

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
институт
Кафедра водных и наземных экосистем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



М.И. Гладышев

подпись инициалы, фамилия

« 01 » 06 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

06.03.01 Биология

код и наименование специальности

Структура зообентоса Абаканской протоки р. Енисей
тема работы

Научный

руководитель:



подпись, дата

доцент, к.б.н.

Шулепина С.П

должность, ученая степень

Выпускник:



подпись, дата

Патутина Ю.А

Красноярск 2020 г.

Выпускная квалифицированная работа по теме «Структура зообентоса Абаканской протоки р. Енисей» содержит 70 страниц текстового документа, 3 приложения, 45 использованных источника и 7 листов графического материала.

ЗООБЕНТОС, ДОННЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ, ЧИСЛЕННОСТЬ, БИОМАССА, АБАКАНСКАЯ ПРОТОКА, ЕНИСЕЙ, АКВАКУЛЬТУРА, КАЧЕСТВО ВОДЫ.

Объект - зообентос.

Цель: Изучить структуру зообентоса Абаканской протоки р. Енисей.

Задачи:

- 1) Определить видовой состав донного сообщества.
- 2) Изучить пространственную и временную динамику плотности донного сообщества.
- 3) Оценить качество воды.

В результате исследования проведен отбор и обработка проб зообентоса, проанализирован видовой состав, изучена плотность зообентоса и проведена оценка качества воды Абаканской протоки.

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Обзор литературы	5
1.1 Влияние антропогенного воздействия на донных беспозвоночных.....	5
1.2 Влияние рыбного хозяйства на развитие зообентоса.....	13
1.3 Индексы используемые для оценки качества воды	20
Глава 2. Материалы и методы исследования	25
2.1 Характеристика района исследования.....	25
2.2. Материалы и методы.....	26
Глава 3. Анализ результатов	30
3.1. Видовой состав зообентоса Абаканской протоки р. Енисей	30
3.2. Пространственно-временная структура зообентоса.....	36
3.3 Качество воды Абаканской протоки.....	44
Глава 4. Обсуждение результатов.....	47
Выводы:	49
Приложение А.....	50
Приложение Б	63
Приложение В.....	65
Список используемых источников	67

Введение

Техногенная деятельность человека изменяет в реках ряд абиотических факторов, которые являются элементами, характеризующими биотоп. Особенности структуры такого искусственного биотопа могут приводить к несбалансированности отдельных уровней биоты комплекса живых элементов экосистемы и изменять направленность протекающих в ней процессов.

Интенсивная аквакультура и марикультура может неблагоприятно повлиять на окружающую среду через ландшафт. Утрата, изменение биоразнообразия и увеличение рисков для безопасности пищевых продуктов, например, корм для отходов и производство фекалий, могут существенно увеличивать поступление питательных веществ, которые в свою очередь вызывают эвтрофикацию (насыщение водоёмов биогенными элементами, которые сопровождаются ростом биологической продуктивности водных бассейнов), изменяя структуру бентического и пелагического сообщества и потенциально снижает жизнеспособность и производительность морских экосистем.

Хорошее качество пресной воды в значительной степени способствует развитию аквакультуры, но неблагоприятные условия окружающей среды негативно сказываются на выживании культивируемых организмов. Масштабы этих экологических последствий, вызванных марикультурой, отражены в нескольких характеристиках, включая температуру морской воды, солёность, рН, растворённый кислород (DO), приливное воздействие, гидродинамические характеристики, глубина и доступность органических веществ. В частности, изменения доступность органических веществ может привести к различным последствиям, таким как повышение концентрации хлорофилла а (Chl-a), возможное возникновение аноксии и гипоксии, подкисление океана и токсичных водорослей

Благодаря особенностям экологии донные беспозвоночные и их сообщества могут служить хорошими показателями происходящих изменений внешней среды, в том числе и антропогенного характера. Большинство представителей донных беспозвоночных имеют относительно продолжительный жизненный цикл - несколько месяцев и лет, поэтому их сообщества накапливают влияние изменяющихся в течение достаточно длительного времени условий существования. Основные структурные характеристики сообществ донных макробеспозвоночных служат хорошим, а в ряде случаев единственным гидробиологическим показателем загрязнения грунта и природного слоя воды.

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Влияние антропогенного воздействия на донных беспозвоночных.

На водную растительность и животных действуют такие показатели как глубина водоема, кислотность воды, наличие и скорость течения мутность, температура, количество растворенной органики, соединений азота и фосфора.

На все эти параметры влияет как антропогенная нагрузка: сброс загрязняющих веществ в водоемы, тепловое воздействие на природные, так и естественные процессы, происходящие в водоемах. Значит, для водоемов разных типов в норме будет характерен разный видовой состав и обилие гидробионтов. Более того, в водоемах с наиболее чистой водой количество видов животных и растений, и их обилие обычно ниже, чем в тех водоемах, где органические вещества, соединения азота и фосфора присутствуют в умеренных концентрациях. Для многих водных организмов умеренный уровень загрязнения является оптимальным состоянием среды обитания. Существуют также «виды-универсалы», обладающие высокой экологической пластичностью и способные переносить значительные колебания степени загрязненности водоема. Понятно, что такие виды не представляют интереса для биоиндикации.

Основная причина загрязнения водоисточников - сброс в водоемы загрязненных сточных вод с промышленных предприятий, а также предприятий коммунального и сельского хозяйства. Загрязнению водных источников также способствует нерациональное ведение сельского хозяйства: остатки удобрений и ядохимикатов, вымываемые из почвы, попадают в водоемы и загрязняют их [5]. Например, в республике Адыгея проводились исследования, где большое увеличение массы сброшенных загрязняющих веществ в открытые водоемы (азота аммонийного, нитрита, сульфитов, фосфатов, нефтепродуктов) привело к изменению гидробионтов, отслеживалась тенденция к уменьшению численности отдельных видов животных [39].

Зообентос, в ходе получения органической пищи, в благоприятных температурных и кислородных условиях перерабатывает ее в животное органическое вещество своего тела и далее потребляется рыбой. Если потребление кислорода преобладает над его производством, в придонных слоях воды создаются условия, при которых в них могут обитать наименее прихотливые беспозвоночные. Такие места являются недоступными для рыбы большую часть года. В этом случае, несмотря на высокую биомассу бентоса, биологическая продукция рыбы выражается минимальной величиной [38].

В ходе гидробиологических исследований на р. Нольке, проведенных в августе 2012 г. в районе сброса сточных вод Йошкар-Олинской ТЭЦ-2, по состоянию развития макрозообентоса отмечались значительно загрязненные участки реки в результате попадания в нее загрязненных сточных вод. Помимо сбросного канала наиболее сильно загрязненные участки находятся на достаточно отдаленном расстоянии от впадения стока (200 м и ниже), где вероятно активнее идет процесс оседания органической массы.

На запруженном участке из-за отсутствия течения сформировалась бескислородная среда, зообентос отсутствовал, были отмечены организмы с воздушным способом дыхания: моллюски сем. Planorbidae и клопы *Ilicoris cimicoides* [26].

Довольно часто природные гидроэкосистемы подвержены тепловому воздействию. Вид такого антропогенного воздействия проявляется в водоемах охладителях, в которые поступают термальные воды с электростанций. Условия обитания гидробионтов в водоемах-охладителях весьма разнообразны, что определяется взаимодействием многих факторов. Вместе с тепловым воздействием, сброс вод с электростанций формирует и особый гидрологический режим. Сама термофикация также влияет на условия водной среды, изменяя действие многих абиотических факторов. Соответственно изменившимся условиям обитания значительно трансформируется и биота охладителей [5].

В условиях сравнительно слабого и умеренного подогрева воды существование зообентоса оценивается неоднозначно, а влияние сильного подогрева оценивается как негативное.

Впрочем, в озере Имандра подогрев водоема (10 градусов) стимулирует видовое богатство и разнообразие, так как значение абсолютной температуры не превышает 25 градусов, однако при более сильном подогреве и в этом водоеме также наблюдалось уменьшение видового разнообразия и богатства.

В трансформированных биоценозах водоемов охладителей причём даже в зонах максимального подогрева как правило доминируют аборигенные эвритермные или термофильные гидробионты. Многие из них характеризуются значительно выраженными функциями отклика на тепловой режим и могут быть использованы в качестве тест-объектов.

В зонах умеренного и максимального подогрева обычно развиваются термофильные брюхоногие моллюски отряда (Pulmonata).

