

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии

Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской
программы

_____ М.И.Гладышев
подпись инициалы, фамилия

«___» _____ 2024 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Донные беспозвоночные в оценке качества воды водных объектов в зоне
влияния горно-химического комбината

06.04.01 Биология

06.04.01.04 Гидробиология и ихтиология

Руководитель	_____	<u>доцент, канд. биол. наук</u>	<u>С.П. Шулепина</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>доцент, канд. биол. наук</u>	<u>А.В. Андрианова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>М.С. Кощева</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2024

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Донные беспозвоночные в оценке качества воды водных объектов в зоне влияния горно-химического комбината» содержит 82 страницы текстового документа, 4 иллюстраций, 8 таблиц, 6 страниц графического материала, 53 использованных источников.

КАЧЕСТВО ВОДЫ, БЕНТОС, ГОРНО-ХИМИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ, НОРИЛЬСК

Цель научно-исследовательской работы: Оценить качество воды озёр района г. Норильска в зонах влияния ГХК с помощью донных беспозвоночных.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить видовой состав зообентоса озёр района г. Норильска в зонах влияния ГХК;
2. Изучить плотность зообентоса в озерах района г. Норильска в зонах влияния ГХК;
3. Оценить качество воды озёр района города Норильска в зонах влияния ГХК.

По результатам магистерской диссертации были оценены: видовой состав, численность и биомасса, доминирующие комплексы зообентоса озёр района г. Норильска в зонах влияния ГХК в июле-августе 2022 г. Проведена оценка качества воды.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	4
1.1 Концепции функционирования водных экосистем	4
1.2 Донные беспозвоночные водоёмов и водотоков	7
1.2.1 Донные беспозвоночные озёр	7
1.2.2 Донные беспозвоночные рек.....	9
1.3 Биоиндикация с использованием бентоса.....	11
1.4 Состав и структура бентосных сообществ водоёмов севера Красноярского края	17
1.4.1 Зообентос озёр Норило-Пясинской озёрно-речной системы....	18
1.4.2 Зообентос рек Норило-Пясинской озёрно-речной системы.....	21
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Район исследования.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Материалы и методы.....	Ошибка! Закладка не определена.
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Видовой состав макрозообентоса озёр в районе г. Норильска	Ошибка!
Закладка не определена.	
3.2 Численность и биомасса макрозообентоса озёр в районе г. Норильска	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Оценка качества воды озёр в районе г. Норильска	Ошибка! Закладка не определена.
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	Ошибка! Закладка не определена.
ВЫВОДЫ.....	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ РЕСУРСОВ	70
ПРИЛОЖЕНИЕ А	77

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием горнодобывающей промышленности, открытием и вводом в эксплуатацию новых месторождений минеральных природных ресурсов в последние десятилетия значительно возросла степень антропогенного воздействия на водные экосистемы [52]. Промышленное загрязнение приводит к деградации различных компонентов пресноводных экосистем, нарушению цепей питания, аккумуляции токсичных элементов в органах и тканях гидробионтов. Подобные изменения регистрируются даже в сравнительно удаленных от источников антропогенного воздействия районах.

Цель научно-исследовательской работы: Оценить качество воды озёр района г. Норильска в зонах влияния ГХК с помощью донных беспозвоночных.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить видовой состав зообентоса озёр района г. Норильска в зонах влияния ГХК;
2. Изучить плотность зообентоса в озерах района г. Норильска в зонах влияния ГХК;
3. Оценить качество воды озёр района города Норильска в зонах влияния ГХК.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Концепции функционирования водных экосистем

1.1.1 Концепции функционирования рек

Река – естественный водоток, текущий с возвышенностей в пониженные участки рельефа, течение в котором формируется за счёт силы тяжести. Современная классификация водотоков основывается на трех основных частях: кренали, ритрالي и потамали. Креналь представляет собой область верховья речного потока, где вода исходит из родников и формируется родниковый ручей. В эукренали, которая находится в верхней части кренали, условия для жизни организмов наиболее благоприятны, с высоким содержанием кислорода и стабильными температурными условиями. В гипокренали, которая расположена в более низкой части кренали, условия менее благоприятны, с более низкой концентрацией кислорода и изменчивыми температурами. Ритраль является промежуточной частью реки, расположенной ниже кренали и характеризующейся гравийным или каменистым дном. В этой области вода имеет высокую скорость течения, высокую концентрацию кислорода и среднегодовые температуры около 20°C. Потамаль, находящаяся ниже ритрала, представляет собой нижнюю часть водотока и имеет песчаное, заиленное или илистое дно. В этой зоне скорость течения реки невелика, а концентрация кислорода ограничена [19].

Одной из основных концепций функционирования речных экосистем является гипотеза речного континуума, согласно которой в речном сообществе виды постоянно заменяются для сокращения потери энергии от верховья к устью. Основной задачей речных гидробионтов, согласно гипотезе, является максимально эффективное использование субстрата при равномерном распределении энергии в потоке. Согласно гипотезе речного континуума, в истоке реки преобладает аллохтонная органика – листовой опад, кусочки древесины. В данной зоне преобладают организмы-измельчители и собиратели, например,

личинки подёнок, веснянок, некоторые ручейники. По мере спуска по течению в реке, крупнодисперсное органическое вещество уступает место мелкодисперсному, и населяющее его сообщество развивается в форме перифитона, организмов-обрастателей. В этом контексте в макрозообентосе становятся доминирующими фильтраторы и соскребатели, некоторые веснянки, ручейники, амфиподы, кишечнополостные, а также брюхоногие и двустворчатые моллюски. В устье реки преобладает ультрамелкодисперсное органическое вещество, сопровождаемое планктонным сообществом. В составе зообентоса здесь ведущую роль играют коллекторы-собиратели, в основном, личинки подёнок (напр., *Drunella* sp.), веснянок или ручейников.

1.1.2 Концепции функционирования озёр

Озёра представляют собой котловины с различной морфометрией, заполненные водой. Их происхождение может быть тектоническим (сдвиги в земной коре, например, Байкал), реликтовым (например, Каспийское море, как отделившееся от Чёрного моря за счёт поднятия суши), ледниковые (напр., озёра Карелии, возникшие при отступлении ледниковых масс), термокарстовые (образовавшиеся за счёт таяния ледников), эоловые (выветренные), вулканические и т.д. В долинах рек характерны пойменные озёра – отшнуровавшиеся участки бывшего русла, у морских побережий – лагуны и лиманы, отшнуровавшиеся участки морей.

По характеру водного питания озёра разделяются на: бессточные, получающие воду из атмосферных осадков и ключей; сточные, для которых характер питания аналогичен предыдущему, но имеется сток, например, в реку; проточные, имеющие приток и сток рек и других водотоков; и устьевые, лишённые стока, но имеющие приток.

В бентали озёр выделяются литораль – прибрежное мелководье, сублитораль, простирающуюся до нижней границы водной растительности, характеризующуюся горизонтом прозрачности, и профундаль, характерную для

особо глубоких озёр, как зона с минимальным освещением и максимальной глубиной. В вертикальном градиенте выделяют эпилимнион, верхний слой с резкими колебаниями температуры в течение суток или сезона, гиполимнион, придонный слой со слабыми колебаниями температуры, и металимнион или термоклин, зону температурного скачка.

По кормности пресноводные озёра принято разделять на эвтрофные, мезотрофные, олиготрофные и дистрофные. Эвтрофные озёра обычно неглубоки, высококормные, с обильным поступлением биогенов. В тёплые сезоны в них активно развиваются микроскопические водоросли, бактерио-и зоопланктон, а также, соответственно, зообентос и ихтиофауна. Литораль у таких озёр зарастает макрофитами, однако сублитораль и профундаль, за счёт обеднённого кислородом гиполимниона, обычно пустые, с минимальными биомассами. Олиготрофные озёра количественно бедны как растительными, так и животными организмами, за счёт пониженного стока биогенов, слабого поглощения кислорода, бедных органикой донных отложений. Мезотрофные озёра выделяются при средних показателях, располагаясь в классификации между эвтрофными и олиготрофными. Наконец, максимально обеднёнными считаются дистрофные озёра. Они часто заболочены, вода в них обладает низкой прозрачностью, содержит гуминовые кислоты и взвешенные частицы органического вещества.

Большинство озёр (сточных или проточных) относится к пресным, меньшая – к солоноватым, солёным или пересолённым. Встречаются озёра, у которых вертикальный или горизонтальный градиент солёности меняется достаточно резко и образуется хемоклин (оз. Балхаш, оз. Могильное).

