>	<b>7.3</b>

Так, значения численности на створе Б1 “0.3 км выше с. Малеевск” варьировали в широких пределах, средние значения составили 33.1–149.2 экз./м<sup>2</sup>; значения биомассы изменялись в пределах 0.310–1.386 г/м<sup>2</sup>. По биомассе доминировали личинки веснянок, ручейников, гаммарусы. Значения численности на створе Б2 “0.3 км ниже сбросов вод обоганительной фабрики Зырянского свинцового комбината” изменялись в пределах 16.21–152.0 экз./м<sup>2</sup>; значения биомассы изменялись в пределах 0.106–1.426 г/м<sup>2</sup>. По биомассе

Подобное изменение структуры донных сообществ макробеспозвоночных свидетельствует об изменении абиотических факторов, самым важным из которых при сходной гидрологии является гидрохимический режим. Кроме того, значительная разница фиксируется в показателях численности и биомассы макробеспозвоночных. На створе Б1, расположенном выше сбросов количественные характеристики зообентоса были выше в несколько раз, чем на створе Б2 ниже сбросов сточных вод (табл. 4).

доминировали личинки ручейников и двукрылых, высокие значения численности преимущественно были за счет хирономид и клопов сем. Corixidae.

В целом, в водотоках и их участках, имеющих характер типичной ритрала (каким является створ Б1 и в целом исследованные водотоки бассейна р. Бухтарма), среди амфибиотических насекомых количественно преобладают три отряда: Plecoptera, Ephemeroptera и Trichoptera [Леванидова, 1982 (Levanidova, 1982)].

Так, показатель ЕРТ на фоновом створе Б1 варьировал в диапазоне 6–13, среднее значение составило 9; индекс ЕРТ изменялся в пределах 73–85, в среднем 78, очень хорошее качество воды. Показатель ЕРТ на створе Б2 варьировал в диапазоне 2–9, среднее значение составило 5; индекс ЕРТ изменялся в широких пределах 33–90, среднее значение составило 69 [Вшивкова, 2019 (Vshivkova, 2019)].

По шкале трофности С.П. Китаева уровень развития макрозообентоса на створе Б1 в 2007–2009 гг. соответствовал “очень низкому – низкому” классу (ультраолиготрофный – олиготрофный тип водоема), на створе Б2 – “очень низкому” классу (ультраолиготрофный тип водоема) [Китаев, 2007 (Kitaev, 2007)].

По мнению ряда исследователей [Абакумов, 1991, 1992 (Abakumov, 1991, 1992); Шуйский, 2002, 2004 (Shujskij, 2002, 2004)] подобные изменения структуры биоценоза, то есть значительное снижение численности и биомассы свидетельствуют о наличии антропогенной нагрузки и ее отрицательном влиянии на биоту горных водотоков.

Значения индекса видового разнообразия на условно фоновом створе Б1 “0.3 км выше с. Малеевск” были почти в два раза выше, чем на створе Б2, ниже сбросов ЗГОК (табл. 4). На фоновом створе Б1 высокие значения индекса связаны со значительным видовым богатством макробеспозвоночных и с высокой выравненностью обилия отдельных видов, 2–3 класс качества, воды “чистые – очень чистые”. Меньшие значения индекса Шеннона на створе Б2 ниже сбросов связаны с преобладанием на этом участке неблагоприятных для развития бентосных беспозвоночных условий (грунт, сбросы сточных вод ЗГОК); в 2007–2008 гг. – 4 класс качества, воды загрязненные.

При анализе структурных характеристик сообществ зообентоса, а также значений биотических индексов в межгодовом аспекте (рис. 1–4) согласно теории экологических модификаций Абакумова [Абакумов, 1991 (Abakumov, 1991); Абакумов и др., 1981 (Abakumov and oth., 1981)] четко прослеживаются пять периодов:

2007–2008 гг. – период экологического прогресса (увеличение видового разнообразия, рост количественных показателей зообентоса, наблюдается пространственная гетерогенность, повышение биотических индексов);

2009–2011 гг. – период экологической стабилизации (качество воды в течение трех лет на обоих створах стабильно и соответствовало I–II классу, чистая, очень чистая, хотя в конце данного периода в 2011 г. начинаются

незначительные перестройки – уменьшение таксономического обилия);

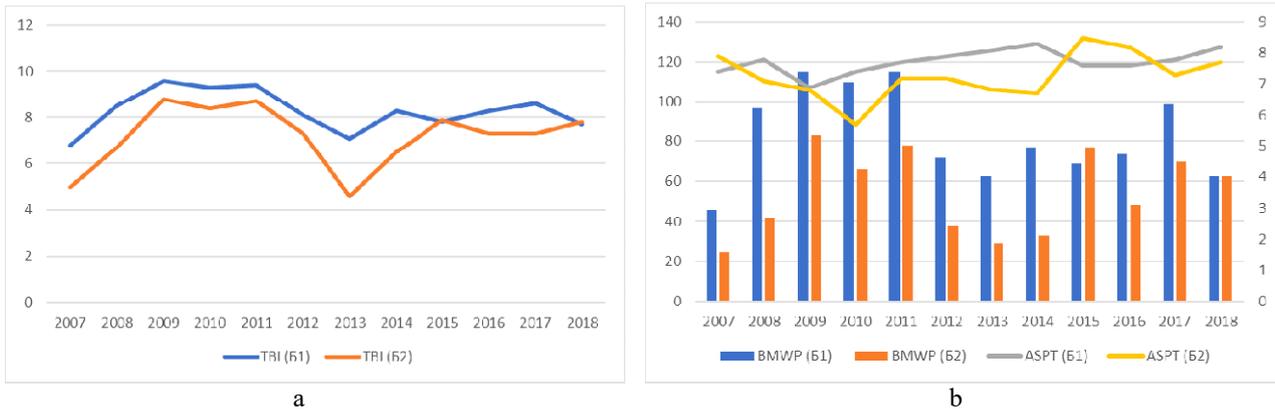
2012–2013 гг. – период экологического регресса (фиксируется снижение всех структурных показателей: биотические индексы, доля оксифильных видов ЕРТ, таксономическое обилие);