Весьма устойчивы к подогреву некоторые малощетинковые черви: *Limnodrilus hoffmeisteri*, длительно выносящая температуру до 37 градусов и обитающая в бентосе водоемов-охладителей повсеместно включая и сбросные каналы электростанций.

В большинстве случаев относительное абсолютное обилие хирономид при подогреве обычно уменьшается, а иногда может и возрасть.

В целом личинки большинства насекомых и в том числе двукрылых весьма чувствительны к тепловому воздействию. Высокой чувствительностью к термофикации характеризуется и пиявки [5].

Анализ видового состава, особенностей пространственного распределения, динамики количественных показателей донных беспозвоночных в водоемах-охладителях позволил выявить, что в различных климатических зонах их фауна формируется преимущественно за счет аборигенных видов. При влиянии подогрева существенно пересматривается и структура бентосных сообществ.

Анализ температурного режима позволил высказать предположение о возможности заселения их термофильными или тропическими видами. Но, находки таких видов сравнительно редкие, связано это не только с пространственной удаленностью от естественных местообитаний данных видов, но и различия в качестве биотопов, а также с длительностью существования водоемов. В условиях Сибири существование таких видов возможно только в сбросном канале ГРЭС, характеризующимся максимальными температурами. Кроме того, в сбросном канале создаются неблагоприятные термические условия для аборигенных видов, что обеспечивает ослабление конкуренции для вселенцев. Этим, возможно, и объясняется массовое развитие в сбросном канале Беловской ГРЭС крупного моллюска.

В водохранилище в зоне подогрева отмечено увеличение количественных показателей бентосных организмов по сравнению с фоновой зоной, это может являться следствием стимулирующего влияния умеренного подогрева на гидробионтов, так и отсутствием ледового покрова, что способствует улучшению кислородного режима водоема зимой.

На основе анализа многолетних данных по структуре, составу и функциональным характеристикам экосистемы Беловского водохранилища установлено, что постоянное и длительное действие мощного экодинамического фактора - поступления дополнительного тепла с подогретыми, сбросными водами тепловой электростанции обусловило изменение не только короткопериодных характеристик – интенсивности первичного продуцирования, количества растительных и животных организмов, но и их таксономического состава.

Многие авторы констатируют изменения динамических характеристик популяции и сообщества гидробионтов при тепловом воздействии, и также отмечается увеличение репродуктивного периода донных животных и наиболее раннее размножение моллюсков, олигохет, хирономид и других донных беспозвоночных, происходит увеличение числа генерации вторично водных беспозвоночных более раннее начало и после окончания периодов вылета их имаго [5].

Поступление в водоем-охладитель подогретых вод, приводит к изменению гидрохимического режима водохранилища. Увеличение температуры воды в первую очередь влияет на содержание в ней O_2 , причем в зависимости от мощности ГРЭС, морфологических особенностей водохранилища, времени года кислородный режим может как улучшаться, так и ухудшаться. Факторами, улучшающими кислородный режим в результате подогрева являются: активизация перемешивания воды, наличие неполного ледового покрова, увеличение интенсивности фотосинтеза; ухудшающие – снижение растворимости O_2 , увеличение концентрации растворенной углекислоты, интенсификация распада органических соединений и дыхания гидробионтов, сопровождающихся потреблением O_2 .

Кислородный режим большинства водоемов-охладителей Сибири благоприятен как на подогреваемых, так и на не подогреваемых участках. Снижение содержания растворенного O_2 до критических значений для беспозвоночных (до 1.2 мг/л) отмечено в водоеме-охладителе Березовской ГРЭС, что связано с потреблением O_2 на разложение затопленного торфа. Сравнительно невысокие значения биомассы зообентоса в этом водохранилище, возможно, связаны с неблагоприятным кислородным режимом. В результате подогрева обычно происходит увеличение содержания биогенных веществ (БВ), что способствует повышению трофности водоема и изменению условий обитания донных беспозвоночных. В исследованных водоемах-охладителях не отмечено существенной разницы, в содержании органических веществ (ОВ) и (БВ) между подогреваемой и непогрееваемой зонами.

При повышении температуры в водоемах-охладителях увеличивается испарение с поверхности и как следствие – происходит рост общей минерализации воды.

На примере оз. Кенон показано, что повышение температуры в зоне влияния сбросных вод приводит к увеличению численности бактерий, которые образуют сероводород, что способствует выделению сероводорода в придонные слои воды и является неблагоприятным фактором для развития макробеспозвоночных. В некоторых водоемах-охладителях отмечен незначительный рост рН в отепленной зоне, однако колебания значений рН, так же, как и изменения общей минерализации, не выходили за пределы оптимальных для пресноводных беспозвоночных значений [20].

Акватория озера Имандра под влиянием подогретых вод разделена на три зоны – сильного, умеренного и слабого воздействия. Зона сильного теплового загрязнения охватывает приустьевый участок сбросного канала Кольской АЭС, среднего теплового загрязнения – среднюю часть губы Молочной, граница зоны слабого теплового воздействия подвижна в зависимости от гидрометеорологических условий и режима работы КАЭС, ее площадь варьирует от 15 до 25 км². В летний период 2011 г. температура придонных слоев воды в губе Молочной была на 3-6 градусов выше, по сравнению с естественными условиями. Минерализация составляла в среднем 41 мг/л, в катионном составе преобладал натрий. Содержание Р общ. в сбросном канале и губе Молочной в среднем составляла 5-8 мкг Р/л, максимальные значения (до 15 мкг Р/л) наблюдались в весенний период. Средние значения содержания нитратов по всей водной толще в летний период составляли 25 мкг N/л. Вода сбросного канала Кольской АЭС характеризовалась высоким содержанием кислорода (насыщение >100%), на выходе из губы концентрация кислорода в придонных слоях снижалась до 76.9-78.6% насыщения.

В водосбросном канале Кольской АЭС основную массу гидробионтов составляли литофильные и литореофильные группы – личинки ручейников сем. *Limnephilidae*, мошки, олигохеты, брюхоногие моллюски *Valvata cristata* и *Lymnaea sp.*, хирономиды. Появления или массового развития термофильных форм в канале не обнаружено. По сравнению с данными 1973-1988 гг.

(Моисеенко, Яковлев, 1990), в структуре руководящего комплекса водосбросного канала отмечен ряд изменений. В 1973-1988 гг. основу бентоса формировали олигохеты *L. hoffmeisteri*, количественные показатели которых варьировали в пределах 1575-2000 экз/м² и 1.8-1.08 г/м², а удельный вес достигал 80% численности и 60% биомассы всего зообентоса. В настоящее время общая численность и биомасса донных организмов осталась на прежнем уровне, составляя в среднем 1915 экз/м² и 1.8 г/м², однако относительная плотность олигохет снизилась до 25% (480 экз/ м² и 0.4 г/ м²), доминирующей группой в бентосе сбросного канала составляли хирономиды родов *Monodiamesa*, *Stictopus* и *Procladius* (*Monodiamesa bathyphila*, *Polypedilum gr. scalaenum*, *Potthastia sp.*), доля которых в сообществах составляет в среднем 58% (1100 экз/м² и 1.0 г/м²), субдоминантом являются брюхоногие моллюски рода *Valvata*.

На литорали в зоне влияния подогретых вод в сообществах доминируют предпочитающие олигосапробные и мезосапробные условия поденки *Heptagenia fuscogrisea* и эврибионтные *Baetis rhodani*, встречаются брюхоногие моллюски *Valvata cristata* и *Lymnaea sp*, личинки ручейников, хирономиды, Основу зообентоса глубоководной зоны губы Молочная формируют 5 систематических групп: олигохеты сем. Tubificidae, Lumbriculidae, хирономиды, амфиподы, представленные реликтовым бокоплавом *Monoporeia affins*, двустворчатые моллюски сем. Pisidiidae, среди которых наиболее многочисленны *Euglesa spp*, реже встречались *Pisidium spp.* и единично *Sphaerium sp*, единично отмечены водяные клещи (*Hidracarina*). Появления или массового развития термофильных групп бентосных беспозвоночных не наблюдается, большинство организмов являются эвритермными (холодноводными). В районе водосбросного канала КАЭС в 2011 году обнаружена популяция крупных двустворчатых моллюсков *Anodonta sp.* (*Unionidae*) (рис. 1). Ареал моллюска охватывает Среднюю и Северную Европу, европейскую часть России и Западную Сибирь.