Несмотря на то что озёра не относятся к водотокам, в них также могут присутствовать течения, турбулентность, волнения, вызывающие перемешивание водных слоёв, температуры и минерализации. В случаях, когда перемешивание минимальное, озёра относят к меромиктическим – например, озера Кольского полуострова, озеро Шира в Хакасии и т.д.

Озёрные грунты делятся на автохтонные и аллохтонные. Автохтонные формируются за счёт донных отложений – отмирающей органики или разрушающихся берегов. Аллохтонные приносятся стоками – реками, - или ветром. Чаще всего это ил, песок, гравий, галька, валуны, или продукты антропогенной деятельности – промышленные отходы, древесные остатки от лесосплава и т.д.

1.2 Донные беспозвоночные водоёмов и водотоков

1.2.1 Донные беспозвоночные озёр

В озёрах характерно доминирование организмов-фильтраторов и илоядов; автогенные миграции организмов, не вызванные дрейфом.

Организмов-обитателей стоячих водоёмов называют лимнофилами или лимнобионтами. В отличие от обитателей текучих водоёмов, лимнобионтам не требуется сопротивляться сильным течениям, а потому у них, в основном, отсутствуют развитые органы прикрепления. Также, в отличие от быстрых рек, в озёрах и других стоячих водоёмах наблюдается меньшее количество растворённого кислорода, из-за чего лимнофильные организмы менее требовательны к его содержанию [18]. Представители лимнофильного бентоса обитают в основном условиях большого количества ила, пониженного содержания кислорода, низкого или отсутствующего течения, иногда – в солёных водах. Кроме того, были выявлены зависимости между биомассами сообществ зоопланктона и бентоса с первичной продукцией планктона, на примере многолетних исследований оз. Красное (Ленинградская обл.) в период 1964-1984 гг., Нарочанских озёр (Беларусь) с 1978 по 2010 г. и Щучьего залива Ладожского озера в период его восстановления [12].

По сравнению с реками, для озёр характерно большое количество донных отложений, которые не выносятся из них течением, а потому зачастую являются носителями накопившихся загрязнений. Из-за подобных особенностей, при

катастрофической нагрузке на озеро страдать в наибольшей степени может именно бентос. Так, например, при исследовании донных отложений Онежского озера с учетом их химического состава и показателей состояния глубоководного макрозообентоса, было выявлено, что в районе Кондопожской губы, где воды активно загрязняются действующим ЦБК, находятся токсичные чёрные илы, с высоким содержанием железа, марганца и других микроэлементов [20]. Показатели бентоса в данных условиях характеризовались как низкие, бентос был представлен личинками хирономид, олигохетами и амфиподами.

Бентос озер наибольшего качественного и количественного богатства достигает в литорали, меньшего – в сублиторали, и минимального – в профундали [35]. Это объясняется тем, что большая часть бентосных организмов относится к гетеротрофам, неспособным обитать в обеднённых питательными веществами глубоких участках озера. В то же время, как показано в исследовании меромиктического озера Шира, наибольшее богатство может наблюдаться и в профундали [48]. Так, профундаль озера Шира характеризуется относительно пологим уклоном и большим количеством иловых отложений, что благоприятно влияет на обитание в данном слое хирономид. При этом, на них также напрямую влияет уровень воды в озере, перемешивание слоёв и относительно низкое содержание соли в последние десятки лет. В то же время профундаль озера Плещеево в Ярославской области характеризовалась низким биоразнообразием с доминированием хирономид *Potamothrix hammoniensis* и *Chironomus* гр. *plumosus* (индекс Шеннона-Уивера ~0), при аналогичном высоком заилении, что объясняется преобладанием бедных кислородом чёрных илов [43].

Также наиболее важным фактором для состава и структуры бентосных организмов является тип литорали и субстрата на ней – каменисто-песчанистый, илистый, песчанистый. При исследовании озера Суур-Сайма (Финляндия), в озере были представлены все три типа литорали, но наибольшее видовое разнообразие наблюдалось на каменисто-песчаном грунте, что объясняется большим разнообразием биотопов по мере изменения размерных групп грунта – от валунов до мелкой гальки с песком. Кроме того, каменисто-песчаный грунт позволяет

развиваться организмам-обрастателям, относящимся к перифитону, которые могут также служить пищей для организмов зообентоса [37]. В аналогичном исследовании литорали Крестового залива Ладожского озера также показало, что наибольшая плотность поселения макрозообентоса была отмечена на станции с глубиной 3–4 м на валунах среднего размера, наименьшая – на мелких камнях на глубине 5-6 м. В соответствии с полученными данными было также установлено, что выбор метода отбора проб бентоса также напрямую зависит от типа грунта – например, в данном исследовании рекомендовался водолазный метод с использованием пробоотборников [32].

В озёрах встречаются многие виды личинок хирономид – *Cricotopus*, *Psectrocladius*, *Trichocladius*, *Chironomus*, *Glyphotendipes*; личинок ручейников – *Apatelia*, *Leptocerus*; личинок подёнок – *Heptagenia*, *Ephemera*; веснянок – *Perlodes* sp.; а также моллюски (*Pisidium*), веслоногие рачки, олигохеты – *Tubifex*, *Limnodrilus*, *Pelosclex*, пиявки *Glossiphonia* и др. В озёрах с песчаной литоралью, прибрежных лагунах и лиманах, встречаются представители мейобентоса – коловратки, гарпактикоиды, мелкие нематоды и олигохеты [38].

1.2.2 Донные беспозвоночные рек

Бентос в реках преимущественно представлен животными организмами, зообентосом, лито-, псаммо- и пелореофилами. К литореофилам (организмам, предпочитающим каменистый грунт) относятся в основном крупные организмы – водоросли (перифитон), губки, олигохеты и пиявки, личинки симулиид, ручейников, подёнок, веснянок, моллюски рода *Dreissena*. Псаммореофилы, обитающие на песчаных субстратах, чаще представлены мейобентосом и более мелкими формами макрозообентоса – личинками хирономид, олигохетами, амфиподами, нематодами, коловратками, некоторыми моллюсками. Наконец, к пелореофилам (илистые местообитания) относятся личинки хирономид, большинство двустворчатых и брюхоногих моллюсков, олигохеты, диатомовые и зелёные водоросли и простейшие. В реках с небольшим течением, относительно

не размытыми берегами, высокой прозрачностью могут формироваться фитореофильные сообщества – организмы, обитающие на водной растительности, в основном личинки ручейников, стрекоз, моллюски. Для таких организмов характерны достаточно высокие показатели биомассы и видового разнообразия.

Для реофильных организмов наиболее характерно явление дрефта – перемещение бентоса вниз по течению за счёт потока воды в реке [15]. Долгое время считалось, что дрефт вызывается затоплением рек, паводками, однако в последнее время учёные признают, что дрефт – это сезонное, суточное и, в целом, относительно постоянное явление, не зависящее только от изменения уровня воды в реке или её течения.

Существует два вида дрефта, опирающиеся на типы перемещения гидробионтов в водном столбе. Во-первых, активный дрефт, при котором организмы самостоятельно восходят из субстрата и перемещаются в столб воды. Во-вторых, пассивный дрефт, при котором гидробионты случайно отрываются от субстрата вследствие воздействия течений или других внешних сил [24]. Кроме того, дрефт разделяется на три типа в зависимости от уменьшения, увеличения или неизменности биомассы бентосных гидробионтов на грунте: «положительный» дрефт, «отрицательный» дрефт и «нейтральный» дрефт [23]. Наконец, в особых случаях могут выделять «катастрофический» дрефт. Этот вид дрефта бентоса вызывается экстремальными природными явлениями (крупные паводки, затопления, резкое пересыхание реки), антропогенными факторами (крупный сброс загрязнений, активная деятельность ГЭС) и т.д. Чаще всего, как следствие «катастрофического» дрефта, происходит полное (уничтожение) или частичное разрушение отдельных донных сообществ, однако в определённых условиях дрефт может также способствовать их быстрому восстановлению [10]. Так, при исследовании дрефта донных беспозвоночных в притоках Онежского озера (р. Лососинка и Шуя) раннее повышение температуры в марте привело к вскрытию рек и перемещениям грунта вместе с активными паводковыми потоками воды. При этом численность бентосных организмов на исследуемых станциях резко сократилась (с ~300 экз/м² до 150 экз/м² в р. Лососинка), но также

быстро восстановилась в последующие месяцы, что объясняется концентрацией организмов на крупном грунте (например, валуны), из которого они могут быстро переселиться после паводков [17].

Интенсивность активного дрейфа донных организмов, всплывающих самостоятельно (эконосиртон), можно определить плотностью населения бентоса, его составом, наличием и обилием питания, (не)благоприятными условиями среды и биологией вида [7]. Одним из первых факторов, с помощью которых был изучен дрейфт была плотность населения. Считается, что при высоких плотностях населения часть организмов добровольно (активно) дрейфует в другие местообитания, дальше по течению водотока, в том числе, в озёра. Это говорит о том, что для бентосных организмов дрейфт характерен как поведенческая адаптация, приспособление для расселения или смены местообитания при неблагоприятных условиях [5].