2014–2015 гг. – период экологического прогресса (увеличение видового разнообразия, рост количественных показателей зообентоса, наблюдается пространственная гетерогенность, повышение биотических индексов);

2016–2018 гг. – период экологической стабилизации (качество воды в течение трех лет на обоих створах стабильно и соответствовало I–II классу, чистая, очень чистая, хотя в конце данного периода в 2018 г. начинаются незначительные перестройки – уменьшение таксономического обилия, но незначительное увеличение доли ЕРТ).

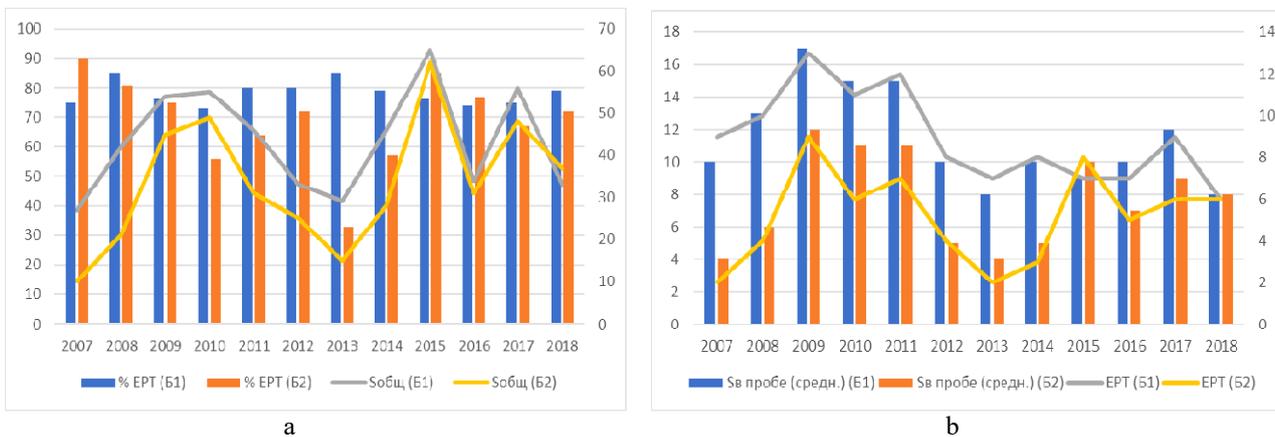
Концепция экологических модификаций развивается в России в трудах В.А. Абакумова и Ю.А. Израэля [Израэль, Абакумов, 1991 (Izrael, Abakumov, 1991)] как основа экологического нормирования состояния водных экосистем и используется в экологическом мониторинге водных объектов Российской Федерации в системе Росгидромета. Согласно этой концепции, экологические модификации представляют собой “единую взаимообусловленную систему приспособлений, включающую ... различные способы достижения соответствия интенсивности и характера метаболизма биоценоза с изменяющимися условиями среды ... механизмы саморегуляции численности популяций, регуляторные механизмы особи, приспособительные изменения органов растительных и животных организмов и компенсаторно-приспособительные реакции в их элементарном проявлении на клеточном и субклеточном уровнях” [Абакумов, 1991 (Abakumov, 1991)].

Особо следует выделить 2007 и 2013 гг., когда регистрировалось невысокое таксономическое обилие на створах за год, невысокое количество таксонов в пробах, низкие значения биотических индексов. В большинстве случаев, на створе Б1, расположенном выше сбросов, различные метрики зообентоса были выше в несколько раз, чем на створе Б2 ниже сбросов сточных вод, за исключение 2015 и 2018 гг. (см. табл. 4, рис. 1, 2). В эти годы значение биотического индекса Вудивисса ТВІ было на одном уровне, а значение индексов BMWP и ASPT на втором створе Б2 было даже несколько выше, чем на фоновом створе Б1.



**Рис. 1.** Динамика среднегодовых значений биотического индекса Вудивисса (ТБИ) (а) и биотических индексов BMWP и ASPT (б) на створах р. Бухтарма в 2007–2018 гг.

**Fig. 1.** Dynamics of the average annual values of the Woodiwiss biotic index (TBI) (a) and the BMWP and ASPT biotic indices (b) on the Bukhtarma river beds in 2007–2018.



**Рис. 2.** Динамика таксономического обилия (S – количество таксонов) и доли EPT (%) (а) и динамика средних значений S (количество таксонов в пробе) и EPT (б) на створах р. Бухтарма в 2007–2018 гг.

**Fig. 2.** Dynamics of taxonomic abundance (S – the number of taxa) and the share of ERT (%) (C) and dynamics of average values of S (the number of taxa in the sample) and ERT (D) on the Bukhtarma river beds in 2007–2018.

Также необходимо отметить, некоторую цикличность в смене периодов экологических модуляций, что отмечалось и ранее в материалах другого исследователя, однако если ранее период длился 4–5 лет, то в последние годы структурные перестройки донных сообществ проходили в течение 2–3 лет [Кушникова, 2009 (Kushnikova, 2009)].

