



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанологии ЮНЕСКО МОК и охраны природных вод

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

«ВОЗДЕЙСТВИЕ ФОРЕЛЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ»

Исполнитель: Лапенков Артем Евгеньевич студент группы ПО-М17-1-8

Научный руководитель: к.г.н., Хаймина Ольга Владимировна

Научный консультант: к.б.н., Зуев Юрий Алексеевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Ерёмина Татьяна Рэмовна

(фамилия, имя, отчество)

« ___ » _____ 20__ г.

Санкт–Петербург

2019

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Аквакультура. Марикультура. Форелевые хозяйства.	10
1.1. Основные абиотические и биотические факторы, влияющие на объекты аквакультуры	10
1.2. Объекты аквакультуры: Радужная форель и условия ее выращивания.....	15
1.3. Оценка состояния водного объекта.....	17
2. Физико-географическое характеристика водных объектов (акваторий) размещения форелевых хозяйств в РФ.....	20
2.1. Черное море. Залив Донузлав.	20
2.2. Каспийское море. Северный Каспий.....	23
2.3. Белое море. Двинской залив.....	24
2.4. Баренцево море. Кольский залив.....	26
2.5. Ладожское озеро.....	27
2.6. Малая Никоновская бухта.....	28
3. Материалы и методы.....	36
3.1. Исходные данные	36
3.2. МОМ мониторинг	37
3.2.1. А-исследование	37
3.2.2. В-исследование	38
3.2.3. С-исследование. Бентосные сообщества по разрезу	42
3.3. Водолазный метод Скарлато-Голикова	43

3.4. Подводная видеосистема	44
3.5. Методика определения биогенной нагрузки.....	46
3.6. Определения содержания органических веществ.....	47
4. Результаты исследования.	49
4.1. Результаты А-исследования MOM в Малой Никоновской бухте.	49
4.2. Результаты В-исследования MOM.....	49
4.2.1. Наличие макробентоса	51
4.2.2. E_h и рН.....	51
4.3. Органолептические параметры.....	52
4.3.1. Цвет	52
4.3.2. Запах	53
4.3.3. Консистенция осадка	53
4.3.4. Газ, пузыри	53
4.3.5. Толщина осадка на вершине исходного грунта.....	53
4.4. Расчет нагрузки от форелевого хозяйства в открытой части Ладожского побережья	54
4.5. Органика в грунтах	58
4.5.1. Обобщение В-исследования, итоговая оценка	58
4.6. Результаты С-исследования	60
4.7. Сравнение характеристик водных объектов размещения форелевых хозяйств РФ.....	62
4.8. Видео-система	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	72

СОКРАЩЕНИЯ

ФАО	– Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН;
ФО	– Федеральный округ
pH	– Водородный показатель
E_h	– Окислительно-восстановительный потенциал
ТПМ	– Температура поверхности моря
ПДК	– Предельно допустимая концентрация
РБО	– Рыбоводно-биологическое обоснование
МOM	– Modelling - Ongrowing fish farm – Monitoring
ЕС	– Европейский Союз

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается стремительное развитие товарного культивирования гидробионтов и рост объемов аквакультурной продукции. Это стало результатом осознания ограниченности биологических ресурсов океана. Популяции промысловых видов подвержены как естественным, так и вызванным человеческой деятельностью колебаниям численности, вследствие чего невозможно обеспечить их добычу в строго заданных объемах. Известны случаи перелома отдельных видов при их экстенсивном промысле во второй половине XX века. В условиях постоянно растущей численности населения по всему земному шару возникла потребность в создании условий для непрерывного получения продукта, обладающего относительно низкой стоимостью и высокими пищевыми качествами. Разведение водных организмов в контролируемых условиях позволяет гарантированно получить необходимое для обеспечения пищевых потребностей населения количество продукции с высокой питательной ценностью. [1]

Кроме того, антропогенная деятельность, например, строительство гидротехнических сооружений, порой препятствует естественному воспроизводству некоторых ценных видов рыб, таких как осетровые, лососевые и пр., что приводит к снижению их численности в естественной среде обитания и невозможности их промысловой добычи. Тогда сохранение естественной популяции и товарное воспроизводство таких видов возможно лишь в условиях аквакультуры.

Как и любая другая человеческая деятельность в природных водоемах, промышленная аквакультура оказывает воздействие на окружающую водную среду, в особенности на прибрежные акватории. Выращивание большой массы гидробионтов на ограниченной площади влечет за собой локальное увеличение

нагрузки на экосистему от дополнительно поступающих органических веществ. При этом степень негативного влияния определяется абиотическими параметрами водоема, которые в обязательном порядке необходимо учитывать при выборе места размещения хозяйства. Особенности батиметрии, циркуляции водных масс, ветро-волновое перемешивание и ледовый режим обуславливают перераспределение вещества и самоочищающую способность водоема. Температурный режим в течение года, значение солености, гидрохимические показатели определяют пригодность водоема для выращивания того или иного вида в зависимости от его диапазонов оптимумов и требований к качеству воды.

При эксплуатации аквакультурного хозяйства важную роль играет мониторинг абиотических и биотических параметров, так как их изменчивость может приводить к ухудшению экологического состояния акватории, и, соответственно, условий содержания культивируемых гидробионтов и естественных обитателей водоема.

В данной работе особое внимание будет уделено именно принципам мониторинга состояния акваторий.

В России для оценки места размещения рыбоводного хозяйства и анализа условий природопользования с учетом возможного влияния на экологическое состояние водного объекта подготавливается рыбоводно-биологическое обоснование (РБО). По результатам РБО можно сделать вывод о целесообразности и возможности строительства рыбоводческой фермы на выбранном участке, а также определение биогенных элементов, по которым будет необходим вести дальнейший мониторинг. Однако, в данном комплексе мероприятий уделяется недостаточно внимания мониторингу состояния донных отложений, которые могут накапливают в себе загрязнения от деятельности аквакультурного хозяйства. В дальнейшем мониторинг качества вод становится задачей, реализуемой за счет владельца хозяйства, путем сдачи отобранных проб воды и выращиваемых гидробионтов на анализ в

ветеринарно-санитарную службу и иные ответственные организации. Плановый отбор проб воды на гидрохимические показатели проводится 2 раз в год. Дополнительные исследования выполняются в случае гибели гидробионтов или резких изменений гидрохимического режима [2].

В Европейских странах мониторинг регулируется стандартами на государственном уровне и является обязательным при рыболовческой деятельности. Большой вклад в развитие стандарта сделали норвежские ученые, которые обобщили результаты научных трудов в области мониторинга влияния рыболовческих хозяйств и разработали принципы Modelling - Ongoing fish farm – Monitoring (MOM), которые и легли в основу единого европейского стандарта [3].

На сегодняшний день одним из основных объектов промышленного рыболовства в Европе, благодаря отработанным технологиям производства и высокой толерантности к условиям среды, является радужная форель. Широкий диапазон условий, в которых выращивается форель, определяет разнообразие биотических и абиотических факторов, влияющих на её развитие.

В Европейской части России перспективными местами для выращивания радужной форели являются Белое, Баренцево, Черное и Каспийское моря, а также Ладожское озеро. Лидером по производству товарной рыбы и выращиванию радужной форели в садках является Карелия. На территории республики работает 57 рыболовных хозяйств. По итогам 2018 года в Республике Карелия было выращено 27,2 тысячи тонн (110% к уровню 2017 года) рыбы, в том числе товарной - 18,2 тысячи тонн. На Белом море выращено 13,6 тонны мидий (46,1% к уровню 2017 года). [4]. На весь же Северо-западный федеральный округ (ФО) в 2016 году, по данным информационного портала «Аквакультура России», приходится 36 тысяч тонн лососёвых в год. На Сибирский, Центральный и другие ФО приходится 6 тыс. тонн год. По выращиванию карповых лидирует Южный ФО 58 тыс. тонн год

В северной Европе объём продукции аквакультуры очень высок, по оценкам ФАО в Европе ежегодно выращивается 150 тыс. т. рыбы. В Европейском союзе действуют серьезные требования к рыбноводческим хозяйствам в отношении регулирования состояния акваторий. Основой для стандарта качества природных вод при промышленном рыбноводстве послужила серия принципов с объединяющим названием Modelling - Ongrowing fish farm – Monitoring. Оценка применимости методов мониторинга была одной из задач этой работы.

Актуальность исследования.

В связи с высокими темпами роста развития аквакультурных хозяйств в различных морских и пресноводных водоемах, требуется совершенствование системы мониторинга их воздействия на прибрежные мелководные экосистемы. Прежде всего, определение минимального числа наиболее информативных показателей, доступных для постоянного контроля непосредственно фермерами.

Объектом данного исследования является влияние форелевого хозяйства на Малую Никоновскую бухту Валаамского архипелага Ладожского озера.

Предмет исследования – применимость модели MOM для организации мониторинга воздействия садкового хозяйства на водную среду.

Цель исследования: уточнить информативности и достаточность показателей, используемых для оценки воздействия аквакультурных хозяйств на качество вод прибрежной зоны, для совершенствования существующих подходов.

Задачи исследования:

1. Сравнить абиотические характеристики акваторий, пригодных для размещения форелевых хозяйств.

2. Изложить подходы к изучению влияния форелевого хозяйства на прибрежные акватории
3. Применить мониторинг по программе МОМ для Малой Никоновской бухты и дать комплексную оценку ее состояния
4. Протестировать видео-методы как необходимый элемент усовершенствования МОМ в условиях северной Ладоги
5. Выполнить обобщение результатов и сформировать рекомендации по возможному использованию изученных методов мониторинга для пресных и морских вод

Научная новизна исследования

В ходе исследования использована европейская методика мониторинга водной среды МОМ. Данная методика впервые опробована для пресной акватории. Как дополнительный элемент системы контроля протестирована подводная видеофиксация донных отложений с передачей данных на поверхность в режиме реального времени. Благодаря ей впервые получена привязка состояния донных сообществ в районе влияния садков к реальному состоянию поверхности дна. В ходе видеосъемки в районе размещения форелевого хозяйства на дне было обнаружено существование бактериального мата, роль которого в обменных процессах на границе «вода-донные отложения» еще предстоит изучить.

Обоснована принципиальная возможность использования предлагаемого подхода к организации мониторинга воздействия садкового хозяйства на водную среду как на пресноводных, так и на морских акваториях.

1. Аквакультура. Марикультура. Форелевые хозяйства.

Аквакультура — разведение и выращивание водных организмов (рыб, ракообразных, моллюсков, водорослей) в искусственных и естественных водоёмах как пресноводных, так и морских, а также на специально созданных плантациях, фермах и садках.

Под марикультурой (морская аквакультура) обычно понимают интенсивное выращивание гидробионтов с целью воспроизводства особей промысловых видов (запаса), а также кормовых организмов [5].

1.1. Основные абиотические и биотические факторы, влияющие на объекты аквакультуры

На численность вида в естественных условиях влияет огромное количество биотических и абиотических факторов. Все их учесть в настоящее время практически невозможно. Однако мы можем выделить основные факторы, оказывающие влияние на развитие объектов аквакультуры (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 Абиотические и биотические факторы

Абиотические факторы	Биотические факторы
Температурный режим	Монокультура
Кислородный режим	Поликультура
Водообмен	Каннибализм;
Загрязнение	Конкуренция в питании и сфере обитания
Связь с воздушной средой	Плотность посадки, от которой зависит конечная масса
Освещенность	Жизнестойкость
Прозрачность	Размерно-весовая структура стада
Активная реакция среды – рН	Привлечение воздушного корма
Жесткость воды	Враги рыб – хищные рыбы, животные, птицы и пр.
Наличие ледяного покрова	Болезни и паразитизм

Перейдем к более подробному рассмотрению приведенных биотических и абиотических факторов.