1.3 Биоиндикация с использованием бентоса

При использовании биологических методов оценки качества воды наиболее целесообразным считается изучение сразу нескольких, в идеале всех, групп организмов, обитающих в изучаемой системе. В случае водоёмов, необходимо рассмотреть фитопланктон, как основной продуцент органического вещества, зоопланктон, являющийся консументом первого порядка, бентосные организмы, питающиеся как планктоном, так и детритом, а также рыб и других крупных водных животных, для которых все вышеперечисленные организмы могут входить в состав кормовой базы [8].

Исследование донных беспозвоночных – актуальная тема многих отечественных и зарубежных работ, во многом благодаря широкому распространению макрозообентоса как биоэкологического индикатора состояния экосистемы. Популярность бентоса как экологического индикатора объясняется его чувствительностью к колебаниям качества как воды, так и грунта в водоёме, устойчивостью его сообществ даже под антропогенными воздействиями [53], а

также достаточно крупными размерами организмов, за счёт которых зачастую нет необходимости использовать микроскоп [9].

В морских и океанических системах чаще всего используются моллюски и ракообразные, в пресноводных – личинки насекомых, олигохеты, изредка моллюски. Использование этих организмов получило широкое распространение, например, для оценки восстановительных работ в речных экосистемах, находящихся в урбанизированных районах [4], или в ихтиологических исследованиях, поскольку большинство рыб либо являются бентофагами, либо переходят на бентосный корм в неблагоприятных условиях [16].

Качество воды (ГОСТ 17.1.1.01-77) – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования.

Биологическая индикация – определение качества воды и состояния водных экосистем по структурным и функциональным характеристикам природных сообществ (ГОСТ 27065-86).

Большинство методов оценки качества воды основаны на использовании нескольких показателей, которые можно разделить на:

- Простые;
- Комбинированные;
- Комплексные.

Комбинированные и комплексные показатели принято обобщенно называть “индексами”.

Основным результатом гидробиологического мониторинга являются три основных показателя, которые применяются в индексах [49]:

- Плотность видов S – оценка числа видов (видового разнообразия), характерная для данной точки экосистемы;
- Плотность организмов N – численность особей каждого вида, приходящаяся на единицу размера экосистемы (m^3 , m^2 , m);
- Плотность биомассы B – масса особей каждого вида, приходящаяся на пространственную единицу экосистемы.

Форма зависимости величин индексов от степени загрязнения обычно бывает нелинейной (например, видовое разнообразие достигает минимальных величин как в очень чистых, так и в очень загрязненных водах).

Многие исследователи подчеркивают, что при описании состояния водоемов нужно предоставлять, по возможности, "абсолютные" исходные данные, т.е. естественный натуральный материал, не заменяя его только "относительными" данными, зашифрованными в виде индексов.

Для оценки качества воды по составу и структуре популяций донных гидробионтов используются индексы видового разнообразия, выравненности, богатства. Популяционная и видовая плотность сообществ гидробионтов может меняться во времени в зависимости от изменений факторов среды. Это может происходить как в ходе эволюционных процессов, протекающих в течение длительного времени, так и при антропогенном эвтрофировании и загрязнении водоемов, когда процессы изменения структуры экосистем протекают с большими скоростями. Сокращается число видов, возрастает доминирование отдельных видов, для которых характерны более короткие жизненные циклы, проявляется раннее наступление половозрелости, увеличение биомассы и продукции.

Видовое разнообразие складывается из двух компонентов:

- *Видового богатства*, или *плотности видов*, которое характеризуется общим числом имеющихся видов;
- *Выравненности*, основанной на относительном обилии или другом показателе значимости вида и положении его в структуре доминирования.

Таким образом, один из главных компонентов биоразнообразия – видовое богатство или плотность видов – это общее число видов, которое в сравнительных целях иногда выражается как отношение числа видов к площади или числа видов к числу особей. К индексам видового разнообразия, которые используются для оценки состава и структуры сообщества, а также качества воды, относятся такие индексы, как индекс Шеннона-Уивера, Маргалефа, Симпсона, Мотомуры, МакАртура и др. В исследования бентосных организмов чаще всего используется

именно индекс Шеннона-Уивера, во многом за счёт совокупности его мнимых и истинных свойств, которые позволяют суммировать большое количество информации о численности и видовом составе организмов, учитывая число видов и степень их доминирования [49]. При расчете энтропии H по Шеннону считается, что каждая проба – случайная выборка из сообщества, а соотношение видов в пробе отражает их реальное соотношение в природе. Стоит также отметить, что использование индекса Шеннона-Уивера предполагает относительность полученных данных, так как, для исследуемой экосистемы, полученное значение может оцениваться как высокое или низкое только относительно других подобных экосистем, с учётом климатических, физических и антропогенных параметров. Из-за данного свойства индекс Шеннона-Уивера не может служить абсолютным индикатором загрязнения или изменений в окружающей среде и должен сопровождаться другими данными. Так, при исследовании озера Сайма (Финляндия), оценивались антропогенное и биологическое загрязнение в зоне воздействия ЦБК г. Лапеенранта. В зоне максимального воздействия ЦБК показатели обилия были достаточно высоки и не отражали негативного влияния, в то время как ветвистоусый рачок *Bosnia longispina*, являющийся индикатором загрязнения, в этой же зоне страдал от токсикозов [37].

Один из широко распространённых методов оценки качества воды – использование биотических индексов. Наиболее известен индекс р. Трент (и расширенный индекс р. Трент), также известный как индекс Вудивисса. Концепция использования индекса основывается на идее о том, что, по мере увеличения интенсивности загрязнения, из состава донной фауны выпадают сначала наиболее чувствительные группы животных – веснянки, затем поденки, ручейники и т.д. В конце концов, остаются только олигохеты и личинки хирономид, исчезающие только при очень сильном загрязнении [34]. На этом основании Вудивисс разбил возможные степени загрязнения на 10 классов и построил таблицу для определения этих классов по наличию или отсутствию отдельных групп гидробионтов с учетом общего количества таких групп на изучаемом участке. Под термином “группа” подразумевается результат, к

которому приходят при определении систематического положения водных организмов без рассмотрения деталей строения. Группы составляют следующие организмы: часто встречающиеся и легко определяемые виды плоских червей, пиявок, водных клещей, жуков, ракообразных, личинок веснянок, подёнок, двукрылых, *Baetis rodani* (подёнка), *Chironornus thummi* (мотыль). Кроме них в понятие “группа” входят ручейники, хирономиды и симулииды, определяемые до семейства, и сетчатокрылые, определяемые до вида. Величина биотического индекса зависит от видового разнообразия (числа присутствующих "групп") и состава бентоса.

Наиболее распространёнными индикаторами загрязнения среди бентоса считаются такие группы, как: личинки ручейников, подёнок, веснянок, двукрылых (хирономид), олигохеты (малощетинковые черви), пиявки [3]. Для каждой из групп характерны такие особенности их образа жизни, которые позволяют проводить достаточно точную оценку состояния окружающей среды. В пределах одной группы могут встречаться организмы с различной устойчивостью к разным типам загрязнения. К примеру, подёнки рода *Ephemera* способны развиваться в заиленных, плохо аэрируемых водоёмах, поэтому их нахождение в том или ином водоёме будет говорить о степени его заиленности и аэрируемости. Другой пример относится к пиявкам и олигохетам. В случае повышенного загрязнения значительно понижается количество ручейников, подёнок, веснянок, предпочитающих чистые местообитания, и повышается количество олигохет, которые способны развиваться в неблагоприятных для других групп условиях. Пиявки – хищные организмы, поедающие олигохет, т.е. их количество будет зависеть от количества олигохет в водоёме. Нахождение большого количества олигохет или пиявок в пробах будет говорить о низком качестве воды в водоёме. Для определения качества воды по соотношению этих таксонов, были разработаны хирономидный индекс Балускиной и олигохетный индекс Гуднайта-Уитлея.

Другой широко распространённый метод – оценка качества воды по индексу сапробности.

Сапробность воды – экологическая ситуация водоема, зависящая от количества и активности разложения гниющего органического вещества и выражающаяся в определенной структуре сапробных организмов.

Сапробность организма – комплекс физиологических свойств, обуславливающий способность развиваться в воде с тем или иным содержанием органических веществ.