На основании приведенных выше данных можно предположить, что изменение ан-

тропогенной нагрузки на водоток (как увеличение, так и снижение) вызывают адекватную реакцию со стороны донных сообществ беспозвоночных, что проявляется в изменении таксономического обилия, смене доминантных видов, изменении качественных и количественных показателей развития. Подобные выводы подтверждаются более ранними исследованиями р. Бухтарма в зоне деятельности ЗГОКа [Кушникова, 2007 (Kushnikova, 2007)].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе зообентоса бассейна р. Бухтарма в 2009–2018 гг. было обнаружено около 160 НОТ, в том числе: отряд Plesoptera – 9 семейств (32 вида), отряд Ephemeroptera – 9 семейств (47 видов), отряд Trichoptera – 13 семейств (37 видов),

отряд Odonata – 2 семейства (2 вида), отряд Diptera – 11 семейств (23 вида), отряд Coleoptera – 3 семейства (4 вида), класс Mollusca – 4 семейства (6 видов), класс Oligochaeta, отряд Acariformes, отряд Amphipoda.

Так как территория бассейна р. Бухтарма – Юго-Западный Алтай, это предопределило характер поверхностных вод, представленных, в основном, горными реками. Наличие большого количества текущих вод предопределило видовое богатство амфибиотических насекомых – веснянок, поделок, ручейников как типичных реофилов. Доля амфибиотических насекомых (ЕРТ) в исследованных реках составила 73% (117 таксонов).

Высокая встречаемость, а зачастую и доминирование по численности либо биомассе личинок поделок, ручейников и реофильных двукрылых отмечены рядом других исследователей [Яныгина, 2010 (Yanygina, 2010); Кузменкин, 2017 (Kuzmenkin, 2017); Батурина, 2011, 2012 (Baturina, 2011, 2012); Бекетов, 2005 (Beketov, 2005); Заика, 2008, 2009 (Zaika, 2008, 2009)] и в целом характерны для горных водотоков Алтая [Яныгина, 2014 (Yanygina, 2014)]. Доминирование названных групп свидетельствует о высоком качестве вод. Обнаружение в некоторых пробах олигохет нельзя считать свидетельством загрязнения, так как они обнаружены только в специфических местообитаниях со скоплением растительного детрита.

В водотоках бассейна р. Бухтарма стрекозы относились к наименее представленным в таксономическом отношении и малочисленным отрядам насекомых. Личинки стрекоз обнаружены только в нижнем течении р. Бухтарма и были представлены двумя видами из двух семейств: сем. Calopterygidae и Gomphidae. Низкое таксономическое богатство фауны стрекоз связано с исследованиями текучих вод, в то время как, стрекозы предпочитают малопроточные и стоячие водоемы.

Хирономиды были постоянным компонентом фауны водотоков, частота их встречаемости составляла около 100%. Среди паукообразных в исследованных водотоках бассейна р. Ульба отмечены только водные клещи (гидракарины). Определение клещей до уровня вида не проводилось. Гидракарины отмечены во всех водотоках бассейна р. Бухтарма как на референтных участках, так и в импактной зоне. Моллюски представлены 6 таксонами: 4 вида брюхоногих и 2 двустворчатых. За время исследований моллюски встречались эпизодически.

Исследования и мониторинг биоразнообразия горных, в том числе водных экосистем, находящихся пока вне большой антропогенной нагрузки, дают ценный фактиче-

ский (фаунистический и зоогеографический) и сравнительный материал. Для Алтая таких исследований мало, большинство посвящены изучению водных экосистем Телецкого озера, его притоков и озер бассейна, а также Катунских Альп [Мисейко, 2005 (Misejko, 2005)].

Референтные участки и водотоки бассейна р. Бухтарма возможно использовать как модельные эталонные створы при проведении мониторинга и в системе оценки качества поверхностных вод [Евсеева, Кушникова, 2017 (Evseeva, Kushnikova, 2017)].

В силу исторически и экологически сложившихся обстоятельств р. Иртыш и ее притоки (в частности крупный правобережный приток р. Бухтарма) интенсивно используются для хозяйственного и питьевого водообеспечения, а также сброса в них различных промышленных и коммунальных стоков. Восточный Казахстан (территория Юго-Западного Алтая) – это центр цветной металлургии, горнодобывающей промышленности, тепло- и гидроэнергетики, которые вносят негативный вклад в общую экологическую картину состояния региона.

Основные источники загрязнения поверхностных и подземных вод связаны с деятельностью горнодобывающих и горнообогатительных предприятий, в первую очередь это брошенные и не выведенные из эксплуатации рудники и шахты, обнаженные поверхности горных выработок, отвалы, хвостохранилища и продуктохранилища обогатительных фабрик, отвальные продукты и промышленные стоки металлургических, химико-металлургических, химических, теплоэнергетических и машиностроительных предприятий.

Оценка качества воды с помощью биоиндикации, показала, что водотоки бассейна р. Бухтарма на референтных участках находятся в хорошем состоянии (вода чистая), характеризуются высоким экологическим статусом и отвечают требованиям Европейской Рамочной водной директивы, предъявляемым к созданию сети эталонных створов. Некоторое повышение или снижение значений индексов связано только с жизненными циклами донных беспозвоночных. Видовой состав и количественное развитие зообентоса в водных объектах референтных участков определяются благоприятными для их развития экологическими факторами и отсутствием антропогенного воздействия. В нижнем течении р. Бухтарма в импактной зоне качество воды соответствовало категории “умеренное загрязнение”.