Рисунок 1 — Раковины *Anodonta sp.* (Молочная губа)

Состав и структура донных сообществ отличаются в зависимости от удаления от устья водосбросного канала Кольской АЭС. В зоне сильного теплового воздействия сформирован пелофильный биоценоз, его основу

составляют олигохеты и моллюски *Euglesa sp.* Массовому развитию этих групп способствует приток органических веществ и биогенных элементов, поступающих в водоем, в ходе эксплуатации форелевого хозяйства и температурный режим акватории. В составе сообществ хирономид этой зоны преобладают личинки подсемейства Tanypodinae, в предыдущие годы в бентосе доминировали личинки ортокладиин, наблюдаемое в настоящее время увеличение доли таниподин (прежде всего эврибионтных личинок *Procladius*) может свидетельствовать об усилении процессов эвтрофикации в этой части акватории. Плотность зообентоса низкая, в среднем составляла 200 экз/м² и 1 г/м², при варьировании по станциям от 150 до 340 экз/м² и 0.3 до 2.5 г/м² соответственно. В зоне среднего теплового воздействия в сообществах гидробионтов доля олигохет снижается в среднем до 20%, увеличивается удельная плотность (до 60% на отдельных станциях) стенотермно-холодолобивых бокоплавов *M. affinis* и оксифильных холодолобивых личинок подсем-ва Orthoclaadiinae. Численность макрозообентоса в среднем составляла 760 экз/м², биомасса 1.4 г/м². В зоне слабого теплового воздействия структура и состав зообентоса аналогичны таковым на акватории озера Имандра с естественным температурным режимом. Основу донной фауны, как этой зоны, так и фоновых необогреваемых участков водоема формируют бокоплавыв *M. affinis*, доля которых на отдельных станциях достигает 95% от общей численности и биомассы бентоса, в среднем составляя 30%, и холодолобивые личинки подсемейства Orthoclaadiinae (преимущественно *Orthocladius spp.* и *Zalutschia zalutschicola*). Численность и биомасса зообентоса в зоне слабого теплового загрязнения составляли в среднем 520 экз/м² и 2.4 г/м², в акватории плеса Бабинская Имандра – 380 экз/ м² и 1.7 г/м².

На станциях, где в поверхностных слоях донных отложений присутствовали плотные железомарганцевые конкреции, отмечены минимальные значения численности и биомассы бентоса, наличие таких образований в донных отложениях оз. Имандра в качестве фактора, ограничивающего развитие зообентоса, детально описано в ряде работ. Для илов и глины зарегистрированы более высокие показатели – 350-500 экз/м² и 1.5-3 г/м² соответственно, в прослойках глины многочисленны крупные красные личинки хирономид р. *Chironomus gr. plumosus*. Средние значения численности и биомассы бентоса в губе Молочной выше, чем в целом по плесу Бабинская Имандра, и сопоставимы со значениями, характерными для плеса Йокостровская Имандра, воды которого характеризуются более высоким трофическим статусом из-за поступления загрязненных вод различных промышленных предприятий региона.

В настоящее время в глубоководной зоне губы Молочная сформированы постоянные пелофильные комплексы, в водосбросном канале и прилегающем к нему участке – литореофильные комплексы. Влияние подогретых вод Кольской АЭС на бентосные сообщества оз. Имандра ограничено акваторией в пределах губы Молочной. Структура донных беспозвоночных наиболее изменена в водосбросном канале и приустьевом участке водоема. Состав и количественные

показатели зообентоса здесь значительно отличаются от естественных участков озера, что выражается в снижении таксономического разнообразия донной фауны и массовом развитии олигохет. За пределами этой зоны изменений в составе и структуре зообентоса не наблюдается, доминируют в глубоководных биоценозах стенотермные холодноводные амфиподы *M. Affinis* [13].

В изучение макрозообентоса водоёма-охладителя Балаковской АЭС (БАЭС) было выявлено, что на больших глубинах бентос сильно обеднен [29].

В литературных источниках указано, что в водохранилищах и озерах с глубинами 100-300 м и менее, личинки хирономид, наряду с олигохетами, составляют основную биомассу и численность макрозообентоса. Доминируя среди гидробионтов, они определяют сезонные изменения его обилия. В оз. Выртсъярв, например, в течение одного года максимальные значения биомассы зообентоса только в прибрежно-соровой зоне. Личинки хирономид в Байкале встречаются от уреза воды до глубин 328-1580 м, но распределены крайне неравномерно. Наибольшее их количество отмечено на каменистых грунтах, на глубине от 0 до 2,5 м (реже до 5 м) [31].

Целью исследований в водоеме-охладителе Белоярской АЭС, было определить особенности развития зообентоса в условиях влияния атомной станции. По результатам выявлены общие тенденции изменения структуры сообществ зообентоса Белоярского водохранилища, в районе влияния БАЭС. Наиболее существенные изменения в сообществе обитателей дна отмечены в зоне, непосредственно примыкающей к сбросному каналу БН-600, где зарегистрированы худшее качество вод, уменьшение общей численности, биомассы и числа видов гидробионтов, наименьшие индексы видового разнообразия. Индексы сапробности соответствуют загрязненной зоне. По совокупности индексов качества воды, рассчитанных по показателям гидробионтов, Белоярское водохранилище характеризуется как водоем эвтрофного типа, по степени сапробности - как β-мезосапробный с переходом в α-мезосапробную зону. В районе сброса подогретых вод отмечено худшее качество вод и невысокие индексы видового разнообразия [22]

На Кучурганском водохранилище, площадь которого составляет 2730 га, выполняющее функцию водоема-охладителя Молдавской ГРЭС (мощностью 2,4 ГВт), проводятся исследования зообентоса на протяжении всего периода функционирования ГРЭС. Этот факт позволяет рассмотреть Кучурганское водохранилище как модельный водоем для исследования сукцессионных процессов в донной фауне при различных условиях антропогенного воздействия. Функционирование водохранилища характеризуется периодами естественного термического режима, слабой тепловой нагрузки, умеренной, максимальной, сниженной термофикации и незначительным ростом термофикации в настоящее время. До ввода в эксплуатацию МГРЭС фауна донных беспозвоночных водоема была достаточно богатой и разнообразной и была представлена 167 видами. В период слабой тепловой нагрузки в водоеме-охладителе было отмечено 190 таксонов, из которых 16 % составили понтокаспийские виды, но в 80-х гг. XX в. видовое разнообразие гидробионтов

водохранилища сократилось почти на 70 видов. В то же время на данном этапе развития гидробиологического режима было зарегистрировано 25 ранее не отмеченных видов, в основном из моллюсков и хирономид. В итоге к этому времени фауна зообентоса насчитывала около 168 таксонов. После периода сниженного уровня термофикации водоемоохладителя МГРЭС, главным образом благодаря популяциям олигохет, наблюдается рост численности и биомассы «мягкого» бентоса Кучурганского водохранилища[23].

Помимо температурного фактора состав и количественные показатели донных сообществ в значительной степени зависят от характера грунтов.

Грунты определяют фактор формирования донных сообществ и являются непосредственным местообитанием бентоса.

Например, оптимальным биотопом, для формирования сообществ с доминированием двустворчатых моллюсков, являются заиленные, богатые органикой грунты; для брюхоногих — рыхлые мелкогравийные заиленные субстраты; для полихет — мелкопсаммитовые грунты с высоким содержанием органического вещества [34]. Физические свойства грунтов определяются их механическим, или гранулометрическим, составом, под которым понимают размер зерен, образующих данные осадки. Мелкозернистые грунты называют мягкими. К ним относятся глины (менее 0,01мм), илы (менее 0,01–0,1мм) и песок (менее 0,1–1мм). Жесткие грунты представлены гравием (0,1–1 см), галькой (1–10 см), валунами (10–100 см) и глыбами (более 1м).

Характеристика состояния донных беспозвоночных р. Латка показывает следующее: видовое богатство на искусственных грунтах выше, чем в естественных субстратах 34:24. Основную численность составляли олигохеты 74 и 51% соответственно. По биомассе на серых илах доминировали моллюски (около 60%), а в контейнерах с листовым опадом ракообразные (около 50%). В зоне сброса стоков сыроваренного завода донные беспозвоночные представлены двумя группами: олигохетами и хирономидами. По мере удаления от места поступления стоков и самоочищения вод видовая структура становилась более разнообразной [1].