Индекс сапробности претерпевал большое количество модификаций, самая популярная из которых – модификация Пантле-Букка, которая учитывает индивидуальный индекс сапробности организма, оценивающийся по классу сапробности тех местообитаний, в котором обитает данный организм. Например, этот индекс равен 1 для олигосапробов, 2 для б-мезосапробов, 3 для а-мезосапробов и 4 для полисапробов. Индекс сапробности, как ясно из определения, наиболее чувствителен к органическому загрязнению, однако может быть не чувствителен к другим типам. Для таких случаев был разработан индекс сапротоксобности.

Токсобность (ГОСТ 17.1.2.04-77) - способность организмов обитать в воде, содержащей различное количество токсичных веществ. Индекс сапротоксобности, аналогично индексу сапробности, учитывает индивидуальные индексы сапротоксобности организмов: 1.0 – 1.5 в олигосапротоксобной зоне, 1.5 – 2.5 в б -мезосапротоксобной зоне, 2.5 – 3.5 в а - мезо-сапротоксобной зоне и 3.5 – 4 – в полисапротоксобной зоне. Принципиальные отличия концепции сапротоксобности лишь в том, какой набор гидрохимических показателей является основанием для деления водоемов на четыре класса: по В.А.Яковлеву следует учитывать не только БПК₅ и содержание кислорода, но и широкий набор неорганических поллютантов.

В исследованиях макрозообентоса использование статистических методов, в том числе различных многомерных анализов, способных оценить несколько факторов за раз, не так широко распространены, как в других областях. Наиболее распространены в исследованиях следующие методы: RDA (анализ избыточности) [6], PCA (метод главных компонент), CCA (анализ соответствий)

[1] и т.д. Подробный обзор методов и их применения для исследования бентосных сообществ на примере статистического анализа имеющихся данных по р. Уса представлен в обзорной статье Шитикова В. К. и Зинченко Т. Д., где сравнивались различные методы многомерного анализа [50].

1.4 Состав и структура бентосных сообществ водоёмов севера Красноярского края

Норило-Пясинская озерно-речная (водная) система (НПОРС) расположена в пределах Таймырского Долгано-Ненецкого района и городского округа Норильск, в Красноярском крае. Это уникальный аazonальный водосбор арктической зоны России, который представляет собой сеть крупных и малых озер, соединенных водотоками: ключами, малыми и крупными реками [30]. Самые крупные реки системы – Пяси́на, Лама, Глубокая, Норилка. Крупные озёра – Пяси́но, Мелкое, Лама, Кета, Хантайское, Собачье и др. [25] Бассейн реки Пясины, включая озеро Пясино с его притоками, относится к водным объектам высшей и первой категориям рыбохозяйственного водопользования.

Большая часть водоёмов НПОРС находится на территории Плато Путорана, в экологическом регионе северной тайги сибирского типа, на высоте над уровнем моря от 1000 м. Плато Путорана является водоразделом для низовий рек Енисея и Хатанги, при этом там же находятся верховья многих их притоков, например, р. Курейка (бассейн Енисея), и других крупных рек – Хеты, Иркинды и др. [40]

В 2020 г. интерес к НПОРС возрос в связи с техногенной катастрофой 29 мая, в результате которой 20 тыс. тонн дизтоплива попали в безымянный ручей и распространились вниз по течению по другим водоёмам системы. Для оценки ущерба окружающей среде и дальнейших действий по восстановлению водоёмов была организована Большая норильская экспедиция СО РАН [31]. Кроме того, на территориях НПОРС расположены горнодобывающие предприятия Норильского и отчасти Энергетического дивизиона Норильского Никеля, что также оказывает

влияние на состояние местных экосистем.

В пределах муниципальных образований Красноярского края, входящих в АЗРФ, основным центром промышленного загрязнения является Норильский горнодобывающий и металлопроизводящий комбинат. Кислотные дожди, выпадающие на севере Красноярского края, приводят к закислению водоёмов и другим негативным изменениям среды на значительной части Таймырского полуострова. В последние десятилетия предприняты меры по снижению выбросов за счёт модернизации очистных сооружений и сокращения отдельных производств. Многие исследователи подчеркивают недостаточную лимнологическую изученность севера Красноярского края.

1.4.1 Зообентос озёр Норило-Пясинской озёрно-речной системы

В верховьях бассейна реки Пясины расположена система Норило-Пясинских озёр, включающая крупные пресноводные водоёмы: Кета, Лама, Собачье, Накомьякен, Мелкое и др. Некоторые из этих озёр входят в состав крупнейших глубоководных водоёмов Сибири [30, 31]. Норильские озёра являются озёрами ледниково-тектонического происхождения и относятся к системе водоёмов Норильского плато Таймырского полуострова. Площадь озёр колеблется от 8,3 до 31 тыс. га, а максимальная глубина достигает 200 м (оз. Лама). Большинство Норильских озёр располагается на высоте около 1200 м над уровнем моря, в них впадает множество мелких ключей и рек, создающих в озёрах условия слабой проточности. Преобладающим грунтом являются песчано-илистые бурые и серые илы, преобладающей растительностью – рдесты и нитчатые водоросли [33]. По температурному режиму озёра относят к холодноводным, по трофичности – к олиготрофным.

Донная фауна Норильских озёр считается обеднённой, складывается из ~15 групп организмов (в среднем от 45-80 таксонов), среди которых основу составляют личинки хирономид (п/сем Diamesinae и Orthocladinae), олигохеты и моллюски. Это соотносится с данными по другим тундровым озёрам, например, с

озёрами Хантайской системы Ямало-Ненецкого АО, в которых, в исследовании 2014 года, было выявлено 23 группы донных беспозвоночных (126 видов), из которых доминировали амфиподы (*Alonopsis elongatus*, *Alona affinis*), в меньшей степени – гарпактикоиды, хирономиды и олигохеты []. Многие авторы отмечают, что хирономиды являются литореофильными организмами, и попадают в озёра с речным стоком [27]. В то же время моллюски и олигохеты более характерны для озёр, развиваются в стоячих водоёмах [47]. В 1963 году хирономиды, моллюски и олигохеты составляли не менее 75% от общего количества таксонов, найденных в Норильских озёрах Лама, Собачье, Глубокое [29]. Биомасса зообентоса в то время не превышала 27 кг/га, что отмечается как низкий показатель, вызванный приуроченностью озёр к зоне вечной мерзлоты, коротким вегетационным периодом и бедностью биогенов. В 2004 году на территории плато Путорана, в малых озёрах, в общей сложности были определены 98 видов макрофауны, из них 37 видов – хирономид. В ходе исследований было выделено три основных типа сообществ малых озёр плато Путорана: сообщество класса пелали с преобладанием роющих форм макробентоса, развивается на илисто-детритных грунтах, с доминированием хирономид, горошинок и вислоккрылки *Sialis sordida*; сообщество класса рипали, приурочено к береговым субстратам, в котором преобладали подвижные лазающие формы (бокоплавцы, стрекозы); фитальное сообщество погружённых макрофитов с доминирующими брюхоногими моллюсками [40]. В 2013-2014 гг. были отмечены схожие показатели – в видовом составе таких озёр, как Лама и Собачье доминировали олигосапробные личинки стенооксибионтных и оксифильных хирономид (79 и 65% от общего числа видов в озере) [39].

Озеро Хантайское располагается южнее большей части Норильских озёр и некоторое время также относилось к Норильской озёрной системе, отшнуровавшись от неё в результате образования Хантайско-Рыбинского вала. Из озера вытекает только одна река Хантайка, в то время как впадают в него достаточно крупные реки, например, Хоконча и Кутармакач. Характерными грунтами являются галька, песок, серый и коричневый ил. В составе донной

фауны озера, по данным 1961 г., было обнаружено 16 групп зообентоса – мшанки, нематоды, олигохеты, личинки насекомых и др. Как и в случае с другими озёрами НПОРС, личинки хирономид доминировали в видовом составе (33 вида), тогда как остальные группы были качественно бедны. Среднелетняя биомасса зообентоса не превышала 0.97 г/м², численность – 398 экз./м², соответственно, озеро Хантайское также считалось обеднённым [28].

В 2020 году на глубоководной заиленной станции оз. Пясино развились олигохеты *L. hoffmeisteri*, доля которых в составе бентофауны на этой станции (40 и 79 % общей биомассы и численности соответственно) была максимальна. По биомассе на этой станции доминировала амфипода *Monoporeia affinis* (Lindström). Отмечены снижение разнообразия хирономид, увеличение доли олигохет полисапробов, низкие значения индекса Шеннона-Уивера в оз. Пясино в 2020 г. по сравнению с 1992 г. Невысокие средние величины численности (2181 ± 2048 экз/м²) и биомассы (2,01 ± 1,85 г/м²) зообентоса в озере обусловили низкие величины продукции зообентоса и потенциальной продукции рыб-бентофагов (3 кг/га за сезон) [51].