В целом, в результате многолетних исследований на малоизученной территории бассейна р. Бухтарма были получены сведения о современном состоянии водной биоты,

которые являются основой для дальнейших мониторинговых работ как на особо охраняемой природной территории (ККГНПП), так и в зоне деятельности ЗГОКа.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую благодарность за ценные советы и помощь в определении амфибиотических насекомых, собранных в 2017 г. на реках ККГНПП, к.б.н. Д.М. Палатову.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие биоценозов. Экологические модификации и критерии экологического нормирования // Труды международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 28–40.
- Абакумов В.А., Максимов В.Н., Ганьшина Л.А. Экологические модуляции как показатель изменения качества воды // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеиздат., 1981. С. 117–136.
- Баканов А. И. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. М.: ИПЭЭ РАН, 1997. С. 278–282.
- Баканов А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Количественные методы экологии и гидробиологии. Сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова. Российская академия наук. Самарский научный центр. Институт экологии Волжского бассейна. Институт биологии внутренних вод. Тольятти, 2005. С. 37–67.
- Батурина Н.С. Видовой состав поденок (Ephemeroptera) водотоков северного Алтая // Вестник Новосибирского государственного университета. 2012. Т. 10, Вып. 2. С. 72–78.
- Батурина Н.С. Ручейники (Trichoptera) водотоков Северного Алтая: видовой состав и структура сообществ // Амурский зоологический журнал. 2011. Т. 3 (1). С. 46–51.
- Бекетов М.А. Видовой состав насекомых водотоков Северо-Восточного Алтая: поденки, ручейники и веснянки (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera) // Евразийский энтомологический журнал. 2005. Т. 4, Вып. 2. С. 101–105.
- Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование. Новосибирск: Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2006. 641 с.
- Вшивкова Т.С. и др. Введение в биомониторинг пресных вод: Учебное пособие для студентов направления подготовки 05.03.06. Экология и природопользование (бакалавриат). Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2019. 214 с.
- Девятков В.И. Фауна веснянок (Plecoptera) юго-западной части Алтайской горной системы // Горные экосистемы Южной Сибири: изучение, охрана и рациональное природопользование. Материалы I межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 5-летию организации Тигирекского заповедника. Труды ГПЗ “Тигирекский”. 2005. Вып. 1. С. 280–283.
- Евсеева А.А. Зообентос водотоков бассейна реки Бухтарма (верхний Иртыш): на референтных участках и в зоне техногенного воздействия // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее. Материалы IV Международной конференции. Горно-Алтайск: РИО ГАГ, 2016. С. 256–260.
- Евсеева А.А. Зообентос водотоков Катон-Карагайского государственного национального природного парка (бассейн реки Бухтарма, Казахстан) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2016. № 1 (2). С. 19–29.
- Евсеева А.А. Зообентос реки Бухтарма в референтной зоне на территории Катон-Карагайского государственного национального природного парка // Экологические аспекты природопользования в Алтае-Саянском регионе: материалы международной научно-практической конференции. Барнаул: издательство АлтГТУ, 2014. С. 130–134.
- Евсеева А.А., Кушникова Л.Б. Биологический контроль качества воды как одна из составляющих в системе мониторинга трансграничных водотоков // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды III Всероссийской научной конференции с международным участием: в 4 т. Барнаул, 2017. Т. 4. С. 13–26.
- Евсеева А.А., Кушникова Л.Б. Фауна ручейников (TRICHOPTERA) водотоков Юго-Западного Алтая // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее. Материалы IV Междунар. конф. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2016. С. 114–117.
- Заика В.В. Веснянки (Insecta, Plecoptera) Горного Алтая, Тувы и Северо-Западной Монголии // Евразийский энтомологический журнал. 2009. Т. 8, Вып. 3. С. 309–312.
- Заика В.В. Поденки (Insecta, Ephemeroptera) Горного Алтая, Тувы и Северо-Западной Монголии // Евразийский энтомологический журнал. 2008. Т. 7, Вып.4. С. 357–361.
- Заика В.В. Ручейники (Insecta, Trichoptera) Горного Алтая, Тувы и Северо-Западной Монголии // Евразийский энтомологический журнал. 2009. Т. 8, Вып. 2. С. 245–248.
- Израэль Ю.А., Абакумов В.А. Об экологическом состоянии поверхностных вод СССР и критериях экологического нормирования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды Международн. симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 7–18.
- Калачев Н.С., Лаврентьева Л.Д. Водноэнергетический кадастр рек Казахской ССР (потенциальные ресурсы). А-А.: Наука, 1965. 607 с.
- Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, 2007. 395 с.
- Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2001. 163 с.