Таким образом, техногенная деятельность человека изменяет в водоемоохладителях ряд абиотических факторов, входящих в качестве элементов в характеристику биотопа. Особенности структуры такого искусственного биотопа могут приводить к разбалансированности отдельных уровней биоты комплекса живых компонентов экосистемы, а также изменять направленность протекающих в ней процессов [13].

1.2 Влияние рыбного хозяйства на развитие зообентоса.

По данным РАО [30] аквакультура в мире развивается быстрыми темпами. Рост аквакультуры опережает развитие любого другого направления по обеспечению человечества продовольственным сырьем [33]. Основную массу кормовой базы аквакультуры составляют водные беспозвоночные, и в первую очередь — хирономиды, веснянки, поденки и ручейники [36].

Возможность выращивания в садках создается благодаря способности рыб развиваться и расти в специфических условиях замкнутого пространства [37].

Как и в наземном сельском хозяйстве, движение аквакультуры, к разработке и использованию интенсивных систем садкового выращивания, стало результатом нескольких факторов, а именно, увеличение конкуренции за возможные ресурсы (включая воду, землю, рабочие кадры, энергию), экономия, обусловленная ростом масштабов производства и стремление к увеличению продуктивности на единицу площади, а также стремление и необходимость доступа и распространения сектора на новые нетронутые открытые воды, такие как реки, озера, прибрежные солоноватые воды, водохранилища и морские акватории [35].

Садковые рыбные хозяйства могут стать одним из факторов формирования гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов-охладителей. Необходимость изучать донных беспозвоночных, обусловлена тем, что под влиянием отходов рыбоводства под рыбоводными садками формируется специфический биотоп группы гидробионтов, что отражается на его развитии. Гидробионты, стабильно локализирующиеся в определенных биотопах в течение длительного времени, являются удобными объектами биологического мониторинга [6] из-за малоподвижности большинства доминирующих видов [32].

Как показывает практика, интродукция рыб и кормовых беспозвоночных является важным мероприятием по повышению промысловой продуктивности водоемов и качественного улучшения их сырьевой базы [30].

Литературные данные подтверждают, что объем и режим речного стока выполняет самые разнообразные экологические функции: поддерживают в реках определенные гидравлические и геоморфологические параметры (не заиливающая скорость течения, физические и химические характеристики воды и др.), величины площади, сроков и продолжительности обводнения поймы. Речной сток участвует в формировании термического режима рек, мутности вод, почвенного и растительного покрова, что играет большую роль в функционировании водных и околоводных экосистем и, прежде всего, в размножении рыб и других гидробионтов. Величина стока обуславливает интенсивность и характер захода производителей рыб в реки. Наконец, речной сток в совокупности с другими элементами водного баланса определяет уровень воды (прежде всего, во внутриматериковых бессточных водоемах), соленость и ее распределение по акватории моря, динамику биогенных элементов в толще

воды и, в конечном счете, формирует условия биопродуктивности водных экосистем [27].

В первые годы существования водоема-охладителя Змиевской ТЭС, количественные показатели развития зообентоса не отличались высокими значениями. Его среднесезонная биомасса составляла 3,65–5,46 г/м². Таким образом, исследования кормовой базы рыб-бентофагов в водоеме-охладителе Змиевской ТЭС свидетельствуют о сильном влиянии на нее садкового рыбного хозяйства. Учитывая биомассу гидробионтов, кислородный режим в придонных слоях в районе садков и характер крепления садковых линий (одним якорем), можно сказать, что около 2 км² дна полностью исключаются из нагульных участков рыб-бентофагов. Вместе с тем, учитывая технический статус водоема, последствия ухудшения состояния зообентоса необходимо оценивать, прежде всего, с точки зрения формирования рыбопродукции.

Общая биомасса “мягкого” бентоса в районе влияния садкового хозяйства может быть оценена в 13,6 т, что соответствует потенциальной рыбопродуктивности на уровне 5,2 т при потреблении рыбами 50% продукции бентоса. При вылове, составляющем 30% запаса, недоулов товарной рыбы за счет исключения этого района из нагульных участков может быть оценен в 1,6 т ежегодно (1,0–1,4% объемов выращенной в садках рыбы).

Оценка воздействия садковых рыбных хозяйств на донных беспозвоночных водоемов-охладителей показала следующее: поступление органических веществ в донные отложения с отходами рыбоводства до определенного уровня способствует росту удельных биомасс зообентоса. Но при постоянном поступлении в донные отложения органических веществ с отходами садкового рыбоводства, что наблюдается под рыбоводными садками, в них начинают интенсивно протекать деструкционные процессы, которые поглощают много кислорода. Это обуславливает возникновение в придонных слоях воды под рыбоводными садками анаэробных условий и появление сероводорода. Поэтому бентосные сообщества в районах размещения рыбоводных садков находятся в угнетенном состоянии, а иногда и полностью элиминируются [6].

Основными факторами в современный период, влияющими на развитие зообентоса, являются уровень режим и пресс рыб. В период снижения уровня в озере происходят процессы, неблагоприятно воздействующие на бентофауну: сокращается видовой состав и количественное развитие организмов.

Развитие зообентоса во многом зависит от сезона года, типа грунта и пресса рыб. Наибольшая биомасса наблюдается весной и осенью, когда ведущая группа (личинки хирономид) находится в 4-й стадии развития, достигая максимальных размеров. Летом бентофауна сильно обедняется в результате вылета гетеротопных организмов [12]. В сезонном развитии пелофильной фауны Каттакурганского водохранилища замечено, что наибольшая численность бентофауны бывает весной и осенью, а биомасса - весной и зимой. Остаточная биомасса гидробионтов Каттакурганского водохранилища в различные сезоны и годы колеблется от 1,9 до 78,7 кг/га.

Водохранилища с такими показателями биомассы, по классификации Ц. И. Иоффе (1961), относятся к среднепродуктивным [40]. Для увеличения донной фауны следует вселять в озеро первичноводные организмы, в частности реакклиматизировать гаммаруса. Основным биотопом озера, занимающим 61,2% ложа, являются серые илы профундали. В 2003 г. здесь обнаружено 8 видов личинок хирономид. Доминирующими являлись *Chironomus plumosus* Linne и *Tanypus punktipennis* Meigen, первый из которых создает основу биомассы, второй - основу численности. Биотоп серого ила наиболее продуктивен. Он создает 80,0 - 91,9% общей биомассы бентоса [12].

Исследования бентосных сообществ зал. Петра Великого, а также влияния на них хозяйственной деятельности человека (промысел, загрязнение) имеют длительную историю. В результате проведенных работ установлено, что пик техногенного воздействия на природные комплексы прибрежной зоны зал. Петра Великого пришелся на 1960–1980-е гг. (Петренко, 2003). Примерно в это же время — с середины 1970-х до 103 начала 1980-х гг. — произошла перестройка бентосных сообществ в ряде районов залива. На это же время пришлась и «антропогенная» перестройка растительного комплекса: сокращение видового богатства, снижение роли бурых и красных водорослей на фоне увеличения роли зеленых. Причиной отмеченных изменений считаются заиление донных отложений, а также влияние хронического загрязнения и эвтрофирования вод.

С начала 1990-х гг., по мере развития прибрежного рыболовства, ориентированного преимущественно на азиатские рынки, в заливе сформировался промысел ряда трубачей, шельфовых видов крабов, двустворчатых моллюсков (анадара, спизула, мерценария, корбикула и др.), кукумари, шримсов креветок, морских ежей. Благодаря высокой продуктивности своих вод прибрежное мелководье залива рассматривается как перспективный район для развития аквакультуры. Интенсифицировалось в последние годы и экономическое развитие Приморья (строительство и реконструкция портов, промышленных предприятий, мостов, дорог, очистных сооружений, прокладка газовых и нефтяных трубопроводов и т.д.). При этом возможно как отрицательное, так и положительное антропогенное влияние на состав, структуру и продукционные характеристики бентосных сообществ зал. Петра Великого.

Таким образом, активная хозяйственная деятельность на акватории залива делает весьма актуальным мониторинг качественных и количественных характеристик макрозообентоса.

Общая биомасса гидробионтов акватории зал. Петра Великого, изменялась в пределах от 18,5 до 2870,5 г/м². Средняя общая биомасса, для всего района составила 241,8±21,1 г/м². Наибольшие площади дна были заняты, поселениями животных с биомассой 100–500 г/м². Общая биомасса зообентоса в 2003 г. также имела широкие пределы колебаний — от 15,5 до 3154,4 г/м², а средняя общая биомасса была немного больше — 265,4±25,1 г/м².