В 2021 году было проведено исследование сообществ макрозообентоса в малых арктических озёрах Евразии. На плато Путорана, в озёрах, относящихся в том числе к Норило-Пясинской водной системе, в общей сложности были определены 98 видов макрозообентоса, из них 37 – хирономид, по 9 – прочих двукрылых и ручейников, по 8 – поденок и жуков, 6 – стрекоз, 5 – брюхоногих моллюсков. Другие таксоны были представлены беднее. Около трети видового богатства приходилось на северные (циркумарктические) виды, остальные таксоны – аркто-бореальные, распространенные на большей части Палеарктики. Средняя суммарная численность макрозообентоса в водоемах составляла 834 экз./м², биомасса – 2.83 г/м², метаболизм – 0.98 мл O₂/м². Синэкологический анализ позволил авторам выделить три основных типа сообществ, широко распространенных в изученных озерах, которые образуют многочисленные переходные варианты: сообщество хирономид *Chironomus gr. plumosus* и *Procladius gr. choreus* вислоккрылки *Sialis sordida* (Klingstedt, 1932), водорослей

Euglesinae; сообщество *Gyraulus acronicus* (Ferussac, 1807), *Cincinna ambigua* (Westerlund, 1878); сообщество амфиподы *Gammarus lacustris* (Sars, 1863), олигохеты *Lumbriculus variegatus* (Müller, 1774), личинок стрекоз *Leucorrhinia orientalis* (Selys, 1887), *Somatochlora sahlbergi* (Trybom, 1889) [40].

В бентофауне озера Мелкого в 2022 году было обнаружено 26 видов организмов, из них 13 — хирономиды, шесть — олигохеты, два — личинки двукрылых, остальные таксоны представлены единично (амфиподы, брюхоногие и двустворчатые моллюски, нематоды, водные клещи). Средняя численность зообентоса на глубине 1–14 м составляла 1182 ± 82 экз./м², биомасса — 1.916 ± 0.084 г/м²; на глубине до 0.5 м численность была 7 ± 7 экз./м², биомасса — 0.002 ± 0.002 г/м². Структура сообществ упрощена, резко выражено доминирование хирономид *Procladius ferrugineus* (Kieffer, 1919) и олигохет *Enchytraeidaegen sp.* Основной вклад в состав сообщества на всех глубинах вносили хирономиды, которые составили 38% общей биомассы и 58% общей численности. Доминировали представители подсемейства Tanypodinae личинки *Procladius ferrugineus*, по способу питания относящиеся к группе хищников. По «шкале трофности» озеро Мелкое на глубине 1–14 м соответствует олиготрофному типу, на глубине 0,5 м — ультраолиготрофному [44].

1.4.2 Зообентос рек Норило-Пясинской озёрно-речной системы

Самая крупная река НПОРС – река Пясино, длиной 818 км, исток реки – озеро Пясино, общая площадь водосборного бассейна – 182 тыс. км² [39]. Верховья реки находятся на территории плато Путорана, сама река и многие её притоки относятся к Норило-Пясинской озёрно-речной системе. Другие реки НПОРС – Амбарная, Далдыкан, Глубокая, Лама, Норилка, а также их притоки и многочисленные ручьи, в том числе безымянные. Большинство рек впадает или вытекает из одноимённых озёр (1.3.1). Реки в зоне влияния промышленности г. Норильска характеризуются высокой концентрацией загрязнения воды соединениями меди. Так, в устье р. Щучья, где организован сброс сточных вод

предприятий «Норникеля», концентрация соединений меди в воде превышает ПДК более чем в 1 000 раз [31]. Также высоки концентрации в воде ионов никеля, кобальта и других металлов. Ситуация с состоянием водных ресурсов в регионе значительно ухудшилась после техногенной катастрофы на ТЭЦ-3 (принадлежит дочерней компании «Норникеля» — АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» — АО НТЭК) в конце мая 2020 г., когда в водные объекты и почву попало более 21 тыс. т дизельного топлива (в том числе около 15 тыс. т оказались в воде). В результате допустимая концентрация вредных веществ была превышена в несколько десятков раз. Общая площадь загрязнения нефтепродуктами составила 180 тыс. м². Большая часть топлива ушла по рекам Амбарная и Далдыкан в сторону Северного Ледовитого океана. Нефтепродукты были обнаружены также в озере Пясино. Произошел замор большей части рыбных запасов в названных реках, а выжившая часть рыбы из-за превышения предельно допустимой концентрации вредных веществ в воде более 10 тыс. раз оказалась непригодной для употребления. В целом негативному воздействию из-за утечки топлива подверглась вся акватория Норило-Пясинской озерно-речной системы — от места аварии вниз по течению до Карского моря [26].

Первые гидробиологические исследования водных объектов бассейна р. Пясины проводились в 1929–1930 гг. Б. В. Бессчастновым и П. Л. Пирожниковым, при изучении кормовой базы реки были собраны пробы зоопланктона [41, 47]. В последующие годы исследовались в основном Норильские озёра, Собачье, Лама и др., в том числе для изучения бентоса. Исследования продолжились только в 2018 г., когда, при изучении современного состояния гидробионтов р. Пясины, было отмечено постепенное снижение видового богатства зообентоса от истока (17 видов) к дельте р. Пясины (5 видов). Широко распространенными видами, которые обнаружены в большинстве станций отбора проб, являлись хирономиды *Paracladopelma camptolabis* (Kieffer, 1913) и *Monodiamesa bathyphila* [47]. В дальнейшем, в 2019 г. в р. Пясины было отмечено наличие 8 групп, 26 таксонов макрозообентоса, из которых 17 таксонов составляли личинки хирономид (*Chironomus sp.*, *Polypedilum sordens*, *Paracladopelma camptolabis*,

Thienemannimyia sp.) [46]. По полученным в 2019 г. данным, река была отнесена к олиготрофному типу, а вода, по показателям зообентоса, относилась к I–III классу качества (вода «условно чистая» — «загрязненная») [32]. В исследуемом периоде с 2018 по 2019 годы было зарегистрировано 44 разновидности макрозообентоса, преобладающими из которых были виды хирономид (24 вида). Большинство исследователей отмечает, что макрозообентос в реке Пяси́на и ее притоках обладает уникальными характеристиками, отличающимися от сообществ, присущих озерным экосистемам. Однако, для углубленного понимания этих различий, требуются дополнительные исследования [30, 39, 46].

После разлива нефти в 2020 году были проведены многочисленные исследования, для выявления масштабов катастрофического влияния нефтепродуктов на водные экосистемы. В исследовании Шулепиной С. П. с соавторами, исследовались три водотока – руч. Безымянный, устье р. Далдыкан и р. Амбарная. По плотности в данных реках доминировали олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede и *Tubifex tubifex* (O. F. Muller). В оз. Пяси́но и истоке р. Пяси́на преобладали личинки ручейников, хирономид, веснянок, а также амфиподы [51].

==Изъято в связи с авторскими правами (стр. 24-67)==

ВЫВОДЫ

1. Видовой состав макрозообентоса на исследованных озёрах представлен 99 таксонами, из которых: 56 личинок хирономид, 9 личинок ручейников, 7 видов олигохет, 5 видов амфипод, 4 вида личинок подёнок, по 3 вида двустворчатых и брюхоногих моллюсков, по 2 вида личинок жуков, двукрылых, пиявок, по 1 – водных клопов, личинок веснянок, планарий, большекрылок, водных клещей и нематод. Видовое разнообразие бентофауны по районам варьировало от 3 таксонов (оз. Мелкое) до 36 таксонов (оз. Без названия-1).

2. Средние значения индекса Шеннона-Уивера варьировали от 3.57 ± 0.05 на оз. Без названия-1 до 0.38 ± 0.23 бит на оз. Амбарном. Самые низкие и самые высокие значения индекса Шеннона-Уивера зарегистрированы в поясе значительного воздействия.

3. Сходство видового состава зообентоса было выявлено между донными сообществами оз. Без названия-1 и донными сообществами оз. Ветренное, Боганидское, Без названия-8 ($K_{Sor}=0.64, 0.52$ и 0.5 соответственно). Кластерный анализ позволил выделить 4 зоны, отличные от зон поясов воздействия.

4. Численность и биомасса макрозообентоса Норильских озёр варьировали от $22\ 320 \pm 21\ 680$ экз/м² на оз. Без названия-4 и 23.40 ± 11.29 г/м² на оз. Без названия-1 до 260 ± 20 экз/м² и 0.15 ± 0.05 г/м² на оз. Мелком. Максимальные значения численности и биомассы зарегистрированы в поясе значительного воздействия ГХК, минимальные в поясе незначительного воздействия. Доминирующие комплексы состояли в основном из личинок хирономид, олигохет, иногда двустворчатых моллюсков. В большинстве озёр чаще всего доминировали: личинки хирономид *Parakiefferiella bathophila* (Kieffer), *Tanytarsus verralli* (Goetghebuer) – на 7 станциях; олигохета *Lumbriculidae* gen sp. – на 6 станциях.