- Кузменкин Д.В. Новые данные по составу и таксономической структуре зообентоса водоемов Тигирекского заповедника // Труды Тигирекского заповедника. 2017. Вып. 9. С. 78–83.
- Кушникова Л.Б. Изменение структуры сообщества макрозообентоса реки Бухтарма в районе деятельности Зыряновского горно-обогатительного комбината // Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона: Кызыл, 2007. С. 89–90.
- Кушникова Л.Б. Качество поверхностных вод реки Бухтарма в 1991...2007 годы // Гидрометеорология и экология. 2009 (4). С. 39–47.
- Леванидова И.М. Амфибиотические насекомые горных областей Дальнего Востока СССР. Фаунистика, экология, зоогеография Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera. Л.: Наука, 1982. 215 с.
- Мисейко Г.Н. Биоразнообразие бентических сообществ бассейнов Горного Алтая // Труды заповедника "Тигирекский". 2005. Вып. 1. С. 323–326.
- Мониторинг природных и сточных вод реки Иртыш (1992-1998, Восточный Казахстан) // Отчет о научно-исследовательской работе / Восточно-Казахстанское территориальное управление охраны окружающей среды. Усть-Каменогорск, 2001. Т. 1. 256 с.
- Положения о водоохранных зонах и полосах. Постановление КМ РК, №102, 27.01.1995.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеорологиздат, 1992. 240 с.
- Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Мн.: Орех, 2004. 125 с.
- Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Петров Д.С. Изоболический метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса. СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), 2004. 304 с.
- Шуйский, В. Ф., Максимова, Т. В., Петров, Д. С. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений / Т. В. Максимова, Д. С. Петров // Экология и развитие Северо-Запада России // Сб. научн. докл. 7 междунар. конф. СПб.: МАНЭБ. 2002. С. 441–451.
- Яныгина Л. В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов: диссертация ... доктора биологических наук: 03.02.08 / Яныгина Любовь Васильевна; [Место защиты: Биологический институт ДВО РАН]. Владивосток, 2014. 399 с.
- Яныгина Л.В. Видовое разнообразие макрозообентоса как показатель экологического состояния рек бассейна верхней Оби // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Тезисы докладов II Международной конференции. Институт озерадения РАН. 2011. С. 206.
- Яныгина Л.В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов. Автореф. ... дисс. докт. биол. наук. Владивосток, 2014. 40 с.
- Яныгина Л.В. Структура сообществ макробеспозвоночных водотоков бассейна р. Чарыш // Труды Тигирекского заповедника, 2010. Вып. 3. С. 229–230.
- Яныгина Л.В., Евсеева А.А. Влияние горнодобывающей деятельности на видовое богатство макробеспозвоночных горных водотоков // Acta Biologica Sibirica. 2018. 4(3). С. 69–74.
- Alvial I.E., Tapia D.H., Castro M.J., Duran B.C., Verdugo C.A. Analysis of benthic macroinvertebrates and biotic indices to evaluate water quality in rivers impacted by mining activities in northern Chile // Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst. 2012. Iss. 407. P. 1–16. DOI: 10.1051/kmae/2012027.
- Devyatkov V.I. *Yoraperla altaica*, a new species of Peltoperlidae (Plecoptera) from East Kazakhstan (Central Asia) // Aquatic Insects. 2003. Vol. 25. № 4, P. 269–276.
- Iwasaki Y., Kagaya T., Miyamoto K.I., Matsuda H. Effects of heavy metals on riverine benthic macroinvertebrate assemblages with reference to potential food availability for drift-feeding fishes // Environ Toxicol Chem. 2009. Iss. 2, Vol. 28. P. 354–363. DOI:10.1897/08-200.1
- Malaj E., Grote M., Schäfer R.B., Brack W., Carsten von der Ohe. Physiological sensitivity of freshwater macroinvertebrates to heavy metals // Environ Toxicol Chem. 2012. Iss. 8, Vol. 31. P. 1754–1764. DOI: 10.1002/etc.1868.
- Maret T.R., Cain D.J., MacCoy D.E., Short T.M. Response of benthic invertebrate assemblages to metal exposure and bioaccumulation associated with hard-rock mining in northwestern streams USA // J. N. Am. Benthol. Soc. 2003. Vol. 22. P. 598–620.
- Morgen C., Trumble J. The impact of metals and metalloids on insect behaviour // Entomologia Experimentalis et Applicata. 2010. Vol. 135. P. 1–17.
- Qu X., Wu N., Tang T., Ca, Q., Park Y-S. Effects of heavy metals on benthic macroinvertebrate communities in high mountain streams // Ann. Limnol. Int. J. Lim. 2010. Vol. 46. P. 291–302. DOI: 10.1051/limn/2010027.
- Smolders, A., Lock, R., Van der Velde, G. et al. Effects of Mining Activities on Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, and Macroinvertebrates in Different Reaches of the Pilcomayo River, South America // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2003. Vol. 44. P. 0314–0323. DOI: 10.1007/s00244–002–2042–1.
- Stockdale A., Tipping E., Lofts S., Ormerod S.J., Clements W.H., Blust, R. Toxicity of proton–metal mixtures in the field: linking stream macroinvertebrate species diversity to chemical speciation and bioavailability // Aquat Toxicol. 2010. Vol. 100. P. 112–119. DOI: 10.1016/j.aquat ox.2010.07.018.