Биотические факторы отражают различные отношения между выращиваемой рыбой и другими организмами в водоеме. Эти отношения возникают как между представителями одного вида (внутривидовые связи) или разных видов (межвидовые взаимосвязи), также они могут быть и между рыбами и представителями других систематических групп.

Абиотические факторы.

Температура воды – один из универсальных и определяющих экологических факторов среды. Особенностью строения организмов рыб является зависимость их активности от температуры окружающей среды. Гидробионты могут быть эвритермные и stenотермные.

Растворенный в воде кислород (O_2). Его содержание тесно связано с температурой воды. Растворимость газов в воде увеличивается с понижением температуры. В солоноватой и морской воде кислород растворяется меньше,

чем в пресной. Оптимальные значения кислорода для выращивания водных организмов составляют 7–11 мг/л. Чем моложе рыба, тем больше ей требуется растворенного кислорода.

Активная реакция среды – рН (водородный показатель рН) является показателем концентрации ионов водорода в воде и определяет среду: кислую, нейтральную или щелочную.

Течения перераспределяют растворенные и взвешенные вещества, удаляет продукты метаболизма (обмена), остатки корма, экскременты. Наличие умеренных течений в водоеме способствует равномерному распределению вносимого корма. Форель в естественной среде обитания приспособлена к наличию течений.

Водообмен. При хорошем водообмене, как правило, объемы рыбопродукции увеличиваются. Рельеф дна акватории не должен препятствовать рассеиванию неусвоенного рыбами корма и продуктов метаболизма на максимально большей площади. Этому может способствовать небольшой уклон ложа водоёма без глубоких ступеней и впадин. Следует избегать углублений и котлованов под местом расположения садков (Рисунок 1.1).

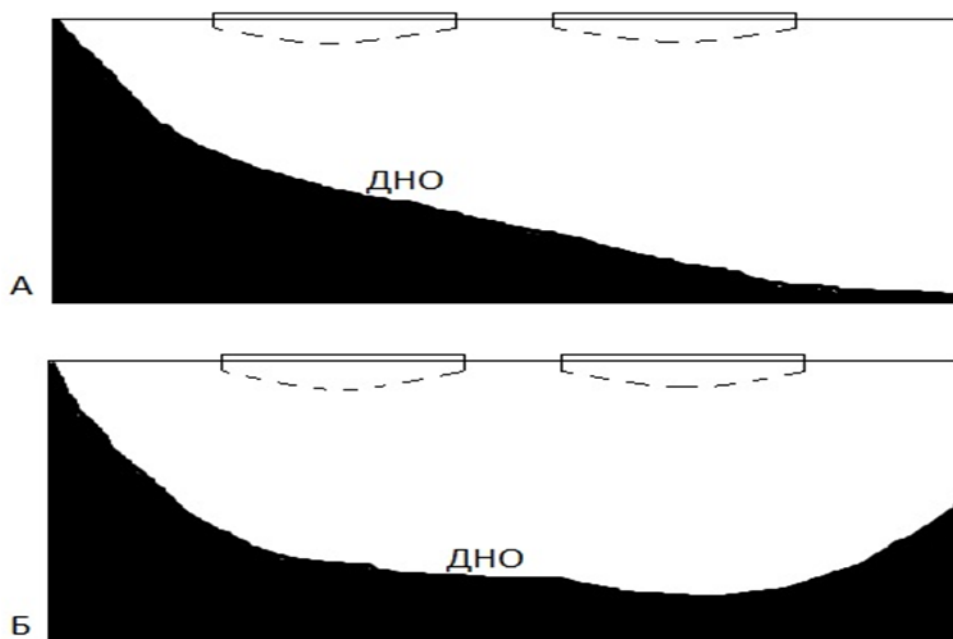


Рисунок 1.1 Типы дна. А – Способствующий выносу органики рельеф дна. Б – неблагоприятный рельеф дна.

Свет. Прямые солнечные лучи способны вызывать ожоги тела у мальков, поэтому лучше, когда выращивание идет при рассеянном, ослабленном свете. Например, свет и фиолетовые лучи губительны для икры лососевых, а желтые и оранжевые лучи безвредны. От длительности светового дня в сильной степени зависят сроки полового созревания у таких рыб как форель.

Мутность, взвешенные вещества. Превышение нормы взвешенных веществ приводит к гибели рыб, замедлению роста, снижению устойчивости к заболеваниям, отрицательному воздействию на развитие икры и личинок, изменяет естественные движения рыб, снижает обеспеченность пищей. За норму количества взвешенных веществ принимается 25 мг/л и ниже.

Наличие ледяного покрова определяет конструкцию гидробиотехнических сооружений для культивирования гидробионтов. Ледяной покров препятствует обмену между водной поверхностью и атмосферой, что снижает концентрацию растворенного кислорода в воде.

Наличие льда подавляет ветровое волнение. При прохождении через толщу льда свет значительно ослабляется.

Аммиак (NH_3). Присутствие аммиака всегда свидетельствует о загрязнении воды азотсодержащими веществами и об идущих гнилостных процессах. Рыба выделяет аммиак через жабры. Имеется две формы аммиака: ионизированный аммиак (NH_3) нетоксичен, неионизированный аммиак (NH_4) оказывает токсическое действие, которое резко усиливается при повышении pH.

Нитриты (NO_2) накапливаются при повышенном уровне аммиака, могут вызывать окисление двухвалентного железа гемоглобина крови в трехвалентное железо метгемоглобина, неспособного переносить кислород. При этом кровь приобретает коричневый цвет. Для лососевых порог токсичности нитритов колеблется от 0,1 до 1 мг. При хорошей аэрации нитриты окисляются до нитратов. В морских и солоноватых водах нитриты не опасны для рыб, тогда как в пресной воде даже в малых количествах очень опасны.

Нитраты (NO_3) – продукты окисления нитритов, являются более стойкими соединениями. Нитраты становятся токсичными при концентрации 100–300 мг/л. Они способствуют развитию водорослей и паразитарных циклов. В солоноватой воде нитраты более токсичны.

Фосфаты. Обычно их количество мало – 0,1 мг/л. Наличие их способствует развитию водорослей, которые могут являться дополнительной кормовой базой, например для карповых.

Таким образом, количество абиотических и биотических факторов, влияющих как на состояние собственно выращиваемых гидробионтов, так и на экологическое состояние водоема, где размещается хозяйство достаточно велико. При организации мониторинга необходимо выбрать наиболее информативные показатели, которые позволяли бы объективно оценить экологическую ситуацию. При этом количество показателей должно быть не велико, их определение - достаточно простым и не дорогим.

1.2. Объекты аквакультуры: Радужная форель и условия ее выращивания.

Наиболее распространённым объектом аквакультуры является форель радужная — *Oncorhynchus mykiss irideus* принадлежащая к семейству Лососевые — *Salmonidae*. Средняя длина форели 50 — 90 см, товарная масса обычно до 2 кг, реже 6 кг.

Товарное форелеводство успешно развивается во многих странах. В 1880 г. радужная форель завезена в Европу, а затем, примерно в 1895 г., в Россию.

Изначально форель обитала в условиях холодных и прозрачных пресноводных водоемов, но оказалось, что она хорошо растет и в обычных водоемах (как пресноводных, так и солоновато-водных и морских) с незагрязненной водой и достаточным содержанием кислорода. Форель довольна толерантна ко многим абиотическим факторам, но не к кислороду.

Радужная форель широко культивируется благодаря своим рыбоводным качествам: она хорошо приспосабливается к искусственным условиям содержания и усваивает искусственные корма, обладает высоким (по сравнению с другими лососевыми рыбами) темпом роста при значительной плотности посадки, что является результатом многолетней селекции и отбора. Потенция роста форели хорошо проявляется в первые три года жизни. В дальнейшем скорость роста замедляется. Собственно радужная форель составляла основу отечественного форелеводства

Оптимальная температура для развития ее икры составляет 6–12°C, для содержания личинок и мальков – 14–16°C, для взрослой форели – 14–18°C. Предельные температуры выживания в пресной воде колеблются в пределах 0,1–30°C. В соленой воде форель может выжить и при минусовой температуре воды (-0,5°). Оптимальная температура в соленой воде составляет от 8 до 20°C.

Взрослая радужная форель способна выносить океаническую соленость до 35‰. Рыба с товарной массой 250–500 г хорошо себя чувствует при 20–30‰.

Личинки выдерживают соленость 5–8‰, мальки-сеголетки – 12–18‰, годовики – 20–25‰. При пересадке в воду значительно большей солености форель желательно акклиматизировать. Пересадку форели из пресной воды в соленую рекомендуется проводить весной в марте-апреле и осенью в сентябре-ноябре. Выращивание сеголетков в море можно вести начиная с массы 5 г. Выращивание радужной форели в морской воде способствует усилению обмена веществ и ускорению темпа роста. В морской воде у форели благодаря осмотическим процессам лучше усваиваются жизненно необходимые ионы и микроэлементы, активизирующие деятельность ферментативной системы.

Нормальная жизнедеятельность форели протекает при 90–100% насыщения воды растворенным кислородом, т. е. при содержании его в количестве не менее 7–8 мг/л при оптимальной для форели температуре (14 – 18С°). Содержание кислорода в количестве 3,5–6 мг/л действует на форель угнетающе. При содержании кислорода 1,2–1,3 мг/л она погибает.

Активная реакция среды (рН) должна быть близкой к нейтральной и не выходить за пределы 6,5–8,5.

Форель не выносит яркого солнечного освещения, прячется в тень, под камни, коряги, уходит в глубокие места. Наиболее активна форель в пасмурные, облачные дни, в вечерние и утренние часы. Постоянно держится ближе к поверхности воды, так как наполнение плавательного пузыря воздухом у нее осуществляется только путем захвата его из атмосферы. Поэтому в замкнутых садках, целиком погруженных в воду, а также зимой в сплошь замерзающих водоемах она жить не может.

В первый год жизни масса радужной форели может достигать 10–1000 г, на второй год – 1,5 кг, на третий год – 1–2,5 кг. Темп роста тесно связан с температурой воды, степенью насыщения воды растворенным кислородом и полноценностью применяемых кормов. Наибольший рост отмечен при оптимальной температуре 16–18°С. [6, 7]

Для определения будущего расположения фермы с оптимальными гидрологическими и гидрохимическими условиями необходимо провести ряд исследований. В России комплекс таких исследований входит в рыбоводно-биологическое обоснование (РБО). По результатам РБО формируются рекомендации по мониторингу необходимых показателей в период эксплуатации фермы. Однако, основное внимание мониторинга уделяется товарному виду рыбы, а воздействие хозяйства на экологическое состояние водоема в большинстве случаев контролируется недостаточно. В данном комплексе мероприятий уделяется недостаточно внимания мониторингу состояния донных отложений, которые могут накапливать в себе загрязнения от деятельности аквакультурного хозяйства.