5. Качество воды в озёрах оценивалось II классом качества (вода слабозагрязненная) в 17 озёрах и III классом качества в 2 озёрах – Глубокое-2 и Без названия-6, по РД 52.24.309-2016.

6. Между исследованными озёрами не были зарегистрированы статистически значимые различия в показателях качества воды, численности или биомассы зообентоса, в видовых составах или доминирующих комплексах.

7. Основываясь на полученных результатах, можно предположить, что на исследуемых озёрах в различных поясах влияния ГХК организмы зообентоса адаптированы к сложившимся условиям, а различия в доминирующих комплексах объясняются гидрологическими или гидрохимическими характеристиками водоёмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ РЕСУРСОВ

1. Aquatic macroinvertebrate assemblages in rivers influenced by mining activities / A. Eduardo Rico-Sánchez, A. Joseph Rodríguez-Romero, J. Elías Sedeño-Díaz [et al.]. – Text: electronic // *Scientific Reports* 2022 12:1. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 1-14. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-06869-2> (date accessed: 16.05.2023).
2. Armitage P. D. Some aspects of the ecology of *Pagastiella orophila* (Diptera: Chironomidae) in the lake Kuusijärvi, in the south of Finland // *The Canadian Entomologist*. – 1971. – T. 103. – №. 3. – С. 306-310.
3. Benthic Macroinvertebrates as Ecological Indicators: Their Sensitivity to the Water Quality and Human Disturbances in a Tropical River / L. Tampo, I. Kaboré, E. H. Alhassan [et al.] // *Frontiers in Water*. – 2021. – Vol. 3. – P. 108.
4. Condition of macroinvertebrate communities in the Buffalo River Area of Concern following sediment remediation / S. D. George, B. T. Duffy, B. P. Baldigo [et al.] // *Journal of Great Lakes Research*. – 2022. – Vol. 48. – № 1. – P. 183-194.
5. Dimond, J. B. Evidence that Drift of Stream Benthos is Density Related / J. B. Dimond. – Text: electronic // *Ecology*. – 1967. – Vol. 48. – № 5. – P. 855-857. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2307/1933744> (date accessed: 24.05.2022).
6. Effects of environmental factors on benthic species in a coastal wetland by redundancy analysis / H. W. Chen, H. C. Lin, Y. H. Chuang [et al.] // *Ocean & Coastal Management*. – 2019. – Vol. 169. – P. 37-49.
7. Hildebrand, S. G. The relation of drift to benthos density and food level in an artificial stream / S. G. Hildebrand. – Text: electronic // *Limnology and Oceanography*. – 1974. – Vol. 19. – № 6. – P. 951-957. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.4319/lo.1974.19.6.0951> (date accessed: 24.05.2022).

8. Li, L. Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends / L. Li, B. Zheng, L. Liu // *Procedia Environmental Sciences*. – 2010. – Vol. 2. – P. 1510-1524.
9. Lomartire, S. Biomarkers based tools to assess environmental and chemical stressors in aquatic systems / S. Lomartire, J. C. Marques, A. M. M. Gonçalves // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 122. – P. 107207.
10. Tonkin, J. D. Macroinvertebrate drift-benthos trends in a regulated river / J. D. Tonkin, R. G. Death // *Fundamental and Applied Limnology*. – 2013. – Vol. 182. – № 3. – P. 231-245.
11. Акатьева, Т. Г. Анализ биоразнообразия и морфометрических показателей гидробионтов в условиях Крайнего Севера / Т. Г. Акатьева // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2023. – № 4(102). – С. 239-243. – EDN OUMPRO.
12. Алимов, А. Ф. Анализ результатов мониторинга биологических сообществ в некоторых озерах / А. Ф. Алимов // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 395-403. – DOI 10.17516/1997-1389-0041. – EDN YPJXVP.
13. Аникина М. А. Степень изученности хирономид рода *Procladius* Skuse, 1889 (Diptera, Chironomidae) // *Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье*. – 2007. – Т. 6. – С. 46-53.
14. Анурьева, А. Н. Биокумуляция микроэлементов бентосными организмами и их миграция в биоте озера Балхаш / А. Н. Анурьева, Т. Я. Лопарева // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. – 2015. – № 1. – С. 86-92. – EDN TJUJHZ.
15. Астахов М. В. Дрифт беспозвоночных в двух водотоках о. Кунашир (Курильский архипелаг) / Астахов М. В. – Текст: электронный // *Биология внутренних вод*. – 2019. – Т. 4. – № 1. – С. 60-61. – URL: <https://www.biosoil.ru/files/publications/00018551.pdf> (дата обращения: 23.07.2021).
16. Астахов, М. В. Воздействие нереста лососей на зообентос: имитационный подход к оценке / М. В. Астахов. – Текст: электронный //

Зоологический журнал. – 2019. – Т. 98. – № 1. – С. 48-55. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37024836> (дата обращения: 26.12.2022).

17. Барышев, И. А. Сезонная динамика бентоса и дрефта беспозвоночных организмов в некоторых притоках Онежского озера / И. А. Барышев, А. Е. Веселов // Биология внутренних вод. – 2007. – № 1. – С. 80-86. – EDN HYRQAZ.

18. Безматерных, Д. М. Водные экосистемы: состав, структура, функционирование и использование / Д. М. Безматерных. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Алтайское отделение Гидробиологического общества РАН., 2009. – 97 с.

19. Безматерных, Д. М. Зообентос равнинных притоков Верхней Оби / Д. М. Безматерных. – Барнаул: Издательство Алтайского университета, 2008. – 186 с.

20. Биоиндикация загрязнения вод и донных отложений в Кондопожской губе Онежского озера / Н. М. Калинкина, Т. П. Куликова, И. А. Литвинова [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 3. – С. 265-274. – EDN NUIKUD.

21. Биотестирование донных отложений Онежского озера с учетом их химического состава и показателей состояния глубоководного макрозообентоса / Н. М. Калинкина, Н. А. Белкина, А. И. Сидорова [и др.] // Принципы экологии. – 2017. – № 1(22). – С. 81-103. – EDN ZNLUOV.

22. Боганидская паляя *Salvelinus boganidae* озера Собачьего (плато Путорана): возраст, рост, демографические параметры / В. А. Заделёнов, Е. В. Дербинева, А. Г. Бороздина, Ю. В. Ткаченко // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. – Т. 16. – № 1. – С. 36-51.

23. Богатов, В. Классификация дрефта речного бентоса / В. Богатов // Гидробиологический журнал. – 1988. – Т. 24. – № 1. – С. 29-33.

24. Богатов, В. Основные методы изучения дрефта речного бентоса / В. Богатов // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – 2005. – Т. 3. – С. 5-17.

25. Богданов, А. Л. География озёр Таймыра / А. Л. Богданов. – Ленинград: Л.: Наука, 1985. – 184-193 с.
26. Бурматова, О. П. Регионы Сибири с напряженной экологической ситуацией: причины и решения / О. П. Бурматова // Развитие территорий. – 2023. – № 4 (34). – С. 28-39.
27. Вершинин, Н. В. Донная фауна Норильских озёр и её роль в формировании кормовых ресурсов сиговых и хариусовых рыб / Н. В. Вершинин, А. В. Сычева // Труды Сибирского отделения ГосНИОРХ. «Рыбное хозяйство Восточной Сибири». – 1962. – Т. 8. – С. 185-199.
28. Вершинин, Н. В. К фауне беспозвоночных озера Хантайского / Н. В. Вершинин // Труды Сибирского отделения ГосНИОРХ. – 1967.
29. Вершинин, Н. В. Норильские озёра и их донная фауна / Н. В. Вершинин // Труды Всесоюзного Гидробиологического общества. – 1963. – Т. 13. – С. 63-72.
30. Гидрологический режим рек Норило-Пясинской озёрно-речной системы (Красноярский край) в 2021 году / Д. М. Безматерных, М. С. Губарев, А. В. Дьяченко [и др.] // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием: в 3 т. – Барнаул, 2022. – С. 70-74.
31. Гладышев, М. И. Разливы нефти в пресных водах и состояние экосистемы оз. Пясино до аварийного разлива 2020 г / М. И. Гладышев // Сибирский Экологический Журнал. – 2021. – Т. 28. – № 4. – С. 395-407.
32. Зуев, Ю. А. Опыт исследования макрозообентоса каменистой литорали Ладожского озера / Ю. А. Зуев, Н. В. Зуева // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2013. – № 30. – С. 134-147. – EDN REQQSN.
33. К оценке состояния донных отложений Норило-Пясинской системы / В. П. Андреев, А. А. Максимов, Е. Ф. Сороколетова, А. А. Шарыгин // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26. – № 4. – С. 472.