## REFERENCES

- Abakumov V.A. Ekologicheskie modifikacii i razvitie biocenozov. Ekologicheskie modifikacii i kriterii ekologicheskogo normirovaniya [Ecological modifications and development of biocenoses. Environmental modifications and criteria for environmental regulation]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma [Proc. of the international symposium]*. L.: Gidrometeoizdat, 1991, pp. 28–40. [In Russian]
- Abakumov V.A., Maksimov V.N., Gan'shina L.A. Ekologicheskie modulyacii kak pokazatel' izmeneniya kachestva vody [Environmental modulations as an indicator of water quality change]. *Nauchnye osnovy kontrolya kachestva vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam*. L.: Gidrometeoizdat, 1981, pp. 117–136. [In Russian]
- Alvial I.E., Tapia D.H., Castro M.J., Duran B.C., Verdugo C.A. Analysis of benthic macroinvertebrates and biotic indices to evaluate water quality in rivers impacted by mining activities in northern Chile. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.*, 2012. Iss. 407, pp. 1–16. doi: 10.1051/kmae/2012027.
- Bakanov A. I. Ispol'zovanie harakteristik raznoobraziya zoobentosa dlya monitoringa sostoyaniya presnovodnyh ekosistem [Using the characteristics of zoobenthos diversity for monitoring the state of freshwater ecosystems]. *Monitoring bioraznoobraziya*. M.: IPEE RAN, 1997, pp. 278–282. [In Russian]
- Bakanov A.I. Kolichestvennaya ocenka dominirovaniya v ekologicheskikh soobshchestvakh [Quantitative assessment of dominance in ecological communities]. *Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii. Sbornik nauchnyh trudov, posvyashchennyj pamyati A.I. Bakanova*. Tol'yatti, 2005, pp. 37–67. [In Russian]
- Baturina N.S. Ruchejniki (Trichoptera) vodotokov Severnogo Altaya: vidovoj sostav i struktura soobshchestv [Trichoptera (Trichoptera) of the Northern Altai watercourses: species composition and community structure]. *Amurskij zoologicheskij zhurnal*, 2011, vol. 3 (1), pp. 46–51. [In Russian]
- Baturina N.S. Vidovoj sostav podyonok (Ephemeroptera) vodotokov severnogo Altaya [Species composition of mayflies (Ephemeroptera) of the Northern Altai watercourses]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, bd. 10, vol. 2, pp. 72–78. [In Russian]
- Beketov M.A. Vidovoj sostav nasekomykh vodotokov SeveroVostochnogo Altaya: podyonki, ruhej-niki i vesnyanki (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera) [Species composition of insects of watercourses of the North-Eastern Altai: mayflies, caddisflies, and freckles (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera)]. *Evrziatskij entomologicheskij zhurnal*, 2005, bd. 4, vol. 2, pp. 101–105. [In Russian]
- Bioraznoobrazie i dinamika ekosistem: informacionnye tekhnologii i modelirovanie* [Biodiversity and ecosystem dynamics: information technologies and modeling]. Novosibirsk: Izd-vo Sibirskogo otd-niya Rossijskoj akad. Nauk, 2006. 641 p. [In Russian]
- Devyatkov V.I. Fauna vesnyanok (Plecoptera) yugo-zapadnoj chasti Altajskoj gornoj sistemy [Fauna of the Plecoptera of the south-western part of the Altai mountain system]. *Gornye ekosistemy YUzhnoj Sibiri: izuchenie, ohrana i racional'noe prirodopol'zovanie. Materialy I mezhhregional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 5-letiyu organizacii Tigireksskogo zapovednika. Trudy GPZ "Tigireksskij"*, 2005, vol. 1. Barnaul, pp. 280–283. [In Russian]
- Devyatkov V.I. Yoraperla altaica, a new species of Peltoperlidae (Plecoptera) from East Kazakhstan (Central Asia). *Aquatic Insects*, 2003, vol. 25, no. 4, pp. 269–276.
- Evseeva A.A. Zoobentos reki Buhtarma v referentnoj zone na territorii Katon-Karagajsskogo gosudarstvennogo nacional'nogo prirodnogo parka [Zoobenthos of the Bukhtarma River in the reference zone on the territory of the Katon-Karagay State National Natural Park]. *Ekologicheskie aspekty prirodopol'zovaniya v Altae-Sayanskom regione: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Barnaul, Izdatel'stvo AltGTU, 2014, pp. 130–134. [In Russian]
- Evseeva A.A. Zoobentos vodotokov bassejna reki Buhtarma (verhnij Irtysh): na referentnykh uchastkah i v zone tekhnogenogo vozdejstviya [Zoobenthos of watercourses of the Bukhtarma river basin (upper Irtysh): on reference sites and in the zone of technogenic impact]. *Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredel'nyh regionov: nastoyashchee, proshloe, budushchee. Materialy IV Mezhdunarodnoj konferencii*. Gorno-Altajsk: RIO GAGU, 2016, pp. 256–260. [In Russian]
- Evseeva A.A. Zoobentos vodotokov Katon-Karagajsskogo gosudarstvennogo nacional'nogo prirodnogo parka (bassejn reki Buhtarma, Kazahstan) [Zoobenthos of Katon-Karagay State National Natural Park watercourses (Bukhtarma River basin, Kazakhstan)]. *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, 2016, 1(2), pp. 19–29. [In Russian]
- Evseeva A.A., Kushnikova L.B. Biologicheskij kontrol' kachestva vody kak odna iz sostavlyayushchih v sisteme monitoringa transgranichnykh vodotokov [Biological control of water quality as one of the components in the monitoring system of transboundary watercourses]. *Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Central'noj Azii: trudy III Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem: v 4 t.* Barnaul, 2017, bd. 4, pp. 13–26. [In Russian]
- Evseeva A.A., Kushnikova L.B. Fauna ruhejnikov (TRICHOPTERA) vodotokov YUgo-Zapadnogo Altaya [Fauna of TRICHOPTERA (TRICHOPTERA) of watercourses of the Southwestern Altai]. *Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredel'nyh regionov: nastoyashchee, proshloe, budushchee. Materialy IV Mezhdunarodnoj konferencii*. Gorno-Altajsk, RIO GAGU, 2016, pp. 114–117. [In Russian]
- Iwasaki Y., Kagaya T., Miyamoto K.I., Matsuda H. Effects of heavy metals on riverine benthic macroinvertebrate assemblages with reference to potential food availability for drift-feeding fishes // *Environ Toxicol Chem.* 2009. Iss. 2, Vol. 28. P. 354–363. DOI:10.1897/08-200.1
- Izrael' YU. A., Abakumov V. A. Ob ekologicheskom sostoyanii poverhnostnykh vod SSSR i kriteriyah ekologicheskogo normirovaniya [On the ecological state of surface waters of the USSR and the criteria for environmental regulation].