1.3. Оценка состояния водного объекта

Рыбоводно-биологическое обоснование (РБО) - это комплекс мероприятий, которые дают возможность получить данные о состоянии водного объекта (его участка), его ихтиофауны и на основании анализа собранной информации дать рекомендации по ведению хозяйственной деятельности.

Главная цель РБО - дать полную гидрохимическую, гидрологическую характеристику, выяснить оптимальную возможность использования водного объекта (его участка), показать хозяйственную и биологическую необходимость реализации рыбохозяйственных мероприятий и обеспечить полную безопасность для экосистемы [8].

После проведения РБО заказчик должен получить документ, определяющий характер и процедуру рыбоводной деятельности предприятия в условиях конкретного водного объекта, а также режим эксплуатации водоема или участка водоема с учетом экологической безопасности производства.

РБО включает в себя решение следующих задач:

- Оценка пригодности водного объекта для ведения на нем рыбоводной деятельности
- Определение биопродукционного потенциала акватории
- Нахождение свободных экологических ниш
- Подбор состава поликультуры рыб (при необходимости).
- Подбор рыбохозяйственной системы эксплуатации объекта
- Оценка целесообразности включения конкретного водоема в состав полифункционального хозяйства

В РБО проводится широкий комплекс исследований водоема, включающие натурное обследование и камеральные работы. Основные работы:

- Батиметрическая съемка. Эхолот с GPS или гидролокатор бокового обзора. Составление схематических карт глубин водного объекта. Определение площади, средней и максимальной глубины, объема воды, длины, ширины водоема
- По результатам вышеперечисленных работ составляется характеристика
- Исследования термохалийного и кислородного режима во все водной толще
- Изучение гидрохимического режима, состава воды, содержание биогенных элементов
- Определение видового состава и биомассы
- Ихтиологические и ихтиопатологические исследования современного состояния водного объекта и выдается заключение о:
 - Предпочтительном месте и объём выращивания
 - Пригодности водоема для использования в рыбохозяйственных целях;
 - Возможных направлениях использования водоема: - осуществление товарного рыбоводства (пастбищная аквакультура, промышленная аквакультура, прудовая аквакультура), осуществление любительского и спортивного рыболовства, рекреация и прочая деятельность;

- - объектах выращивания или зарыбления.

MOM (Modelling - Ongrowing fish farm – Monitoring)

В связи с активным развитием рыбоводства в Европе возникла необходимость в разработке стандарта для оценки влияния марикультуры на водную среду. На основе критериев качества прибрежных вод в 1997 г. в Норвегии был подготовлен национальный стандарт для мониторинга рыбных ферм, базирующийся на Modelling-Ongrowing fish Farms-Monitoring (MOM) system [9, 10].

Итогом разработок норвежских исследователей стала серия моделей, руководящих принципов, процессов мониторинга, и стандартов качества окружающей среды, ориентированных на выращивание лососей в холодноводных условиях [3].

В рамках программы мониторинга MOM изучается воздействие органических отходов морских рыбоводческих хозяйств. Она состоит из трех типов исследования возрастающей сложности и точности: А-исследование, В-исследование и С-исследование. Все три исследования должны производиться с частотой, пропорциональной степени воздействия садков на окружающую среду.

А-исследование — простое измерение скорости осаждения корма и продуктов метаболизма под садками

В-исследование — исследование донных отложений, мониторинг тенденций их состояния.

С-исследование — комплексное исследование структуры сообщества донной макрофауны.

Мониторинг экологического состояния необходим для любых водоемов, учитывая особенности батиметрии водообмена и гидрохимического режима. Для примера рассмотрим характеристики акватории, где уже существуют форелевые хозяйства.

2. Физико-географическое характеристика водных объектов (акваторий) размещения форелевых хозяйств в РФ

В качестве объектов сравнения и исследования были выбраны: Залив Донузлав, Северный Каспий, Двинской залив, Кольский залив, Малая Никоновская бухта. Во всех этих акваториях предполагается возможным или уже ведется выращивание форели.

2.1. Черное море. Залив Донузлав.

Озеро Донузлав расположено в северо-западной части Крымского полуострова и искусственно соединено с Черным морем в 1961 г. Оно вытянуто в северо-восточном направлении и занимает площадь около 48 км². На большей части преобладают глубины менее 4 – 5 м; в районе центральной котловины, проходящей вдоль озера, они достигают 12 – 20 м [11].

Гидродинамический режим и ледовые условия

Гидродинамический режим озера определяется его морфометрическими особенностями и ветровыми условиями. Господствующие ветра южной и северной четвертей, вызывающие в озере соответственно нагонные и сгонные явления, способствуют интенсивному водообмену с морем (Рисунок 2.1).

Каждый год в январе образуется лед, в суровые зимы достигающий толщины 40 см, но чаще ледяной покров очень тонок. Таяние льда происходит уже в феврале.

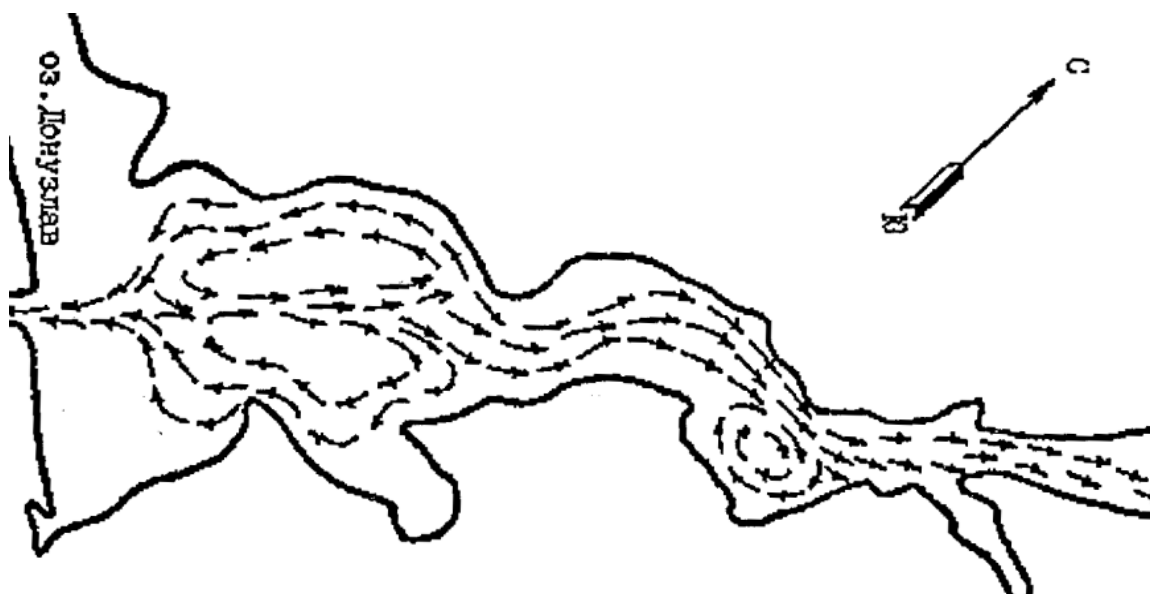


Рисунок 2.1 Схема установившихся течений в поверхностном слое залива Донузлав [12].

Температурный режим

Зимой на мелководье температура меняется от $-0.5 - 1.0$ °С у берегов до 7 °С в открытой части.

Летом температура повышается по всей площади до $22 - 25$ °С.

Вертикальное распределение температуры воды характеризуется наличием сезонного термоклина на глубинах $8 - 10$ м, который формируется раньше, чем в море, и более устойчив в летний период (Рисунок 2.2 и Рисунок 2.3).

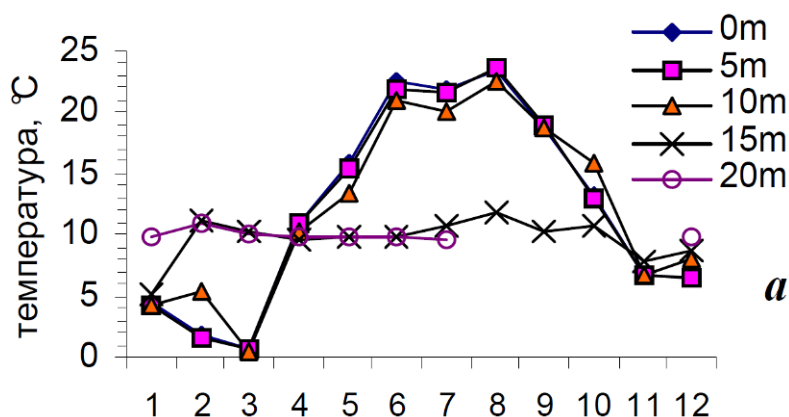


Рисунок 2.2 Температура воды на горизонтах в заливе Донузлав [13]

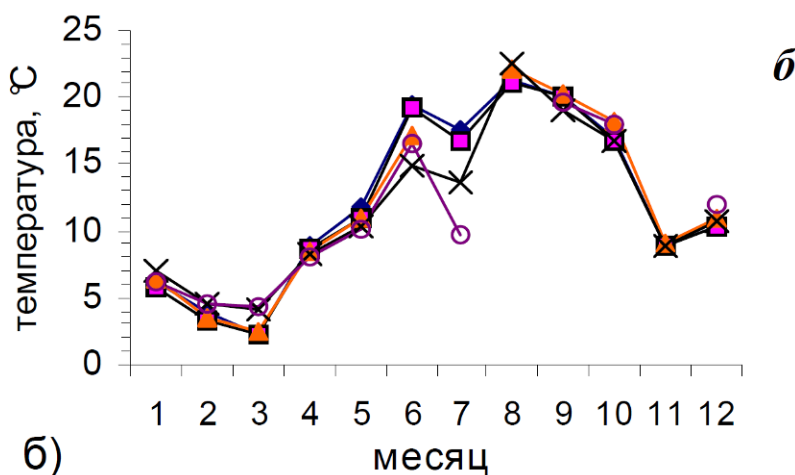


Рисунок 2.3 Температура воды на горизонтах на взморье Донузлава [13]

Соленость

Среднее значение солености равно 18,69 ‰, величина постоянна по глубине и не отличается от морской в данном районе [14]. Из-за невысокой солености в условиях Черного моря необходимость акклиматизации форели при её посадке не возникает.

Содержание растворенного кислорода

Воды насыщены кислородом. Фоновое содержание 9,72-10,79 мг/дм³

Активная реакция среды (pH)

Величина pH, за исключением короткого весеннего периода, в течение года не выходит за пределы величин 8,1-8,2, что характерно и для поверхностных вод Черного моря. В июле и августе отмечается повышение pH до 8,5 в верхних областях озера, связанное, очевидно, с притоком пресной воды из пресноводных участков, расположенных за дамбой [15].

Содержание биогенных веществ

Фоновое содержание аммоний-иона NH₄(+) в пересчете на азот составляет 0,036 мг/л, а нитрат-аниона NO₃(-) в пересчете на азот нитратов 0,008 мг/л. Эти величины значительно ниже соответствующих ПДК.

Фоновая концентрация фосфаты в пересчете на фосфор составляет 0,016 мг/л, что также не превышает ПДК.