34. Калинкина, Н. М. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения / Н. М. Калинкина, Е. В. Теканова, М. Т. Сярки // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2017. – № 1. – С. 4-18. – EDN YNTYBN.
35. Константинов, А. С. Общая гидробиология: Учебник для биологических специальностей университетов / А. С. Константинов. – М.: Высшая школа, 1979. – 472 с.
36. Куприяшкин, А. Г. Состояние зоопланктона и зообентоса водных объектов Пясинского бассейна после техногенной аварии / А. Г. Куприяшкин, А. В. Прокудин, А. М. Шапкин // Биология внутренних вод. – 2023. – № 6. – С. 832. – DOI 10.31857/S0320965223060190. – EDN KYRNSN.
37. Литораль южной части озера Сайма, Финляндия: различия биотопов, уровня антропогенной нагрузки, их влияние на развитие бентоса и зоопланктона / Д. С. Дудакова, Н. В. Родионова, Л. Арвола, М. О. Дудаков // Региональная экология. – 2017. – № 4(50). – С. 20-31. – EDN YPOMBC.
38. Мейобентос. Методическое пособие по полевой практике. В.О. Мокиевский, Г.Д. Колбасова, С.В. Пятаева, А.Б. Цетлин / Москва: товарищество научных изданий КМК. 199 с.
39. Новые сведения о биоте некоторых озер западной части плато Путорана / В. А. Заделёнов, О. П. Дубовская, Л. В. Бажина [и др.] // Журнал сибирского федерального университета. Биология. – 2017. – Т. 10. – № 1. – С. 87-105.
40. Особенности сообществ макрозообентоса малых арктических озер Евразии / М. В. Чертопруд, С. В. Крыленко, А. И. Лукиных [и др.] // Биология внутренних вод. – 2021. – № 4. – С. 378-391.
41. Пирожников, П. Л. Река Пясина и её рыбные ресурсы / П. Л. Пирожников // За индустриализацию Советского Востока. – 1933.
42. Поляева, К. В. Эколого-фаунистический обзор паразитов лососевидных рыб озера Собачьего (плато Путорана) / К. В. Поляева, В. И.

Романов // Российский паразитологический журнал. – 2016. – № 3 (37). – С. 281-290.

43. Пряничникова, Е. Г. Таксономический состав макробентоса озера Плещеево / Е. Г. Пряничникова // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. – 2019. – № 86(89). – С. 57-71. – DOI 10.24411/0320-3557-2019-10011. – EDN ZYYDMD.

44. Современное состояние биоты озера Мелкого, Норило-Пясинская водная система / В. А. Заделёнов, Ю. Ю. Форина, П. М. Долгих [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2023. – Т. 17. – № 7. – С. 430-445.

45. Современное состояние экосистемы оз. Имандра в зоне влияния Кольской АЭС (Мурманская область) / Д. Б. Денисов, С. А. Валькова, П. М. Терентьев [и др.] // Вода: химия и экология. – 2017. – № 6(108). – С. 41-51. – EDN ZMIWUH.

46. Форина, Ю. Ю. Кормовая база и промысел рыбы в бассейне реки Пясины / Ю. Ю. Форина, М. В. Ерёмкина, В. А. Заделёнов // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство. – 2020. – С. 156.

47. Форина, Ю. Ю. Современное состояние сообществ гидробионтов реки Пясины / Ю. Ю. Форина, М. В. Еремина, В. А. Заделёнов // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2020. – Т. 7. – № 1. – С. 32-43.

48. Характеристика таксономического состава и биомассы зообентоса соленого озера Шира: изменения, произошедшие за 65 лет / А. П. Толмеев, С. П. Шулепина, О. Н. Махутова [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 367-383. – DOI 10.17516/1997-1389-0079. – EDN YPUKPI.

49. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – 2003.

50. Шитиков, В. К. Многомерный статистический анализ экосистем на примере донных сообществ малой равнинной реки (обзор) / В. К. Шитиков, Т. Д. Зинченко // Астраханский вестник экологического образования. – 2018. – № 6. – С. 110-126.

51. Шулепина, С. П. Зообентос оз. Пясино и прилегающих рек после аварийного разлива дизельного топлива в 2020 г / С. П. Шулепина, О. П. Дубовская, Л. А. Глущенко // Сибирский Экологический Журнал. – 2021. – Т. 28. – № 4. – С. 488-498.

52. Яковлев, В. А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика) / В. А. Яковлев. – Апатиты: Издательство Кольского научного центра РАН, 2005. – 145 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19492251> (дата обращения: 12.01.2023). – Текст: электронный.

53. Яныгина, Л. В. Структурные перестройки донных сообществ малых рек бассейна Верхней Оби и Иртыша в зоне деятельности горнодобывающих предприятий / Л. В. Яныгина, А. А. Евсеева // Биология внутренних вод. – 2022. – № 2. – С. 198-204.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Численность (%) доминирующих видов на исследуемых озёрах в районах г. Норильска, июль-август 2022 г.

Таксон	Численность зообентоса N, %																		
	озеро Без названия-1	озеро Без названия-2	озеро Без названия-3	озеро Без названия-4	озеро Амбарное	озеро Без названия-6	озеро Без названия-7	озеро Без названия-8	озеро Без названия-9	озеро Ветренное	озеро Северный	озеро Без названия-12	озеро Лебединое	озеро Боганидское	озеро Глубокое-1	озеро Мелкое	озеро Лама	озеро Глубокое-2	озеро Собачье
<i>Caenus horaria</i> Linne										0.47				1.14					
<i>Ablabesmyia gr. monilis</i>	0.36	1.58				7.74	0.71	2.23		2.93			2.68	10.5 1					
<i>Agabus sp.</i>			4.61																
<i>Anisus sp.</i>	0.72	2.31						1.72	3.57					1.14					
<i>Asynarchus lapponicus</i> Zett.										0.47			1.79						
<i>Camptochironomus tentans</i>		0.53		3.13	93.6 2														
<i>Ceratopogonidae gen.sp. №1</i>				0.36					1.19	2.56									
<i>Ceratopogonidae gen.sp. №2</i>										7.55		18.7 5	4.08	20.4 5					
<i>Chironomus cingulatus</i> Meigen,		0.53			4.59														
<i>Chironomus salinarius</i>		0.53		5.82							2.94								
<i>Chironomus sp.</i>	3.16	3.16	5.65	3.31					1.19	0.47									
<i>Cladopelma lateralis</i>	1.44							6.70					2.04						
<i>Cladotanytarsus gr. mancus</i>	1.77	1.79						9.25		26.9 3			15.5 6	5.40					
<i>Cloeon sp.</i>		1.79																	
<i>Corynocera ambigua</i> Zett.					1.19			6.70											

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

Таксон	Численность зообентоса N, %																		
	озеро Без названия-1	озеро Без названия-2	озеро Без названия-3	озеро Без названия-4	озеро Амбарное	озеро Без названия-6	озеро Без названия-7	озеро Без названия-8	озеро Без названия-9	озеро Ветренное	озеро Северный	озеро Без названия-12	озеро Лебединое	озеро Боганидское	озеро Глубокое-1	озеро Мелкое	озеро Лама	озеро Глубокое-2	озеро Собачье
<i>Corynoneura celeripes</i> Winnertz		2.11			0.60		0.71					2.08					1.32		0.21
<i>Cricotopus gr. bicinctus</i>											1.18								
<i>Cricotopus gr. Silvestris</i>				4.36							2.94	2.08							0.63
<i>Cryptochironomus defectus</i> Kieffer	1.80		8.93					1.72		10.30				1.14					
<i>Cyrnus flavidus</i> McL.													0.89						
<i>Demicryptochironomus vulneratus</i> Zetterstedt													1.91						
<i>Derotanypus sibiricus</i> Kruglova et Tshernovskij				12.76							5.29								
<i>Dicrotendipes nervosus</i> Staeger	2.52	1.05					2.14	0.45			15.29								
<i>Diplocladius cultriger</i>																		15.91	5.88
<i>Endochironomus albipennis</i> Meigen	0.72	4.42								1.89				3.13					
<i>Euglesa sp.</i>	10.53						2.23	33.33	2.08				1.02	4.55	4.26				
<i>Euglesinae</i>	2.11													1.14	1.50				
<i>Eulimnogammarus sp.</i>																	40.00		0.42
<i>Gammarus lacustris</i>		5.88											20.54						
<i>Glossiphonia (G.) complanata</i> L.		1.05																	
<i>Glyptotendipes gripekoveni</i>										4.25									
<i>Glyptotendipes paripes</i> Edwards	1.94		1.79									6.25							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