- Ekologicheskie modifikatsii i kriterii ekologicheskogo normirovaniya. Trudy Mezhdunarodn. Simpoziuma*, 1991, pp. 7–18. [In Russian]
- Kalachev N.S., Lavrent'eva L.D. Vodnoenergeticheskij kadastr rek Kazahskoj SSR (potencial'nye resursy) [Water and energy cadastre of rivers of the Kazakh SSR (potential resources)]. A-A., Nauka, 1965, 607 p. [In Russian]
- Kitaev S.P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ihtologov [Fundamentals of Limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk, 2007, 395 p. [In Russian]
- Korytnyj L.M. Bassejnovaya koncepciya v prirodopol'zovanii [Basin concept in nature management]. Irkutsk, Int-geogr. SO RAN, 2001. 163 p. [In Russian]
- Kushnikova L.B. Izmenenie struktury soobshchestva makrozoobentosa reki Buhtarma v rajone deyatel'nosti Zyryanovskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata [Changes in the structure of the macrozoobenthos community of the Bukhtarma River in the area of activity of the Zyryanovsky Mining and Processing Plant]. *Bioraznoobrazie i sohranenie genofonda flory, fauny i narodonaseleniya Central'no-Aziatskogo regiona*: Kyzyl, 2007, pp. 89–90. [In Russian]
- Kushnikova L.B. Kachestvo poverhnostnyh vod reki Buhtarma v 1991...2007 gody [Surface water quality of the Bukhtarma River in 1991...2007 years]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2009 (4), pp. 39–47. [In Russian]
- Kuzmenkin D.V. Novye dannye po sostavu i taksonomicheskoy strukture zoobentosa vodoyomov Tigirek'skogo zapovednika [New data on the composition and taxonomic structure of the zoobenthos of the Tigirek Reserve reservoirs]. *Trudy Tigirek'skogo zapovednika*, 2017, vol. 9, pp. 78–83. [In Russian]
- Levanidova I.M. *Amfibiotsicheskie nasekomye gornyh oblastej Dal'nego Vostoka SSSR. Faunistika, ekologiya, zoogeografiya Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera* [Amphibiotic insects of the mountainous regions of the Far East of the USSR. Faunistics, ecology, zoogeography of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera]. L., Nauka, 1982, 215 p. [In Russian]
- Malaj E., Grote M., Schäfer R.B., Brack W., Carsten von der Ohe. Physiological sensitivity of freshwater macroinvertebrates to heavy metals. *Environ Toxicol Chem.*, 2012, Iss. 8, vol. 31, pp. 1754–1764. doi: 10.1002/etc.1868.
- Maret T.R., Cain D.J., MacCoy D.E., Short T.M. Response of benthic invertebrate assemblages to metal exposure and bioaccumulation associated with hard-rock mining in northwestern streams USA. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 2003, vol. 22, pp. 598–620.
- Misejko G.N. Bioraznoobrazie benticheskikh soobshchestv bassejnov Gornogo Altaya [Biodiversity of benthic communities of the Gorny Altai basins]. *Trudy zapovednika "Tigirek'skij"*, 2005, vyp. 1, pp. 323–326. [In Russian]
- Monitoring prirodnyh i stochnyh vod reki Irtysh (1992–1998, Vostochnyj Kazahstan) [Monitoring of natural and waste waters of the Irtysh River (1992–1998, East Kazakhstan)]. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. Vostochno-Kazahstanskoe territorial'noe upravlenie ohrany okruzhayushchej sredy. Ust'-Kamenogorsk*, 2001, bd. 1, 256 p. [In Russian]
- Morgen C., Trumble J. The impact of metals and metalloids on insect behaviour. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2010, vol. 135, pp. 1–17.
- Polozheniya o vodoohrannyh zonah i polosah* [Regulations on water protection zones and lanes]. Postanovlenie KM RK, № 102, 27.01.1995. [In Russian]
- Qu X., Wu N., Tang T., Ca, Q., Park Y-S. Effects of heavy metals on benthic macroinvertebrate communities in high mountain streams. *Ann. Limnol. Int. J. Limn.*, 2010, vol. 46, pp. 291–302. doi: 10.1051/limn/2010027.
- Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnyh vod i donnyh otlozhenij* [Guidelines for methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. L., Gidrometeoizdat, 1992, 240 p. [In Russian]
- Semenchenko V.P. *Principy i sistemy bioindikatsii tekuchih vod* [Principles and systems of bioindication of flowing waters]. Mn., Orekh, 2004, 125 p. [In Russian]
- Shujskij V.F., Maksimova T.V., Petrov D.S. *Izobolicheskij metod ocenki i normirovaniya mno-gofaktornyh antropogennyh vozdeystvij na presnovodnye ekosistemy po sostoyaniyu makro-zoobentosa* [Isobolic method for assessing and normalizing multifactorial anthropogenic impacts on freshwater ecosystems based on the state of macrozoobenthos]. SPb., MANEB, 2004. 304 p. [In Russian]
- Shujskij V.F., Maksimova T.V., Petrov D.S. Bioindikatsiya kachestva vodnoj sredy, sostoyaniya presnovodnyh ekosistem i ih antropogennyh izmenenij [Bioindication of the quality of the aquatic environment, the state of freshwater ecosystems and their anthropogenic changes]. *Sb. nauchn. dokl. 7 mezhdunar. konf.* SPb.: MANEB, 2002, pp. 441–451.
- Smolders A., Lock R., Van der Velde G. et al. Effects of Mining Activities on Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, and Macroinvertebrates in Different Reaches of the Pilcomayo River, South America. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 2003, vol. 44, pp. 0314–0323. doi: 10.1007/s00244-002-2042-1.
- Stockdale A., Tipping E., Lofts S., Ormerod S.J., Clements W.H., Blust, R. Toxicity of proton–metal mixtures in the field: linking stream macroinvertebrate species diversity to chemical speciation and bioavailability. *Aquat. Toxicol.*, 2010, vol. 100, pp. 112–119. doi:10.1016/j.aquat.ox.2010.07.018.
- Vshivkova T.S. i dr. *Vvedenie v biomonitoring presnyh vod* [Introduction to freshwater biomonitoring]. Vladivostok, Izd-vo VGUES, 2019. 214 p. [In Russian]
- Yanygina L.V. Zoobenthos of the Upper and Middle Ob basin: impact of natural and anthropogenic factors. *Doct. Biol. Sci. Diss.* Vladivostok, 2014. 399 p. [In Russian]
- Yanygina, L.V., Yevseyeva, A.A. Impact of mining on macroinvertebrate species richness in mountain streams. *Acta Biologica Sibirica*, 2018, 4 (3), pp. 69–74. [In Russian]
- Yanygina L.V. Struktura soobshchestv makrobespozvonochnyh vodotokov bassejna r. Charysh [Structure of macroinvertebrate watercourse communities in the Charysh River basin]. *Trudy Tigirek'skogo zapovednika*, 2010, vyp. 3, pp. 229–230. [In Russian]