В заливе Донузлав функционирует морская ферма, в которой производилось экспериментальное выращивание в садках радужной форели и пиленгаса. На специальных гидробиотехнических сооружениях – мидии. В настоящее время на акватории фермы общей площадью 150 га установлены линии для выращивания черноморской мидии и нескольких разновидностей тихоокеанской устрицы. Планируемая мощность фермы до 300 т мидий и 1-2 млн штук устриц в год. Также были определены четыре потенциально пригодных для осуществления аквакультуры участка акватории озера Донузлав общей площадью более 148 га.

2.2. Каспийское море. Северный Каспий.

Каспийское море расположено во внутренних районах Евразии и полностью изолировано от океана [16].

Гидродинамический режим и ледовые условия

Ветровое перемешивание протекает во все сезоны на обширных свободных от льда пространствах моря под воздействием интенсивных ветров, не затухающих даже летом.

Температурный режим

В зимний период температура поверхности моря изменяется с широтой (от 0° возле ледовой кромки до 10,0—10,7° в южной части моря), вертикальное распределение в мелководной северной части однородно.

В летнее время поле ТПМ относительно равномерно, температура воды изменяется в пределах 22—24° в северной части до 24—25° в Среднем Каспии, до 26 и вплоть до 27—28° в южных районах моря. На малых глубинах отмечается гомотермия во всем вертикальном столбе вод. В среднем и южном Каспии существует сезонный термоклин, наиболее ярко выраженный в августе (перепад температур от 25 до 6°).

Соленость

Соленость моря варьирует в пределах от 0,2—0,3 до 13,0—13,5‰

Содержание растворенного кислорода

Значения растворенного кислорода для моря довольно высоки. Его наибольшее содержание (8,5—9,5 иногда 10 мл/л) наблюдается зимой в северной части моря благодаря низкой температуре воды и интенсивному перемешиванию.

Активная реакция среды (рН)

Водородный показатель рН изменяется в пределах от 8,04 до 8,63, составляя в среднем 8,40.

Содержание биогенных веществ

Среднегодовая концентрация фосфатов в Северном Каспии изменяется в пределах от 4,5 до 6,6 мкг/л. Содержание общего фосфора в воде варьировалось от 0,0166 мг/л до 0,0628 мг/л, составляя в среднем 0,0337 мг/л.

Концентрация нитритов в воде составляет в среднем 0,00728 мг/л, нитратов – 0,021 мг/л, аммонийного азота – 0,0284 мг/л.

На Каспии высоко развито рыбное хозяйство, причем не только рыболовство, но и рыбоводство, за счет которого увеличивается выход товарной продукции наиболее ценных видов рыбы — осетровых.

2.3. Белое море. Двинской залив

Белое море – внутреннее море Северного Ледовитого океана, в северной части соединена с Баренцевым через проливы Горло и Воронка.

Гидродинамический режим и ледовые условия

Общий характер горизонтальной циркуляции вод моря — циклонический. Вдоль западных берегов в Белое море поступают солёные баренцевоморские воды, а вдоль восточных берегов моря опреснённые поверхностные воды Двинского залива продвигаются и поступают в Горло и далее на север. Скорость течений составляет 10–15 см/с, в Горле и проливах Восточная и

Западная Соловецкая Салма отмечаются значительные скорости приливных течений. При проектировании гидробиотехнических сооружений необходимо учитывать изменения приливного уровня, т. к. амплитуда приливных колебаний в Белом море составляет около 3 м и более. Акватория Белого моря ежегодно покрывается льдом. Обычно лед наблюдается с ноября по май [16].

Температурный режим

В летний период поверхностные воды заливов и центральной части моря прогреваются до 15–16°C, а в Онежском заливе и Горле не выше 9°C. Зимой температура поверхностных вод понижается до –1,3...–1,7°C в центре и на севере моря, а в заливах — до –0,5...–0,7°C. Горизонтальное распределение температуры воды на поверхности моря характеризуется большим разнообразием и значительной сезонной изменчивостью.

В вертикальной структуре вод отмечается формирование теплого промежуточного слоя, сезонный термоклин на горизонте около 20 м весной и до 30-40 м в летний период. Водная толща Горла имеет однородный профиль температуры вследствие перемешивания интенсивными приливными течениями.

Соленость

Средняя соленость вод моря составляет 29‰. Опреснение распространяется до глубины 10–20 м. Минимальные значения солености наблюдаются в заливах (около 10-12‰).

Содержание растворенного кислорода

По данным, полученным в 2013 г. содержание растворенного кислорода в июле, варьировалось в диапазоне 7,26-10,25 мг/л, составляя в среднем 9,14 мг/л.

Активная реакция среды (pH)

Среднее значение pH в летний период равно 8,59, в осенний период 7,93.

Содержание биогенных веществ

В водах Двинского залива в 2013 г. средняя и максимальная концентрация фосфатов составила 0,019 и 0,0758 мг/л. Содержание общего фосфора изменялось в пределах 0,0145-0,1 мг/л, составив в среднем 0,029 мг/л.

Максимальное и среднее содержание аммонийного азота составило 0,02 и 0,008 мг/л соответственно. Среднее содержание нитритов составило 0,004 мг/л; максимальная концентрация (0,013 мг/л) отмечена в октябре на глубине 9 м у Зимнего берега. Среднее и максимальное содержание нитратов равнялось 0,157 и 0,216 мг/л.

2.4. Баренцево море. Кольский залив.

Баренцево море располагается на Северо-Европейском шельфе и относится к типу материковых окраинных морей. Это одно из самых больших по размерам морей РФ. Его площадь равна 1 млн. 424 тыс. км², объем 316 тыс. км³, средняя глубина 222 м, максимальная глубина 600 м.

Гидродинамический режим и ледовые условия

Общая циркуляция вод Баренцева моря формируется под совокупным влиянием ветровой обстановки, притока вод из соседних бассейнов, приливов, рельефа дна и других факторов, поэтому она сложна и изменчива во времени.

В южной части моря высота приливов изменяется с запада на восток от 2 до 4 м, кроме того, колебания уровня могут быть вызваны штормовыми нагонами [17].

Температурный режим

В марте наблюдается годовой минимум температуры в Кольском заливе, температура поверхностного слоя понижается до 0,5 °С. Вертикальное выравнивание температуры заканчивается в апреле, когда на всем протяжении залива и на всех горизонтах ее значения не выходят за пределы 1,0–1,5 °С. С апреля по июль температура поверхностного слоя повышается до 11 °С [18, 19].

Соленость

Соленость на юго-западе составляет 35‰.

Содержание растворенного кислорода

Воды моря хорошо аэрированы. Содержание кислорода в толще воды по всей площади моря близко к насыщению и изменяется в пределах 8,35-13,36 мгО₂/л, в среднем 11,05 мгО₂/л. Максимальные величины в верхних 25 м в течение лета достигают 130%

Активная реакция среды (рН) [18].

Значения рН воды изменяются в пределах от 8,02 до 8,45

Содержание биогенных веществ [19].

В Кольском заливе по данным за 2000 – 2011 гг. преобладают нитратные формы азота, их количество колеблется в пределах от 0,2 до 0,4 мг/л. Нитриты присутствуют в воде в меньшем количестве, чем нитраты; их содержание редко больше 0,03 мг/л, чаще оно равно 0,003 мг/л. Аммонийный азот встречается в концентрациях не более 30,0 мкг/л, в прибрежье его содержание может возрастать до 200,0 мкг/л. Содержания фосфатов колеблется в диапазоне 11 – 66 мкг/л.

Незамерзающая акватория позволяет выращивать лососевых в течение 6 мес. Среднемесячная температура воды за сезон выращивания составляет 7-9 °С, соленость – 30-35‰. В отличие от Белого моря на Баренцевом море нет периода с оптимальной (14-16 °С) для форели температурой, но более длителен период с субоптимальной (10-12 °С) температурой воды [17].

2.5. Ладожское озеро

Ладожское озеро - одно из крупнейших озер в мире и крупнейшее озеро в Европе. Площадь зеркала составляет 17680 км², объем равен 980 км³.

В северной части озера береговая линия извилистая и образует множество небольших заливов и шхеры. Вблизи Северного побережья расположено

большое число островов, скальные архипелаги. Наиболее известным из них является Валаамский архипелаг

Наибольшая глубина озера составляет 228 м, а средняя глубина 51. Глубины более 100 метров характерны для северной части озера.

Среднегодовой уровень равен 475 см. Водосборный бассейн озера составляет 258600 км². Самые крупные притоки водосбора: Свирь, Вуокса и Волхов.

В зимний период средняя температура озера составляет 0...1,5°C. Прогрев озера начинается в весенний период. Сначала прогреваются прибрежные районы, в это время центральная часть все еще имеет низкие температуры, в результате чего возникает термический бар, который постепенно отходит от берегов и сужается к центру.

Разница температур внутри и снаружи термобара иногда достигает 20°C. Полный прогрев озера наступает к середине июля. В августе температура достигает 16°C. В прибрежных районах температура воды достигает 18°C [20].

2.6. Малая Никоновская бухта

Малая Никоновская бухта располагается в северо-западной части Валаамского архипелага. Исследованная часть Малой Никоновской бухты ограничена 61°22'37" широтой. Исследуемая протяженность залива составляет 570 метров, максимальная глубина 24 метра, береговая линия очень разнообразна. Встречаются скальные выступы, разного размера валуны, песок, иловый песок с камнями и глина.

Прибрежную зону (на глубине 0–5 м) можно разделить на несколько фаций по типу грунта и рельефа. Кутовая южная часть состоит в основном из илистого песка с редкими вкраплениями камней (Рисунок 2.6). Прибрежная зона центральной части бухты имеет значительный уклон и сложена скалой и

скальными обломками. Северная часть сложена скалами и валунами с переходами на песок.

В северной части с открытой Ладогой бухту соединяют три протоки. Левый берег западной протоки состоит из скал, а правый – из валунов. На дне протоки аккумулируется ил. Подводная и надводная часть берега северной и восточной проток сложены валунами. Дно восточной протоки сложено в основном илистым песком с редко встречающимися камнями, дно северной протоки – илом и илистым песком. Северная протока в наиболее глубокой части имеет глубину 14 м, западная – 10 м, восточная – 2 м. Средние глубины в Малой Никоновской бухте (5–10 м) занимает бурый ил. Ширина полосы ила изменяется от более 100 метров в северной части до 2 м – в кутовой (Рисунок 2.6).

Вся центральная котловина занята разными типами ила. С 10–20 м залегают «жидкие» илы. Это илы очень рыхлой консистенции, поверхность которых реагирует даже на слабое движение воды. Поверхность дна бухты в самой глубокой части (20–24 м) покрыта налетом предположительно бактериального происхождения.

Вследствие малой глубины проток и их узости водообмен с озером крайне ограничен, циркуляция определяется ветровыми условиями.