В биомассе донных беспозвоночных зал. Петра Великого в 2011 г. доминировали полихеты (23,0 %), форониды (7,1 %), двустворчатые моллюски (34,0 %), и усоногие раки (7,1 %). Существенной (1,1–3,5 %) также была доля представителей еще 11 групп: это актинии, немертины, эхиуриды, амфиподы, брюхоногие моллюски, морские звезды, офиуры, морские ежи, голотурии, асцидии, а также макрофиты. Суммарная доля этих 15 таксономических групп составила 96,6 %. Следует подчеркнуть, что в 2003 г. состав доминирующих групп и их соотношение были несколько другими. Так, на долю двустворчатых моллюсков приходилось 37,5 % общей биомассы бентоса залива, по лихет, усоногих раков — 8,0, — 15,8, голотурий — 12,0, эхиурид — 7,3 % [14].

На территории Пензенской области в р. Сура насчитано более 240 групп донных беспозвоночных. В русле р. Сура при отборе проб в рыбохозяйственных целях зафиксированы 71 вид, основную биомассу дают хирономиды и моллюски. Биомасса «мягкого» бентоса составляла от 0,08 до 16,75 г/м². Максимальные показатели численности и продуктивности зообентоса характерны для зарегулированного участка р. Сура. В естественном русле реки продуктивность часто менее 0,5 г/м² [28].

В заливе Джервис (СО), Британская Колумбия, были проведены бентосные видеосъемки в двух аквакультурах морских рыб и связанных с ними контрольных участках. В основаниях с твердым дном преобладали каменная стена, скелетная губчатая матрица, градиентная порода, каменная фанера и булыжник. Выходы отходов аквакультуры (смоделированные потоки углерода при осаждении и наблюдения за отходами / фекальными гранулами) были сопоставлены с показателями обогащения донных органических веществ (ОРС и сульфидоокисляющие бактерии). Сульфидоокисляющие бактерии варьировались в изобилии вплоть до моделируемого осадочного потока углерода. Стекланные губки показали обратную связь с отходами аквакультуры и сульфидоокисляющими бактериями. Плюмозовые анемоны и креветки показали низкую частоту встречаемости на контрольных участках; однако их было много в ближней зоне аквакультуры, связанной с более высоким смоделированным потоком углерода. Будущие исследования должны быть сосредоточены на реакции различных таксонов на градиенты осадконакопления и их потенциальную роль в качестве вторичных индикаторов аквакультурной деятельности, связанной с сообществами скалистых утесов [15].

Существуют планы увеличения производства аквакультуры в прибрежных водах Дании с ожидаемым ежегодным выбросом в окружающую среду 100 т азота и 12,8 т фосфора на ферму. Ученые применили трехмерное моделирование, чтобы оценить пространственное и временное воздействие двух гипотетических морских рыбных ферм на качество воды, потоки наносов и перенос питательных веществ в районе пояса Самсё. Результаты модели показали, что на качество воды (в основном растворенного неорганического N и первичной продукции) повлияла аквакультура в открытых водах в течение периода производства, не оставляя следов через 1 месяц после периода производства. Изменения уровня кислорода и глубины не считались важными

для системы. Содержание органических веществ в отложениях и потоки органических веществ увеличились по сравнению с местными условиями ниже садков с рыбой. Грунт не восстанавливался от воздействия между производственными периодами, особенно на участке с самой низкой ресуспензией. Произошла валовая транспортировка органических веществ, в прибрежные акватории, что соответствует 21% N и 16% P от входов фермы, но это привело только к незначительным изменениям качества воды. Тем не менее, дополнительные органические вещества из рыбоводческих хозяйств противодействуют введенному сокращению органических веществ из других источников, которые направлены на улучшение экологического статуса. Дальнейшее внедрение рыбных ферм в этом районе требует детального пространственного планирования, оптимизации дизайна ферм и компенсации органических веществ с помощью морских мер, например, выращивания мидий [16].

С марта 2011 года по декабрь 2016 года на рыбном заводе под садками проводилось исследование донных организмов залива Наполеона в северной части озера Виктория. Целью было изучить возможное влияние аквакультуры на бентосных беспозвоночных. В настоящее время аквакультура под садками является обычной практикой на озере Виктория, но мало что известно об ее долгосрочном воздействии на бентосные сообщества фауны. Временные колебания указывали на общее снижение годовой плотности фауны в районе фермы с соответствующей стабильностью на участках вверх по течению (контроль) и ниже по течению. Членистоногие составляли численно доминирующую группу в контрольных и нижележащих участках. Процентное содержание EPT (Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera) и Malacostraca было самым высоким в верхнем течении и самым низким в районе фермы. Область фермы, в которой первоначально доминировали моллюски, стала доминировать членистоногими через 3 года. Снижение плотности моллюсков на территории фермы было связано с общим снижением плотности двух видов: *Bellamyia unicolor* (Gastropoda) и *Corbicula africana* (Bivalvia). Эти два вида были вначале многочисленными, но демонстрировали снижение в пределах области фермы с соответствующей стабильностью в верхнем и нижнем течении. Олигохеты были более многочисленными на территории фермы, чем на участках вверх и вниз по течению. Эти данные свидетельствуют о том, что моллюски лучше предсказывают воздействие аквакультуры на окружающую среду, чем членистоногие. Кроме того, в сообществе, где преобладают устойчивые к загрязнению организмы, воздействие аквакультуры может быть не немедленным, особенно когда нагрузка органических веществ из аквакультуры является умеренной [18].

Воздействие быстрого роста аквакультуры на окружающую среду привлекает внимание всего мира, и Китай в настоящее время является одной из крупнейших стран, занимающихся этой практикой.

Вэйхайская прибрежная зона в Китае была исследована для определения временных вариаций региональных органических веществ, отношения N / P,

растворенный кислород (DO), pH, хлорофилл а (Chl-a) и клеточное изобилие диатомовых и динофлагеллят в ответ на быстрый рост марикультурной деятельности в период с 2006 по 2014 год. Временные различия в концентрации органического азота в поверхностных водах в августе значительно увеличилась, между 2009 и 2014 годами. Заметное увеличение соотношений динофлагеллят к диатоме, одновременно с восходящим отношением N / P, также наблюдался в августе между 2011 и 2014 гг. Кроме того, вариации растворенного неорганического азота и фосфата выявили самые высокие концентрации в октябре и более низкие уровни в течение мая и августа. Кроме того, концентрации органических веществ в бухтах Сангоу, Рушан, Ронгченг и Улей были значительно изменены от различных культивируемых организмов в этих заливах.

Как уже говорилось ранее, видовое разнообразие зообентоса, его количественные характеристики, доминирование тех или иных групп по биомассе и численности в его составе на отдельных станциях исследуемой акватории связаны в большей степени с соленостью воды и типом грунта, а также с обеспеченностью пищей. В качественном составе макрозообентоса акватории месторождения им. Ю. Корчагина за время наблюдений (2014–2016 гг.) зарегистрировано 43 вида донных беспозвоночных. Наибольшим видовым разнообразием отличалась группа ракообразных, в состав которой входило, наряду с крабом (*Rhithropanopeus harrissii* (Gould)), *Balanus improvises* Darwin, равноногим рачком (*Jaera sarsi caspica* Kesselyak) и мизидой (*Katamysis warpachowskyi* G. O. Sars), 32 таксономические единицы, что соответствовало 74 % от общего количества видов. Второе место по числу видов занимали двустворчатые моллюски (*Bivalvia*) – 9 видов (21 %), и третье – кольчатые черви, 2 вида (5 %). Среди ракообразных по числу видов преобладали Gammaridae – 18 видов (42 % от общего числа видов). На долю Corophiidae из общего числа видов донных беспозвоночных приходилось 9 %, Cumacea – 6 видов (14 %), прочих Crustacea – 4 вида (9 %) [24].

Большинство таксонов (73 %) отмечалось на акватории полигона месторождения им. Ю. Корчагина в течение всего периода наблюдений. Остальные виды встречались спорадически, т. е. их развитие проходило в те годы, когда формировался более благоприятный режим солености для представителей морской фауны, которая качественно пополнялась видами, занесенными током воды из Среднего Каспия. Однако, как правило, численность этих форм была невелика, а зона распространения довольно ограничена.