- Yanygina L.V. Vidovoe raznoobrazie makrozoobentosa kak pokazatel' ekologicheskogo sostoyaniya rek bassejna verhnjej Obi [Macrozoobenthos species diversity as an indicator of the ecological state of the rivers of the Upper Ob basin]. *Bioindikaciya v monitoringe presnovodnyh ekosistem. Tezisy dokladov II Mezhdunarodnoj konferencii*. Institut ozerovedeniya RAN, 2011, P. 206. [In Russian]
- Yanygina L.V. Zoobenthos of the Upper and Middle Ob basin: impact of natural and anthropogenic factors. *Extended Abstract of Doct. Biol. Sci. Diss.* Vladivostok, 2014, 40 p. [In Russian]
- Zaika V.V. Podyonki (Insecta, Ephemeroptera) Gornogo Altaya, Tuvy i Severo-Zapadnoj Mongolii [Mayflies (Insecta, Ephemeroptera) Mountain Altai, Tuva and North-Western Mongolia]. *Evraziatskij entomologicheskij zhurnal*, 2008, bd. 7, vol. 4, pp. 357–361. [In Russian]
- Zaika V.V. Ruchejniki (Insecta, Trichoptera) Gornogo Altaya, Tuvy i Severo-Zapadnoj Mongolii [Caddisflies (Insecta, Trichoptera) Mountain Altai, Tuva and North-Western Mongolia]. *Evraziatskij entomologicheskij zhurnal*, 2009, bd. 8, vol. 2, pp. 245–248. [In Russian]
- Zaika V.V. Vesnyanki (Insecta, Plecoptera) Gornogo Altaya, Tuvy i Severo-Zapadnoj Mongolii [Freckles (Insecta, Plecoptera) Mountain Altai, Tuva and North-Western Mongolia] *Evraziat. Entomol. Zhurnal*, 2009, bd. 8, vol. 3, pp. 309–312. [In Russian]

## **ZOOBENTHO OF BASIN WATERCOURSES OF THE RIVER BUKHTARMA (UPPER IRTYSH, SOUTH-WESTERN ALTAI) ON REFERENCE SITES AND IN THE IMPACT ZONE**

**A. A. Evseeva**

*Khanty-Mansiysk Department Tyumen branch of VNIRO (Gosrybtsentr)  
628002 Khanty-Mansiysk, 190V Gagarin street, e-mail: annaeco@mail.ru*

The composition, structure, and spatial distribution of the zoobenthos of the streams of the Bukhtarma river basin are described, and quantitative indicators of the benthos of the lower course of the Bukhtarma river are given. The predominance of insects from the orders of mayflies, caddisflies, and freckles is characteristic of the watercourses of the Bukhtarma river basin and is associated with the presence of stony soils in the rivers, rapid flow, moderate-cold-water temperature regime, and high oxygen content in the water – factors that are most favorable for these groups of invertebrates. The ecological state of surface waters of the studied streams is assessed using bioindication methods, and biotic indices TBI, BMWP, ASPT, and ERT are used. The taxonomic composition of each of the studied watercourses and river sections is formed in accordance with the set of features of environmental conditions associated with natural and anthropogenic factors. It is established that watercourses in the reference areas can be used as reference ones in accordance with the requirements of the European framework water Directive, and the characteristics of invariant States of biocenoses of the lower course of the Bukhtarma river in the impact zone are also given using the criteria of the V.A. Abakumov system of ecological modulations.

*Keywords:* benthos, the Upper Irtysh River, watercourse, reference sites, bioindication