Температурный режим (Рисунок 2.4 и Рисунок 2.5)

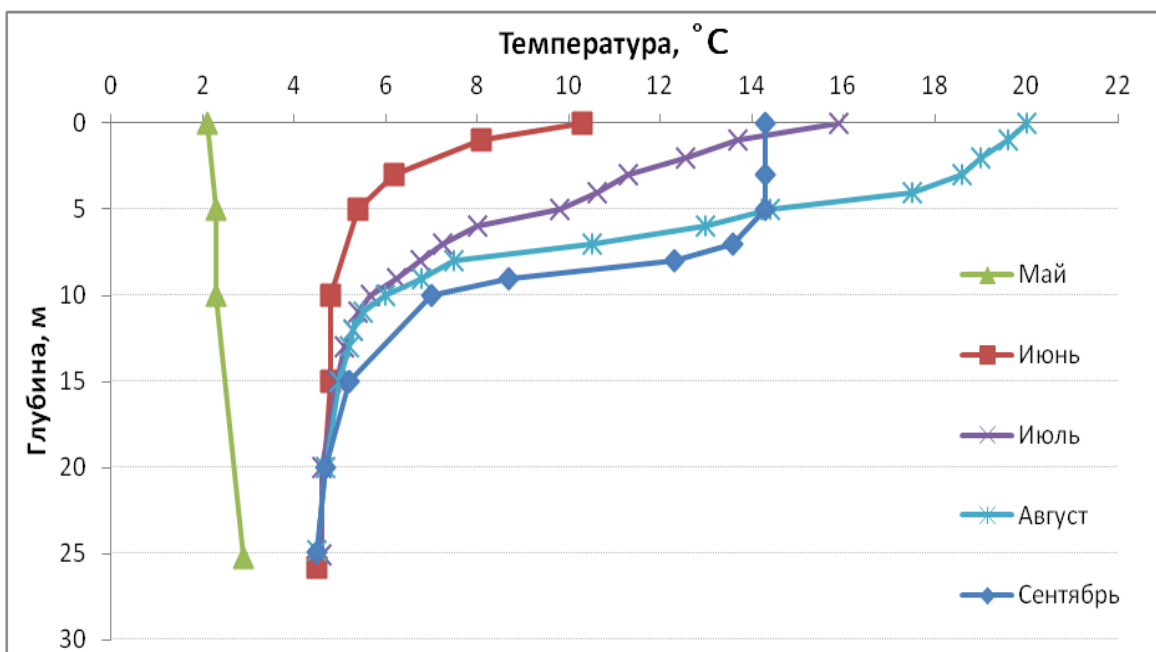


Рисунок 2.4 График температуры за 2013 год

С мая по сентябрь температура поверхности варьировала от 2°С в мае до 20°С в августе. В придонном слое температура менялась незначительно (3 – 4,5°С). В мае распределение температуры практически однородно. С началом весеннего прогрева отмечается формирование термоклина с постепенным заглублением до 10 м. Наиболее значительный перепад температуры между поверхностным и придонным слоем наблюдается в августе и составляет 15°С в слое от 0 до 10 м. В сентябре отмечается формирование квазиоднородного слоя до глубины 6 м, за которым идет резкий скачок температуры.

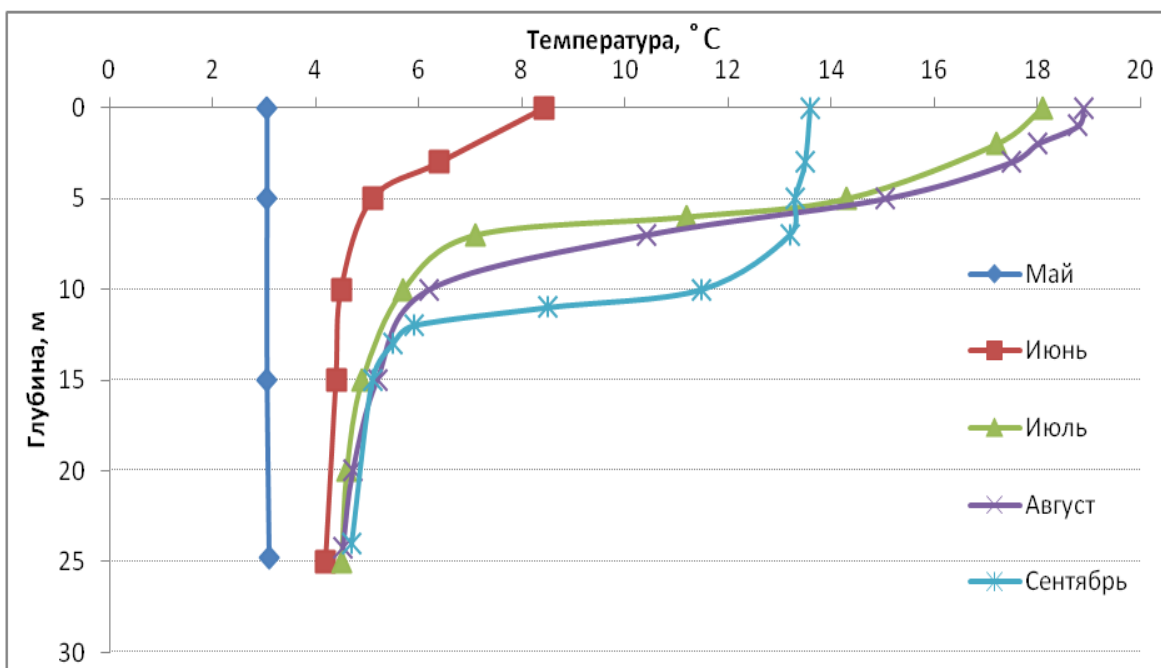


Рисунок 2.5 График температуры за 2015 год

Изменчивость вертикального распределения температуры за исследуемый период аналогично описанному выше в 2013 г. Температура толщи воды в мае составила 3°C, в августе T_w достигла 19°C на поверхности [21, 22].

Содержание растворенного кислорода

Содержание растворённого кислорода на поверхности варьирует от 7,6 мг/л до 14,4 мг/л, что создает благоприятные условия для содержания форели.

На дне минимальное содержание растворённого кислорода составляет от 1 мг/л до 14,4 мг/л. Пониженное содержание кислорода на дне наблюдается преимущественно в конце тёплого периода: конец августа – сентябрь.

Понижение содержания кислорода до 2 мг/л опасно тем, что вызывает массовую гибель рыб (замор). Процентное содержание растворённого кислорода на поверхности составляет от 61% - до 126%, и от 2,3%-110,5% на дне.

Активная реакция среды (рН)

Значения рН варьируют в пределах 6,8-8,1 на поверхности, среднее значение составляет 7,39. На дне значения варьируют в пределах 5,98 – 7,93. Малая Никоновская бухта относится к нейтрально-олигощелочным акваториям.

Содержание биогенных веществ

Концентрация аммонийного азота на поверхности составляет 0,401 мг/л, в придонном слое - 0,425 мг/л.

На поверхности содержание нитритов равно 0,015 мг/л, на дне 0,015 мг/л.

Содержание фосфатов на поверхности - 0,006 мг/л, на дне - 0,060 мг/л.

Значения прозрачности вод в исследуемой бухте довольно высокие, варьируют от 2 до 5 метров. Прозрачность воды поверхностного слоя определяет глубину проникновения света, который является основой фотосинтеза автотрофных организмов. По визуальным оценкам при водолазных исследованиях на 10 метровой глубине практически отсутствовал свет. [23]

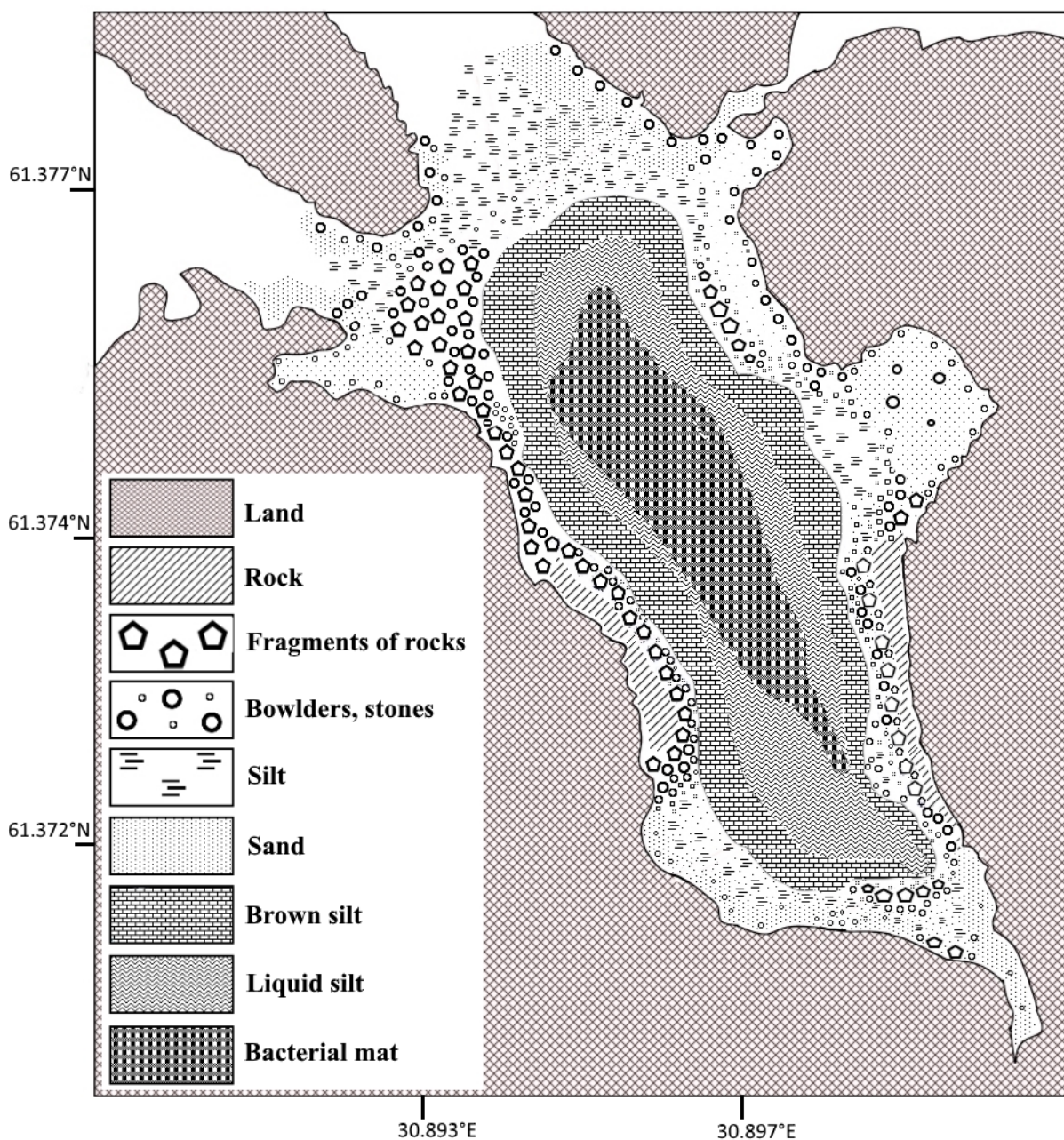


Рисунок 2.6 Описание рельефа и грунтов Малой Никоновской бухты [24]

Для западного берега характерен очень резкий и крутой свал, до глубины 25 метров. На этом же берегу располагается исследуемое форелевое хозяйство, принадлежащее Валаамскому монастырю.