Таксон	Численность зообентоса N, %																			
	озеро Без названия-1	озеро Без названия-2	озеро Без названия-3	озеро Без названия-4	озеро Амбарное	озеро Без названия-6	озеро Без названия-7	озеро Без названия-8	озеро Без названия-9	озеро Ветреное	озеро Северный Ергалах	озеро Без названия-12	озеро Лебединое	озеро Боганидское	озеро Глубокое-1	озеро Мелкое	озеро Лама	озеро Глубокое-2	озеро Собачье	
<i>Gmelinoides fasciatus Stebbing</i>														2.08						
<i>Goera sp.</i>												6.25								
<i>Herpobdella octoculata Linne</i>	1.58								1.19											
<i>Heterotrissocladius gr. maeaeeri</i>															5.21		1.32		1.67	
<i>Hydracarina sp.</i>	0.89	3.57					0.71							4.36						
<i>Hydrobaenus gr. lugubris</i>								0.45											2.27	
<i>Hydrotus sp.</i>				0.05																
<i>Isoperla sp.</i>		3.57																		
<i>Limnephilus stigma Curtis</i>	0.53																			
<i>Limnodrilus hoffmeisteri Claparede</i>	1.05										6.47			1.04	0.98					
<i>Limnodrilus sp.</i>																		41.28		
<i>Lumbriculidae gen sp.</i>			19.94						4.76	2.36	5.29	18.75			45.34			9.61	3.33	
<i>Lymnaea ovata Draparnaud</i>		8.93												3.13						
<i>Mesocricotopus thienemsnni Goeth.</i>	0.36																26.32		3.33	
<i>Micronecta sp.</i>			8.93	0.36																
<i>Microtendipes gr. Rydalensis</i>											0.59									
<i>Microtendipes pedellus (De Geer)</i>		2.11											1.79							
<i>Molanna albicans Zett.</i>	0.36																			
<i>Molannodes tinctus Zett.</i>									2.38											

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

Таксон	Численность зообентоса N, %																		
	озеро Без названия-1	озеро Без названия-2	озеро Без названия-3	озеро Без названия-4	озеро Амбарное	озеро Без названия-6	озеро Без названия-7	озеро Без названия-8	озеро Без названия-9	озеро Ветренное	озеро Северный Ергалах	озеро Без названия-12	озеро Лебединое	озеро Боганидское	озеро Глубокое-1	озеро Мелкое	озеро Лама	озеро Глубокое-2	озеро Собачье
<i>Monodiamesa bathyphila</i> Kieffer															1.72		1.32		
<i>Monoporeia affinis</i> Lindstrom															27.67				40.00
<i>Mysis oculata</i> var. <i>relicta</i> Loven																			1.67
<i>Mystacides niger</i> L.	11.58	8.93																	
<i>Mystacides sibiricus</i> Mart.	1.05	1.79																	
<i>Nais barbata</i> O.F. Muller							3.57							1.14					
<i>Nais pseudobtusa</i> Piguet																			4.83
<i>Nematoda</i> sp.	0.89									0.47	0.59							0.46	0.21
<i>Orthocladius defensus</i>																		11.36	5.88
<i>Orthocladius saxicola</i> Kieffer														1.04	0.25	14.29	10.00	13.64	15.97
<i>Orthocladius</i> sp.													1.02						
<i>Pagastiella orophila</i> Edwards						11.31			1.19										
<i>Pallasea kessleri</i> Dyb.															1.75				0.84
<i>Parachironomus</i> gr. <i>arcuatus</i>	0.36																		
<i>Paracladopelma</i> gr. <i>camptolabis</i>																	2.63		
<i>Parakiefferiella bathophila</i> Kieffer	2.16	0.53					8.81	1.72		1.89	5.88	4.17	1.79	7.29			6.58	4.55	5.88

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

Таксон	Численность зообентоса N, %																		
	озеро Без названия-1	озеро Без названия-2	озеро Без названия-3	озеро Без названия-4	озеро Амбарное	озеро Без названия-6	озеро Без названия-7	озеро Без названия-8	озеро Без названия-9	озеро Ветренное	озеро Северный Ергалах	озеро Без названия-12	озеро Лебединое	озеро Боганидское	озеро Глубокое-1	озеро Мелкое	озеро Лама	озеро Глубокое-2	озеро Собачье
<i>Parakiefferiella triquetra</i>						8.33	2.38				0.59		1.02	1.14		77.38	5.26		0.42
<i>Paratanytarsus austriacus Kieffer</i>	2.88	1.79					31.43	3.93		0.94									1.89
<i>Paratanytarsus inopertus Walker</i>															0.25				
<i>Paratanytarsus lauterborni Kieffer</i>	10.79	0.53								0.47	0.59			13.54	0.25				4.41
<i>Paratendipes laticollis</i>	1.05							9.48					4.59						
<i>Paratrichocladius inaequalis Kieffer</i>							40.48				11.18				1.50				0.84
<i>Planaria sp.</i>															0.25				
<i>Polypedilum sp.</i>										0.47									
<i>Polypedilum gr. convictum</i>	0.72																		
<i>Polypedilum scalaenum Schrank</i>														1.04					
<i>Pothastia longimana Edwards</i>															0.25				
<i>Procladius choreus Meigen</i>	3.60			18.93		11.90		0.45	3.57	7.29			10.20						
<i>Procladius ferrugineus Kieffer, 1919</i>	1.25			3.13		52.38		10.62	1.19	20.07	0.59	6.25	2.93	1.14	0.25		2.63		
<i>Protanypus sp.</i>											2.94				0.49				
<i>Psectrocladius bisetus Goetghebuer</i>											0.59								
<i>Psectrocladius delatoris Zett.</i>		1.05																	0.42

ОКОНЧАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Окончание таблицы А.1

Таксон	Численность зообентоса N, %																		
	озеро Без названия-1	озеро Без названия-2	озеро Без названия-3	озеро Без названия-4	озеро Амбарное	озеро Без названия-6	озеро Без названия-7	озеро Без названия-8	озеро Без названия-9	озеро Ветренное	озеро Северный Ергалах	озеро Без названия-12	озеро Лебединое	озеро Боганидское	озеро Глубокое-1	озеро Мелкое	озеро Лама	озеро Глубокое-2	озеро Собачье
<i>Psectrocladius fabricus Zelentzov</i>			50.15	31.13						0.47	2.94	2.08							
<i>Psectrocladius sordidellus Zett.</i>				16.67							11.18								
<i>Psectrocladius sp.</i>								0.86											
<i>Psectrocladius versatilis Linevitsh</i>													0.89						
<i>Pupa</i>							4.76								0.25				
<i>Sergentia gr.coracina</i>	1.05							7.85	4.76	4.17									0.42
<i>Sialis sibirica Klingstedt</i>						8.33		0.86											
<i>Siphonurus sp.</i>														1.04					
<i>Sphaerium sp.</i>	3.54							0.45					1.91	4.55	0.25				
<i>Spirosperma ferox Eisen</i>	0.53							8.62	38.10		14.12	14.58	2.68		0.25			0.46	
<i>Stictochironomus histrio</i>	0.53									0.47				2.08		8.33			
<i>Tanytarsus pseudolestagei Shilova</i>	13.48	11.05						2.68											0.42
<i>Tanytarsus lestagei Goetghebuer</i>		8.93											20.66	1.14			1.32		
<i>Tanytarsus verralli Goetghebuer</i>	8.69	13.16					4.29	12.25	3.57	1.04		18.75		4.55	7.40		1.32		
<i>Tubifex tubifex O.F. Muller</i>	3.16	7.37						5.26			8.82			1.14				0.46	0.42
<i>Valvata sp.</i>	0.89							3.51											

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии

Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской
программы

_____ М.И.Гладышев
подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2024 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Донные беспозвоночные в оценке качества воды водных объектов в зоне
влияния горно-химического комбината

06.04.01 Биология

06.04.01.04 Гидробиология и ихтиология

Руководитель

С.П. Шулепина

подпись, дата

доцент, канд. биол. наук

должность, ученая степень

С.П. Шулепина

инициалы, фамилия

Рецензент

А.В. Андрианова 26.06.2024

подпись, дата

доцент, канд. биол. наук

должность, ученая степень

А.В. Андрианова

инициалы, фамилия

Выпускник

М.С. Копцева 26.06.2024

подпись, дата

М.С. Копцева

инициалы, фамилия

Красноярск 2024