Проведенные исследования видового разнообразия и количественных показателей донных организмов в акватории острова Тюлений показали следующее: рыб, питающихся бентосными организмами в достаточной степени обеспечены пищевыми ресурсами. Мелководное побережье острова Тюлений характеризуется необходимыми для нагула разнообразных, бентосоядных рыб условиями: слабосолеными, хорошо прогреваемыми в летний период морскими водами и богатой кормовой базой.

Смещение морских и пресных вод (влияние волжского стока), небольшие глубины и господствующие здесь северо-западные и юго-восточные ветры являются основными факторами, влияющими на формирование гидрофауны острова Тюлений. Омывающие о. Тюлений морские воды, а также достаточно крупная лагуна в его восточной части обеспечивают существование и воспроизводство промысловых рыб. При этом донные беспозвоночные играют важную роль в питания большинства ценных видов рыб, которые имеют большое значение для поддержания биологического разнообразия Каспийского моря. Следует отметить, что видовой состав моллюсков имеет отношение к установлению возраста отложений не только на о. Тюлений, но и всего Понто-Каспийского региона. Особенно значимыми среди моллюсков являются широко распространенные для акватории о. Тюлений эндемичные виды рода *Didacna Eichwald* – основные биостратиграфические объекты в изучении неоплейстоценовой истории Каспийского моря [25].

Таким образом, интенсивная аквакультура негативно влияет на окружающую среду через ландшафт. Изменение, утрата биоразнообразия и увеличение рисков для безопасности пищевых продуктов, например, корм для отходов и производство фекалий могут существенно увеличить поступление органических веществ, вызывая эвтрофикацию, что изменяет структуру пелагического и бентического сообщества и потенциально снижает жизнеспособность и производительность морских экосистем.

Хорошее качество пресной воды в значительной степени может способствовать развитию аквакультуры, однако, неблагоприятные условия окружающей среды отрицательно сказываются на выживании культивируемых организмов. Масштабы этих экологических последствий, вызванных марикультурой, отражены в нескольких характеристиках, включая температуру морской воды, соленость, рН, растворенный кислород (DO), приливное воздействие, гидродинамические характеристики, глубина и доступность органических веществ. В частности, изменения доступность органических веществ может привести к различным последствиям, таким как повышение концентрации хлорофилла а (Chl-a), возможное возникновение аноксии и гипоксии, подкисление океана и токсичных водорослей [19].

1.3 Индексы используемые для оценки качества воды

Простейшие животные обладают высокой чувствительностью к содержанию органического загрязнения в воде, что делает их ценными показателями в биологическом анализе водоема.

Основной экологический статус водного объекта- это экологическое качество воды. Под этим термином понимают структуру и функционирование сообществ водных организмов, которое отражает состояние водных масс. Чем выше экологическое качество воды, тем большее число различных таксонов может обитать в водном объекте и тем больше число функциональных групп. Очевидно, что для определения экологического статуса биологическая составляющая, основанная на данных о сообществах водных организмов, является решающей.

Основные биологические показатели, используемые при оценке экологического состояния реки Енисей, включают состав и численность водной растительности, состав и численность донных беспозвоночных, состав, численность и возрастную структуру рыб [7].

Для оценки качества воды, наиболее часто используют биотический индекс Вудивисса, который пригоден только для исследования рек умеренного пояса и не подходит для озер и прудов. Оценка состояния рек проводится по 15-балльной шкале. Биотический индекс определяют по специальной таблице.

Чтобы оценить состояние водоема по методу Вудивисса, нужно:

1) Выяснить, какие индикаторные (показательные) группы имеются в исследуемом водоеме;

2) Оценить общее разнообразие и определить количество «групп» донных организмов в пробе. При использовании метода Вудивисса, за «группу», принимается любой вид плоских червей, моллюсков, пиявок, ракообразных, водяных клещей, веснянок, сетчатокрылых, жуков, а также любой вид личинок других насекомых. Определив количество групп в пробе, находят соответствующий столбец в таблице;

3) На пересечении строки и столбца по специальной таблице находят индекс Вудивисса. Его значение изменяется от 0 до 15 и измеряется в баллах. Состояние водоема определяют по следующим баллам: 0-1- экстремально грязная (V класс качества), 2- грязная (IV класс качества), 3-4- загрязненная (III класс качества), 5-6- слабо загрязненная (II класс качества), 7-10- условно чистая (I класс качества).

При повышении уровня загрязненности вод, изменяется видовая структура гидробионтов, вследствие чего происходит отмирание индикаторных таксонов, достигших предела толерантности.

Система Вудивисса более проста в использовании, может применяться персоналом средней квалификации. Существенным ограничением его использования считается недопустимость применения его на глубинах более 2 м [5].

Для оценки качества воды можно использовать олигохетный индекс, который используется только для определения загрязнения водоёма органическими веществами.

Значение ОИ равно отношению количества обнаруженных в пробе олигохет N (малощетинковых червей) к общему количеству организмов N общее (включая и самих червей) в процентах по формуле:

$$ОИ = \frac{N_{\text{олигохет}}}{N_{\text{общ}}} * 100\% \quad (1)$$

Степень загрязнения воды органикой дана в табл. 3.

Состояние реки считается хорошим, если ОИ меньше 30%, сомнительным при ОИ в пределах 51-70%, река тяжело загрязнена, если ОИ превышает 90%. По показателю обобщенного индекса судят о степени эвтрофикации водоема.

Таблица 1 — Степень загрязнения воды органикой дна.

Значение индекса %	Степень загрязнения воды	Класс качества
До 30	Условно чистая	I
31–50	Слабо загрязненная	II
51-70	Загрязненная	III
71-90	Грязная	IV
90-100	Экстремально грязная	V

Э.А. Пареле применил ОИ для малых рек Латвии, ранжировав его в соответствии с классификацией качества вод С. М. Драчева. На основании значений модифицированного ОИ, названного коэффициентом D , Пареле было выделено шесть групп в исследованных водотоках: очень чистая- 0,01-0,16 (или 1-16%); чистая- 0,17-0,33 (17-33%); умеренно загрязненная- 0,34-0,50 (34-50%); загрязненная- 0,51-0,67 (51-67%); грязная- 0,68-0,84 (68-84%); очень грязная- 0,85-1 (свыше 85%).

На Русской равнине для крупных рек хорошо зарекомендовал себя другой метод Пареле, основанный на отношении численности олигохет семейства тубифицид к суммарной численности всех олигохет:

$$D_2 = \frac{t}{O} \quad (2)$$

где: t - численность тубифицид;

O - численность всех олигохет (малощетинковые черви).

По значениям D_2 для рек Латвии были выделены: сильно загрязненные воды (0,8-1,0); загрязненные (0,55-0,79); слабо загрязненные (0,3-0,54); относительно чистые (меньше 0,3). В малых быстротекущих водотоках с разнообразной донной фауной предлагается использовать коэффициент D_1 – соотношение численности тубифицид и всего бентоса в пробе. При $D_1 = 0,01-$

0,16 – очень чистая вода; 0,17-0,33 – чистая; 0,34-0,50 – слабозагрязнённая; 0,51-0,67 – загрязнённая; 0,68-0,84 – грязная; 0,85-1,0 – очень грязная [8].

По сути, эта система аналогична олигохетному индексу, но в отличие от него учитывает фактор течения.

Имеются данные, указывающие на низкую информативность индекса Гуднайта и Уитлея, в результате загрязнения вод тяжелыми металлами, которые угнетают сообщество олигохет [2].

Индекс сапробности - это численное выражение способности сообщества донных беспозвоночных выдерживать определённый уровень органического загрязнения. Тесно коррелирует с величиной биохимического потребления кислорода (БПК).

Антропогенное воздействие является негативным фактором, который сказывается на функциональных, в том числе продукционных показателях донных гидробионтов. Для оценки этого влияния могут использоваться такие индексы, как P/B , P/R , R/B , где P - продукция, R - траты на обмен, B - биомасса. Продукционные характеристики, в конечном счете, самые важные для оценки сообщества водных организмов, их колебания отражают интегральное влияние всех факторов среды, поэтому использование их чрезвычайно привлекательно. Но следует отметить, что продукция, как правило, расчетная характеристика, точность оценки которой может быть невелика, получение, же соответствующих эмпирических данных весьма трудоемко и требует специальных продукционных исследований.