Бухте Малая Никоновская присуще наибольшее из исследованных бухт и заливов видовое богатство и разнообразие макрофитов. Представители вида *Elodea canadensis* встречаются до глубины 10 метров, а отдельные водоросли рода *Nitella* – до 12 метров. Выявленные значения превышают известную

границу литорали в Ладожском озере (8.4 м). Прозрачность воды (видимость белого диска) в этой бухте летом 2013 г. изменялась в диапазоне от 2.5 м до 4.5 м, в 2014 от 2.7 до 4.4, а в 2015 году составляла 2.4–4.9 м. Таким образом, глубина граница зоны обитания крупных растений здесь составляет более чем 2 глубины максимальной летней прозрачности воды. (Рисунок 2.7).

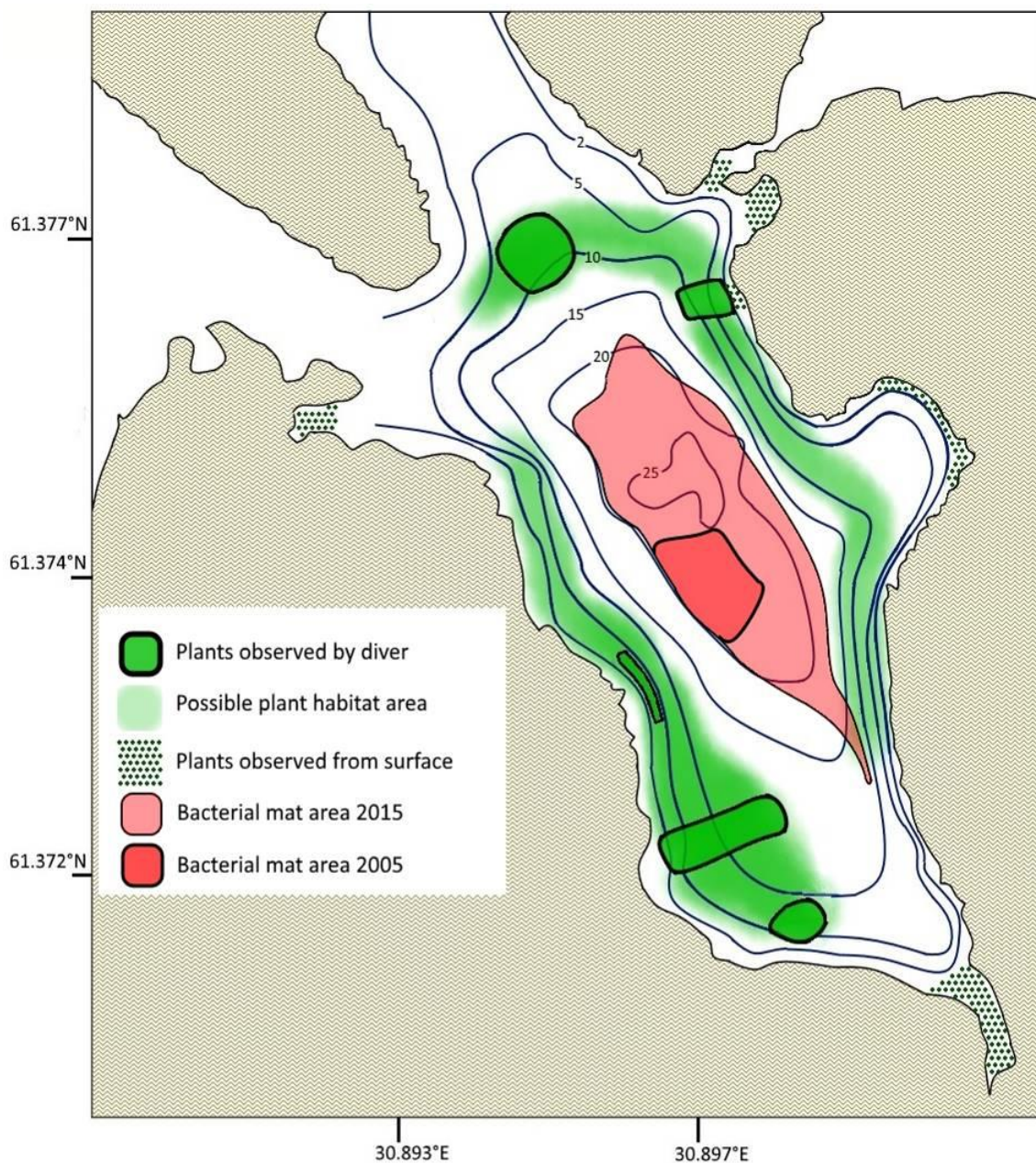


Рисунок 2.7 Бактериальный мат, изолинии глубины и растительные сообщества в малой Никоновской бухте [23]

Валаамское форелевое хозяйство. Хозяйство функционирует с 2002 г. На ферме осуществляется садковое разведение радужной форели. Средние значения мощности хозяйства 100 – 200 тонн рыбы в год.

Глубина протоки, соединяющей бухту с открытой частью Ладожского озера, невелика и составляет всего 9 м. Вследствие этого водообмен происходит, в основном, в пределах поверхностного слоя, который регулярно обновляется. В то же время горизонтальная циркуляция в придонном слое ограничена, и масштаб негативного влияния в придонном слое оставался долгое время неочевиден.

Обобщая вышесказанное, можно подчеркнуть, что в независимости от типа акватории (морская или пресноводная), при выращивании форели существуют риски возникновения негативного влияния хозяйств на экологическое состояние водоема. Для определения наиболее информативных и достаточных характеристик как для мониторинга в районах размещения как морских, так и пресноводных хозяйств, целесообразно сравнить возможности существующих подходов. В данной работе это было выполнено на примере садкового хозяйства, размещенного в Малой Никоновской бухте.

3. Материалы и методы

3.1. Исходные данные

Для Каспийского моря использовались данные по гидрохимическим показателям за 2013-2014 гг.

Значения гидрохимических параметров (содержание ионов аммония, нитратов и нитритов, фосфора, кислорода) были сопоставлены с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) этих веществ для рыбохозяйственных водоемов.

Выборка данных по гидрохимическим показателям Белого и Баренцева, осуществлялась из ежегодника Государственного Океанографического Института им. Н.Н. Зубова (ГОИН) «Качество морских вод по гидрохимическим показателям».

Данные по гидрологическим и гидрохимическим показателям за разные годы получены в результате исследований Малой Никоновской бухты сотрудниками УНС «Валаам» РГГМУ. Точка мониторинга располагалась над самой глубокой частью бухты.

Исследование рельефа МН бухты проводилось в 2005, 2014, 2015 и 2018 гг. по методу трансект Скарлато-Голикова. Отбор проб донных организмов проводился водолазным методом при помощи шприцевой системы. Автор принимал участие в водолазных работах, отборе проб бентосных организмов, составлении схем рельефа и батиметрии исследуемой бухты, Также в рамках мониторинговой части МОМ автором был осуществлен отбор проб на 4 станциях (Рисунок 3.1), выполнено описание органолептических параметров донного осадка, определены рН и ОВП водной среды, произведен первичный анализ проб на наличие бентосных организмов. Впервые для данной бухты

были получены снимки подводного рельефа и состояния дна под садками при помощи подводной буксируемой видео-системы.

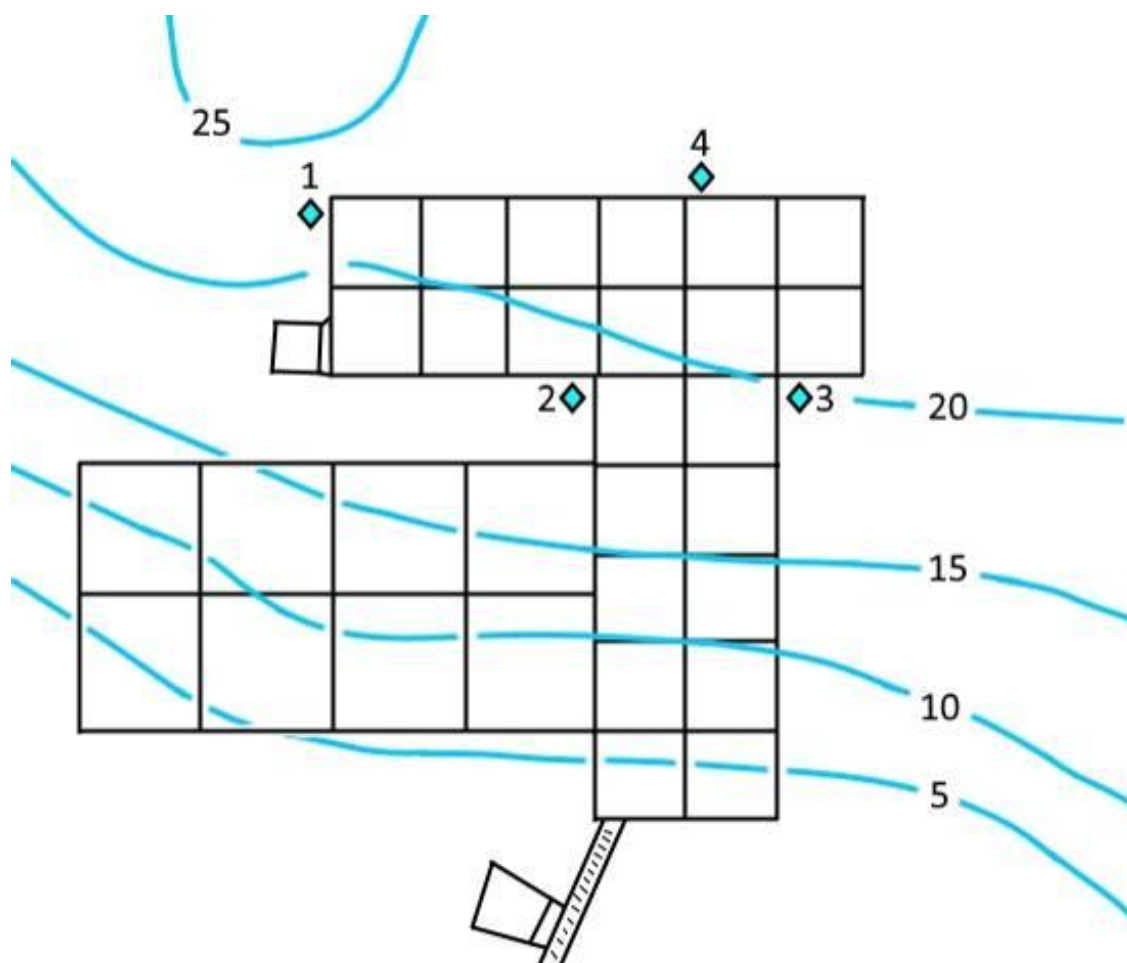


Рисунок 3.1 Станции отбора проб для MOM в районе основных используемых садков. Площадь одного маленького садка 25 м^2 , площадь большого 45 м^2

3.2. MOM мониторинг

3.2.1. А-исследование

Это исследование представляет собой измерение скорости осаждения органического материала под рыбоводческим хозяйством. Он позволяет получить оперативную информацию о нагрузке под сетками. Скорость оседания зависит от количества органических твердых отходов, а также от

течений и глубины и может значительно варьироваться в зависимости от стратегии кормления.

Скорость осадения измеряется путем развертывания двух седиментационных ловушек на высоте 2 м над дном на периферии садков, в которых либо содержится наибольшее количество рыбы и поступает наибольшее количество корма.

МОМ предполагает, что А-исследование производится самим рыбоводом [3].

3.2.2. В-исследование

В эту часть исследования входит мониторинг 3 групп параметров на сетке станций (Рисунок 3.2): макробентос, гидрохимические показатели и органолептические параметры. По результатам измерений каждой группы параметров на станциях дается балльная оценка, которая затем осредняется и присуждается одна из четырех категорий, характеризующих степень влияния садкового хозяйства на водоем. Чем выше категория, тем значительнее воздействие фермы.

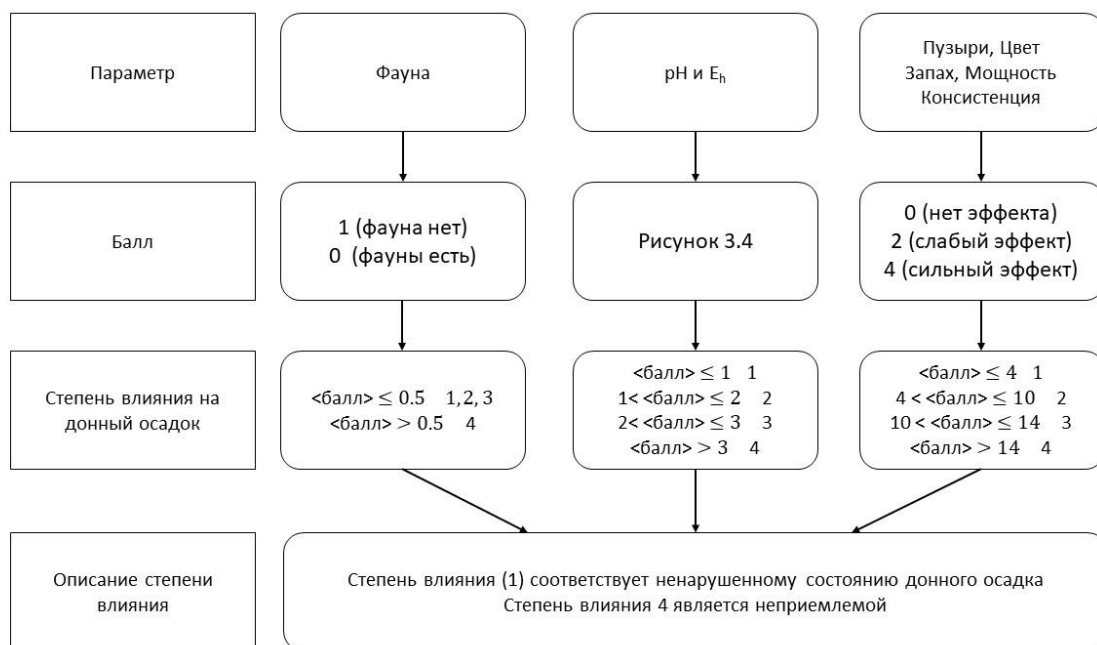


Рисунок 3.2 Блок схема оценки В-исследования [3].

В ходе В-исследования определяется, присутствуют ли на станции бентосные организмы. Для этого используется дночерпатель Экмана-Берджа с площадью захвата $1/40 \text{ м}^2$ (Рисунок 3.3). Дночерпатель опускается с лодки или с мостков у садков.

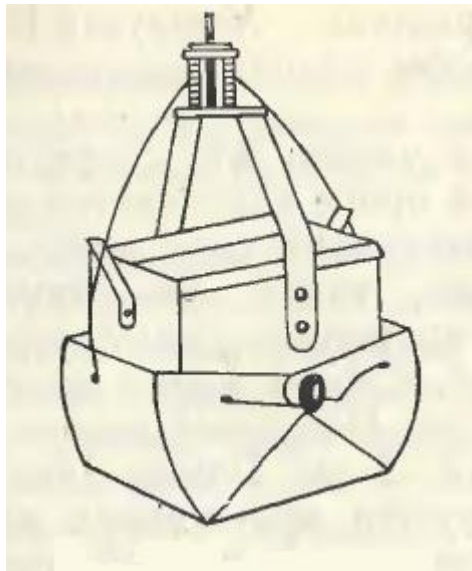


Рисунок 3.3 Дночерпатель Экмана-Берджа [3].

Отобранные пробы грунта промываются через сито с размером ячейки 1 мм, затем проводится визуальный анализ на наличие бентосной фауны. При необходимости пробы фиксируются раствором формалина и доставляются в лабораторию для более тщательного изучения с применением микроскопа. По этой группе параметров можно присуждать 0 б, если фауна присутствует, либо 1 балл в противном случае.

pH и E_h

Для измерения окислительно-восстановительного потенциала использовался ОВП-метр SanXin ORP-5041 (Рисунок 3.4)



Рисунок 3.4 ОВП-метр SanXin ORP-5041 [25]

Электрод ОВП-метра помещался в осадок сразу же после отбора пробы в дночерпателе на глубину 3-4 сантиметра.

Для измерения активной реакции среды (рН) из пробы дночерпателя снимался верхний слой осадка и доставлялся в лабораторию.

На основании оценки рН и E_h на каждой станции присваивается оценка в соответствии с зависимостью на Рисунок 3.5.

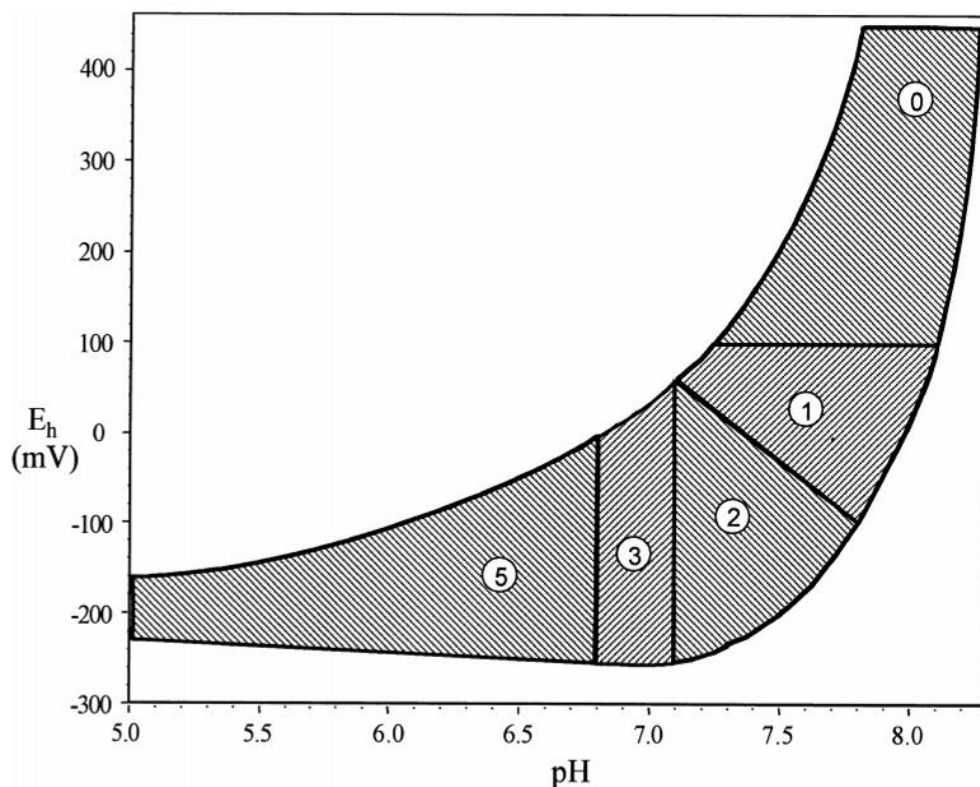


Рисунок 3.5 Оценка состояния грунта по рН и E_h [3].

Оценка 0 дается для хорошо аэрированной среды с низким содержанием органических веществ и благоприятными условиями для существования жизнеспособных бентических сообществ.

Оценка 2 часто характеризует среду с присутствием сероводорода, который дает низкие значения ОВП в придонной воде.

Оценка 5 представляет среду, содержащую метан в осадке и низкие значения рН.

Баллы 1 или 3 выделяются для переходных зон.

Органолептические параметры донных отложений изменяются в зависимости от содержания в них органического материала. При их оценке учитываются цвет отложений, запах и консистенция, образование пузырьков и толщина осадка, накопленного поверх исходных отложений. Параметры оцениваются по своим числовым шкалам. Чем больше органического вещества в осадке, тем более высокий балл присваивается по параметру.

Цвет отложений оценивается в 0 б., если он светлый, серый или коричневый, и 2, если он черный или коричневый из-за накопления органических веществ.

Каждому запаху и консистенции осадка присваиваются баллы 0, 2 или 4 в зависимости от степени воздействия на параметр содержания органического вещества.

Отсутствие пузырьков газа в осадке оценивается в 0 б., в противном случае выставляется оценка 4 б. Если пузырьки газа слишком малы, чтобы их можно было визуальным образом распознать, признаки образования метана можно косвенно оценить по величине рН.

Измеряется толщина накопленного осадка и присваивается оценка от 0 до 4. Максимальная оценка 4 б. выставляется, если осадок имеет толщину более 8 см.

Распределение баллов по отдельным параметрам может повлечь некоторую субъективность. Поэтому переменные не рассматриваются по отдельности, а оценки по всем параметрам органолептической группы суммируются и усредняются, чтобы не придавать слишком большого значения отдельным наблюдениям. Рассчитывается средний балл, и состояние осадка попадает в одну из четырех категорий (Рисунок 3.5). Средний балл близкий к нулю эквивалентен ненарушенному состоянию донного осадка, в то время как средний балл выше 14 характеризует состояние осадка как неприемлемое.

3.2.3. С-исследование. Бентосные сообщества по разрезу

Это исследование представляет собой исследование структуры сообщества бентоса водолазным методом вдоль трансекты (размеченного троса), проходящей от рыбоводческого хозяйства к районам осадконакопления. Бентосная фауна чувствительна к органической нагрузке. Исследование структуры бентических сообществ широко использовалось для оценки воздействия органических поступлений с рыбных ферм.

Под садками вдоль трансект производится отбор проб представителей бентосных сообществ. Затем квалифицированный гидробиолог определяет видовой состав организмов в пробах. По результатам рассчитываются индексы биологического разнообразия донных сообществ (Таблица 3.1).

Индексы биологического Разнообразия.

Индекс Шеннона, адаптированный Робертом Макартуром, определяется по формуле

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

где p_i – число особей вида в выборке.

Индекс Хульберта

$$E(S_n) = \sum_i \left[1 - \frac{\frac{n}{N} N_i}{n} \right] \quad (2)$$

Индекс отражает ожидаемое количество видов в выборке из n особей, выбранных случайным образом из области, содержащей N особей, S видов и N_i особи в i-м виде.

Таблица 3.1 Оценка биологического разнообразия

Параметры	Состояние				
	(I) Очень хорошее	(II) Хорошее	(III) Приемлемое	(IV) Плохое	(V) Очень плохое
Индекс Хульберта ($E_{sn} = 100$)	> 26	26 - 18	18 - 11	11 - 6	< 6
Индекс Шеннона (H)	> 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	< 1

3.3. Водолазный метод Скарлато-Голикова

Описание зоны под форелевым хозяйством выполнялось по методу трансект Скарлато-Голикова [26]. и с учетом методик, разработанных отделом ландшафтоведения института ДВО РАН [27, 28]. и скалистых условий Валаама [23]. Размеченная -трансекта располагается от берега таким образом, чтобы охватить область под садками и на удалении от них на 10 – 20 м. Водолазы-исследователи двигаются вдоль трансекты и записывают на видео изменения рельефа, грунтов, растительных и животных сообществ (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 Описание грунта по трансекте

Все исследования сопровождались фото- и видеофиксацией. Собранные фото- и видеоматериалы позволяли проверить и уточнить описанные типы ландшафта и проконсультироваться со специалистами-геологами.