Индексы сапробности характеризуют качество и оценку воды по набору и количественным показателям популяций видов-индикаторов в пробах планктона и бентоса. Индексы сапробности характеризуют как точечные или локальные состояния воды водоема и позволяют дать оценку процессов на самоочищение, например, в реке при отборе проб по заданной сетке станций относительно места сброса сточных вод. Пробы обычно отбираются до (выше) сброса, в районе сброса (на небольшом удалении) и далее по факелу распространения сточных вод.

Совершенствуясь в течение многих лет со времени создания, система Кольквитца-Марссона стала наиболее детально разработанной среди систем биологического анализа, но существуют и минусы: она может давать разные результаты на быстро текущих реках и стоячих водоемах [2].

Е.В. Балущкина (1976, 1987) предложила хирономидный индекс:

$$K = \frac{N+10}{N} \quad (3)$$

где:

$N+10$ - вспомогательная величина;

N - относительная численность особей всех видов подсемейств (*Tanypodinae*, *Chironominae*, *Orthocladiinae* и *Diamesinae*); слагаемое 10 подобрано эмпирически.

При $K= 0,136-1,08$ – качество воды оценено на уровне чистая; $1,08-6,5$ - умеренно загрязненная; $6,5-9,0$ - загрязненная; $9,0-11,5$ - грязная.

Представители п/сем Tanypodinae и Chironominae встречаются в загрязненных водах. Род Chironomus - полиморфный и эврибионтный, его виды трудно и часто неправильно идентифицируются, поэтому один и тот же вид разными авторами указывается в качестве индикатора для разной степени загрязнения вод. *Chironomus plumosus* может быть в массе в сильно эвтрофированных водоемах и отсутствовать в водоемах, в которые поступают стоки с полей фильтрации и скотного двора. Здесь встречаются *Ch. annularius* и *Glyptotendipes barbipes*. При сильном загрязнении легко окисляемой органикой *Ch. plumosus* может быть в массе. При промышленном загрязнении (стоки ЦБК) в массе развивается *Ch. tummi*, менее требователен к кислороду.

П/сем. Tanypodinae: *Prodiamesa olivacea*- мезосапроб; *Procladius choreus* и *P. ferrugineus* - эврисапробы. Род Psectrotanypus- в слабо загрязненной зоне *Macropelopia nebulosa* - эврисапроб (в- мезо - олигосапроб). *Ablabesmija tonilis* - б - мезосапроб.

П/сем. Orthoclaadiinae - в большинстве стеноксифионты, оксифильны [9].

Преимущество метода заключается в том, что его расчет не требует определения видового состава личинок хирономид и оценки индикаторного значения отдельных видов хирономид.

Метод Балускиной показал себя малоприменимым для применения на притоках Верхней Оби, так как доля Orthoclaadiinae и Tanypodinae в зообентосе рек по сравнению с хирономинами оказалась ничтожной, к таким же выводам при применении этого индекса на малых реках правобережного Средневолжья пришел А.Г. Каменев [2].

Фламандский мультиметрический индекс (ММИФ), предназначенный для расчета EQR рек и озер, разработан на основе бельгийского биотического индекса ВВІ. В то же время ВВІ не соответствует некоторым требованиям WFD. Новый мультиметрический индекс, основанный на сообществах макрозообентоса, разработан для оценки экологического качества рек и озер и используется при мониторинге вместо ВВІ. Он предназначен для общей оценки экологических ухудшений, вызванных любыми видами воздействия, например загрязнение воды и деградация среды обитания.

ММИФ базируется на тех же методах сбора и обработки проб донных беспозвоночных, что и ВВІ.

При расчете индекса используют пять одинаково взвешенных метрик: число таксонов Plecoptera, Ephemeroptera и Trichoptera (ЕРТ), число таксонов (ТАХ); число других чувствительных таксонов — таксонов не ЕРТ с толерантностью >5 индекс разнообразия Шеннона (SWD); средняя величина толерантности всех обнаруженных таксонов (MTS); Величины, полученные для исследуемых участков, сравниваются с эталонными- определяется величина EQR. Расчет индекса производится для определенного типа рек и озер.

Корреляционный анализ показал, что ММИФ положительно связан содержанием растворенного кислорода ($R = 0,46$, $n = 304$) и отрицательно — с общим азотом ($R=0,43$, $n=301$), аммонийным азотом ($R=0,69$, $n=297$), нитритами

($R=0,41$, $n=301$), общим фосфором ($R=0,61$, $n=296$), ортофосфатами ($R=0,53$, $n=170$), БПК 5 ($R=0,62$, $n=261$) и ХПК ($R=0,43$, $n=237$) ($P<0,001$ для всех корреляций).

Для оценки экологического качества воды величина рассчитанного индекса относится к его значению на эталонном створе [7].

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1 Характеристика района исследования.

Енисей (рис. 1) является одной из крупнейших рек мира: длина реки от места слияния Большого Енисея и Малого Енисея — 3487 км (с Малым Енисеем — 4287 км, от истоков Большого Енисея — 4092 (4123) км). Длина водного пути: Идэр — Селенга — озеро Байкал — Ангара — Енисей составляет 5550 км. По площади бассейна (2580 тыс. км²) Енисей занимает 2-е место среди рек России и Евразии (после Оби) и 7-е место среди рек мира. Для бассейна Енисея характерна резкая асимметричность: его правобережная часть в 5,6 раза обширнее левобережной.

Енисей относится к типу рек смешанного питания с преобладанием снегового. Доля последнего немного менее 50 %, дождевого 36—38 %, подземного в верховьях до 16 %, к низовьям она уменьшается. Замерзание Енисея начинается в низовьях (начало октября). Для Енисея характерны интенсивное образование внутриводного льда, осенний ледоход. Ледостав в низовьях с конца октября, в середине ноября в среднем течении и у Красноярска и в конце ноября — декабре в горной части. На отдельных участках в русле возникают мощные наледи. Для большей части Енисея характерно растянутое весеннее половодье и летние паводки, зимой резкое сокращение стока (но уровни падают медленно из-за развития зажоров). Для верховьев характерно растянутое весенне-летнее половодье. Половодье на Енисее начинается в мае, иногда в апреле, на среднем Енисее несколько раньше, чем на верхнем, на нижнем в середине мая — начале июня. Весенний ледоход сопровождается заторами. Размах колебаний уровня Енисея в верховьях 5—7 м в расширениях и 15—16 м в сужениях, в нижнем течении он больше, к устью уменьшается [11].



Рисунок 2 — Карта расположения р. Енисей [1].

[1] Режим доступа- <https://сезоны.рф/%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B0%20%D0%95%D0%BD%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%B9.html>

Список используемых источников

1. Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды/ под ред. А.В. Крылова, А.А.Боброва; Российская акад. наук, Ин-т биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. - Москва: Товарищество науч. изд. КМК, 2007. – 368 с.
2. Безматерных Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири/ Д.М. Безматерных// аналит. обзор Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, Ин-т вод. и экол. Проблем. Сер. Экология.- Новосибирск, 2007. - 87с.
3. Геопортал ИВМ СО РАН [Электронный ресурс]: Исследование зообентоса в р. Енисей. 2008-2018. - Режим доступа: <http://gis.krasn.ru/blog/ecosystem/zoobenthos>.
4. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / под ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга; [Российская акад. наук, Уральское отд-ние, Ин-т экологии Волжского бассейна и др.]. - Москва: Наука, 2007. – 402 с.
5. Зависимость реакции водной биоты на тепловое техногенное воздействие от фонового термического режима экосистемы (на примере макрозообентоса). / В.А. Жигульский, В.Ф. Шуйский, Н.С. Царькова, Е.Ю. Максимова, С.А. Бойкова. // Проблемы региональной экологии. Издательство: ООО Издательский дом "Камертон" (Москва). 2013.- №5.- 141-153с.
6. Н.В. Старко. Влияние садковых рыбных хозяйств на макрозообентос водоемов-охладителей. / Н.В. Старко. // Рыбохозяйственная наука Украины. Издательство: Институт рыбного хозяйства 2011.- №2.- 54-59 с.
7. Экологическое качество поверхностных вод / В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий // Минск: Беларус. Наука. 2010. – 329 с.
8. Измерение загрязненности речной воды (на примере малой реки Малая Кокшага): научно-учебное издание / А. М. Сибагатуллина, П. М. Мазуркин; Федеральное агентство по образованию, Марийский гос. технический ун-т, Российская акад. естествознания. - Москва: Акад. Естествознания, 2009. - 71 с.
9. Степановских А.С. Общая экология: Биологическая индикация качества воды: Учеб. / Под ред. А.С. Степановских.- М.: ЮНИТИ, 2000 г.-510с.
10. Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. Канд. Биол. Наук В.А. Абакумова. - Гидрометеиздат Ленинград, 1983 г.- 240с.
11. Большая советская энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969—1978.
12. Л.С. Прусевич. Зоопланктон и зообентос водоемов сартланского озера / Л.С. Прусевич Западно-Сибирский научно-исследовательский институт водных биоресурсов и аквакультуры // Вестник КГУ, 2006. - №4.52-54 с.
13. Особенности структуры и функционирования бентосных сообществ в условиях теплового загрязнения / С.А. Валькова, Н.А. Кашулин // Труды Кольского научного центра РАН. Издательство: Кольский научный центр Российской академии наук (Апатиты).-2013.-№3.-97-105 с.

14. Состав, распределение и ресурсы макробентоса в заливе Петра великого / В.А. Надточий, Н.В. Колпаков // Известия ТИНРО. Изд. Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, Владивосток.-2017г.-101-118 с.

15. Influence of salmonid aquaculture activities on a rock-cliff epifaunal community in Jervis Inlet, British Columbia / T.F. Sutherland, A.M. Sterling, M. Ou // Marine Pollution Bulletin.-2018.-297-309 с.

16. Modelling the environmental impacts of future offshore fish farms in the inner Danish waters / Marie Maar, Janus Larsen, Karsten Dahl, Bo Riemann // Department of Bioscience, Aarhus University, Frederiksborgvej 399, PO Box 358, 4000 Roskilde, Denmark.-2018.-115–133 с.

17. Влияние донного грунта на формирование сообществ макрозообентоса (на примере р. Кадалинки, восточное забайкалье) / Н.В. Салтанова, Р.А. Филенко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. Изд.: Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск).-№1.-2011г.-34-39 с.

18. Benthic macroinvertebrate community structure in Napoleon Gulf, Lake Victoria: effects of cage aquaculture in eutrophic lake / Robert Egessa & Gandhi Willy Pabire & Henry Ocaya // Springer International Publishing AG, part of Springer Nature.-2018.-10 с.

19. Environmental response to long-term mariculture activities in the Weihai coastal area, China / Hongmei Li, Xiaomin Li, Qiang Li, Ying Liu, Jide Song, Yongyu Zhang // Science of the Total Environment.-2017.-22-31 с.

20. Экология сообществ донных беспозвоночных в водоемах-охладителях тепловых электростанций Сибири/ Л. В. Яныгина // Водные ресурсы. Изд.: Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук.-2011.- т. 38, №5.-618-630 с.

21. "РД 52.24.309-2011. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши" (утв. Росгидрометом 25.10.2011).-1-88 с.

22. Зоопланктон и зообентос Белоярского водохранилища в условиях теплового воздействия атомной электростанции / Кулаков, Дмитрий Владимирович // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016 (5).-89-101 с.

23. С.И. Филипенко. Зообентос Кучурганского водохранилища как модельного водоема-охладителя оборотного типа тепловой электростанции / С.И. Филипенко // г. Тирасполь. Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко.-2011 г.- 137 с.

24. Динамика развития зообентоса на акватории месторождения имени Ю. Корчагина в северном каспии / С. Н. Студников, Л. В. Малиновская, А. В. Кузин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство.-2018 (2):89-97 с.

25. Бентофауна прибрежной акватории острова тюлений каспийского моря / М.М. Алигаджиев, М.М. Османов, Р.М. Бархалов, Н.И. Рабазанов, Ф.Ш.

Амаева, А.А. Абдурахманова, М.В. Хлопкова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.-2019 г. т. 21. № 2. 60-67 с.

26. Оценка состояния качества воды реки Нольки по организмам макрозообентоса в районе сброса сточных вод Йошкар-Олинской ТЭЦ-2 / Е.А. Фролова, Н.Г. Баянов, А.В. Моисеев, О.А. Морева // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича. Россия- 2019, выпуск 22.- 243-253 с.

27. Дубинина В.Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ / Дубинина В.Г. // Экосистемы: экология и динамика. 2019.- Т. 3. № 1.- 67-97 с.

28. Водные биологические ресурсы Пензенской области, река Сура / Асанов А. Ю. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыболовство. 2016, выпуск 2. 7-14 с.

29. Стабильность сообществ макрозообентоса в водоёме-охладителе Балаковской АЭС / Воронин М. Ю., Ермохин М. В // Поволжский экологический журнал 2014.- № 1.- 97-102 с.

30. Асылбеков С.Ж. Интродукция рыб и водных беспозвоночных в водоемы Казахстана: результаты и перспективы / Диссертация доктора биологических наук: Асылбекова Сауле Жангировна - Алматы, 2016. - 348 с.

31. Кравцова Л.С. Сезонная динамика количественных показателей личинок хирономид (Diptera, Chironomidae) в прибрежной зоне озера Байкал / Кравцова Любовь Сергеевна // Вестник Томского государственного университета. 2010.- № 338.- 200-206 с.

32. Предварительные результаты современного мониторинга зообентоса на разрезе “Кольский меридиан” / О.С Любина, Е.А Фролова, Д.Р Дикаева, Н.А Анисимова, П.А Любин, А.А Фролов, Е.А Гарбуль, О.Л Зимина, О.Ю Ахметчина, И.О Нехаев // Труды Кольского научного центра РАН, 2013.- 43-63 с.

33. Долговременная сукцессия бентоса под хозяйствами марикультуры мидий в белом море / Иванов М. В. Чивилев С. М. // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2007 г.- сер.3 вып.4.- 63 с.

34. Распределение макрозообентоса в эстуариях рек бассейна залива Петра Великого в связи с характеристиками донных осадков / В.А. Надточий, Ю.А. Галышева, Н.В. Колпаков, О.В. Нестерова // Известия ТИНРО. 2010.- т. 163.-2010 г.- 296-310 с.

35. Садковая аквакультура: всемирное обозрение / В.М Halwart, D. Soto, J.R. Arthur // Садковая аквакультура- Региональные обзоры и всемирное обозрение. Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству. Рим, ФАО. 2010 г. С. 3-17 с.

36. Н.М Яровская. Донные беспозвоночные левобережных притоков нижнего Амура / Н.М Яровская // Региональные проблемы.- 2016 г.- Т.19.-№3.- 62-72 с.

37. Садковые хозяйства - Условия садкового выращивания рыб [электронный ресурс]. - Режим доступа:

<http://biblio.arktiskfish.com/index.php/industrialnoe-rybovodstvo/1619-glava-4-sadkovye-khozyajstva-usloviya-sadkovogo-vyrashchivaniya-ryb> 38.

Продуктивность водоема [электронный ресурс] режим доступа: <https://xn--e1aelkciia2b7d.xn--p1ai/stati/ribovodstvo/produktivnost-vodoema.html>

39. Влияние вредных веществ на водных беспозвоночных / Е.А. Гончарова, Н.Д. Джимова // Вестник Адыгейского государственного университета 2005 г.-26-28 С.

40. А. И. Ледяева. Численность и биомасса зообентоса Каттакурганского водохранилища в различные годы / А. И. Ледяева // Институт зоологии и паразитологии АН УзССР, Ташкент.

41. А.В. Андрианова. Динамика развития енисейского зообентоса в нижнем бьефе Красноярской ГЭС / А.В. Андрианова // Вестник Томского государственного университета. Биология.-2013.- № 1 (21).-74–88 с.

42. Динамика развития зообентоса на акватории месторождения им. Ю. Корчагина в северном Каспии / С. Н. Студников, Л. В. Малиновская, А. В. Кузин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство.-2018 г.-89-97 с.

43. Количественная гидроэкология: методы системной индексации / Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.– Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

44. Классические методы статистики: t-критерий Стьюдента [электронный ресурс].- Режим доступа: <https://r-analytics.blogspot.com/2012/03/t.html>

45. Простейшие методы статистической обработки результатов экологических исследований / А.С.Боголюбов, Экосистема, 1998.-10 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
институт
Кафедра водных и наземных экосистем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



М.И. Гладышев

подпись инициалы, фамилия

« 01 » 06 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

06.03.01 Биология

код и наименование специальности

Структура зообентоса Абаканской протоки р. Енисей
тема работы

Научный
руководитель:



подпись, дата

доцент, к.б.н.

должность, ученая степень

Шулепина С.П

Выпускник:



подпись, дата

Патутина Ю.А

Красноярск 2020 г.