На основе данных о рельефе и грунте, растительных и донных сообществах, полученных с трансект, строятся профили бухты.

Координаты крайних точек трансекты фиксировались навигатором Garmin. Данные по глубине получены с помощью подводных водолазных компьютеров.

Растительные сообщества определялись специалистами на месте, а при необходимости доставлялись в лабораторию. Для анализа донных сообществ и состава грунта для мягких грунтов использовались водолазные дночерпатели. Для анализа донных сообществ и характера грунта смешанных и твердых грунтов использовались учетная рамка площадью 20x20 см и водолазный пробоотборник-шприц.

3.4. Подводная видеосистема

Все отборы проб для В-исследования сопровождались видео-съемками. Съемки в точках отбора проб дночерпателем дают дополнительную информацию о состоянии дна и свидетельствуют о том, что грунт в дночерпателе характерен для всей зоны под садками, а не только для окрестности точки отбора.

Видеосъемка донной поверхности может производиться подводной буксируемой видеосистемой.

Видеокамера закрепляется на металлической раме, которая позволяет устанавливать конструкцию на дно без взмучивания (Рисунок 3.7). Видеоизображение транслируется на поверхность в режиме реального времени (Рисунок 3.8).



Рисунок 3.7 Буксируемая видеосистема (автор Лапенков А.Е.)

На рисунке представлен процесс сбора данных видеосистемой. С ее помощью можно вести съемки как с мостков садков, так и при буксировке на лодке.

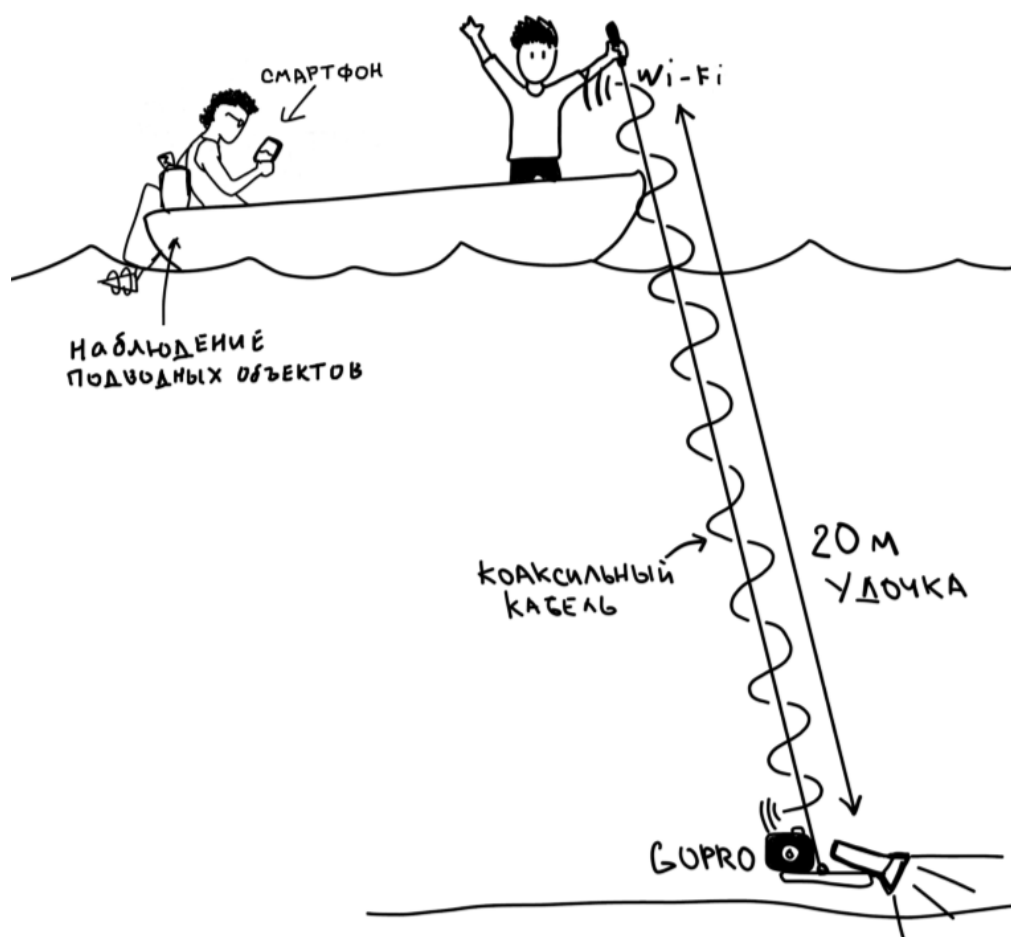


Рисунок 3.8 Схема работы подводной видеосистемы

3.5. Методика определения биогенной нагрузки.

Чтобы определить количество азота и фосфора, выходящего во фракциях несъеденного корма и в фекалиях, были использованы видоизмененные уравнения баланса масс [29]:

$$UM = TF \times K \quad (3) \text{ где}$$

UM – масса N или P, поступающих с несъеденным кормом; F – общий объем внесенного в систему корма; K – содержание каждого компонента в корме, %.

$$EM = TF \times K \times E \quad (4) \text{ где}$$

EM – масса N или P, поступающих со съеденным кормом. E – содержание каждого компонента в фекалиях, %;

$$TМ = UМ + EМ$$

(5) где

TМ – общая масса N или P, поступающих с кормом.

3.6. Определения содержания органических веществ

Методы определения содержания органических веществ

Стандарт (ГОСТ 23740-2016 Грунты [30].) распространяется на органические, органоминеральные и минеральные (песчаные и глинистые) грунты и устанавливает методы лабораторного определения содержания органических веществ при исследовании этих грунтов (Таблица 3.2).

Для проведения испытания необходимо пробу грунта в воздушно-сухом состоянии подготовить путем растирания в фарфоровой ступке пестиком (Рисунок 3.9).

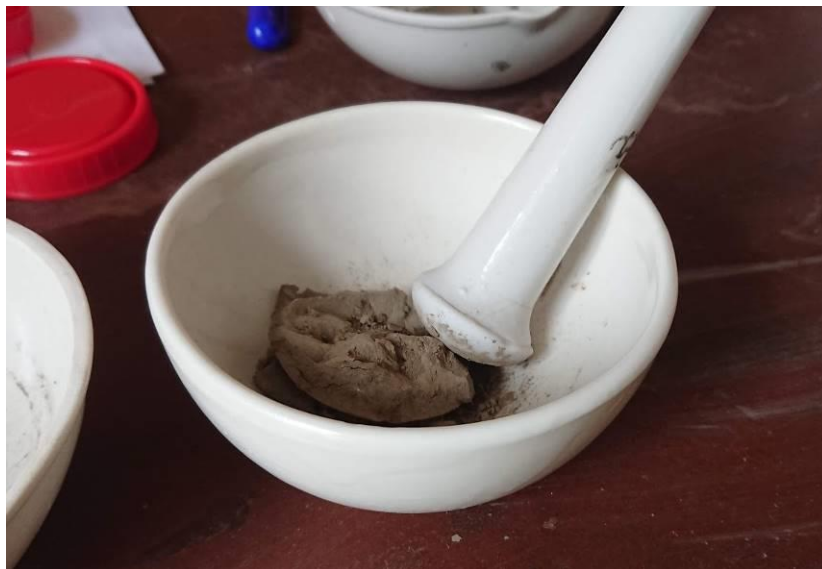


Рисунок 3.9 Растирание пробы в фарфоровой ступке пестиком (автор Лапенков А.Е.)

Погрешность взвешивания проб должна быть не более 0,01 г при определении количества растительных остатков и не более 0,001 г при определении содержания органического вещества.

Относительное содержание органического вещества грунтов, в процентах, вычисляют по формуле

$$l_r = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \quad (6)$$

l_r - относительное содержание органического вещества, %;

m - масса сухого грунта, г;

m_1 - масса грунта после прокаливании, г.

Таблица 3.2 Относительное содержание органического вещества в грунте в зависимости от цвета

Окраска сухого грунта	l_r , %;
Очень черная или темно-коричневая	10-15
Черная или коричневая	7-10
Темно-серая	4-7
Серая	2-4
Светло-серая	1-2
Белесая	Менее 1

4. Результаты исследования.

4.1. Результаты А-исследования MOM в Малой Никоновской бухте

В ходе проведения водолазного осмотра форелевого хозяйства в Малой Никоновской бухте Валаамского архипелага были сделаны следующие наблюдения.

В период наблюдений корм в садке с крупной форелью потреблялся практически полностью. Небольшие потери корма зафиксированы лишь через боковые стороны садка, где он вытесняется рыбой еще в поверхностном слое воды. До середины глубины садка доходит незначительное количество корма, т.к. он почти весь потребляется в приповерхностном слое до глубины 2–3 м. Также практически полное потребление корма подтверждается его отсутствием в ловушке для осадков, установленной непосредственно под сетью садка на расстоянии около 10 см. В ловушке обнаружен только помет.

Количественные оценки, полученные с седиментационных ловушек в данной работе, не приводятся, так как эти наблюдения выполнялись лишь однократно и не репрезентативны [31].

4.2. Результаты В-исследования MOM

На 4 станциях по периметру садков были выполнены измерения трех групп параметров по программе В-исследования MOM (Таблица 4.1). Садки расположены на склоне вблизи котловины, глубина в местах отбора проб варьировала в пределах от 17,5 до 20 м.

Таблица 4.1 Результаты В-исследования MOM

Станция	Глубина	Фауна	eH	pH	Пузыри	Цвет	Запах	Мощность осадка	Консистенция
1	19	нет	-98		Нет	Черно-серый	Слабый запах сероводорода	1-2 см.	Супесь
2	20	есть	-103,5	6,88	Нет	Черно-серый с вкраплениями коричневого	Слабый запах сероводорода	1-2 см.	Супесь с вкраплениями (возможно, корм)
3	17,5	есть	-87,3	6,73	Нет	Черно-серый, с незначительными коричневого	Слабый запах сероводорода	1-2 см.	Супесь
4	19	нет	-86	6,91	Нет	Черно-серый	Слабый запах сероводорода	1-2 см.	Супесь

4.2.1. Наличие макробентоса

На станциях 2 и 3 в отобранных пробах были обнаружены представители донной фауны, на станциях 1 и 4 живых организмов обнаружено не было. Средний балл для территории под садковым хозяйством по наличию фауны составил 0,5.

В ходе водолазных работ на илистом грунте центральной части котловины Малой Никоновской бухты отмечено небольшое количество видов кольчатых червей - олигохет.

Основные обнаруженные виды: *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Potamothrix hammoniensis* и молодь олигохет семейства Tubificidae

4.2.2. E_h и pH

E_h и pH воды был определен на трех станциях. Среднее значение pH составило 6,84, для E_h среднее значение -93,7. Результаты определения этих параметров были нанесены на кривую для определения количества баллов по данной группе параметров (Рисунок 4.1)

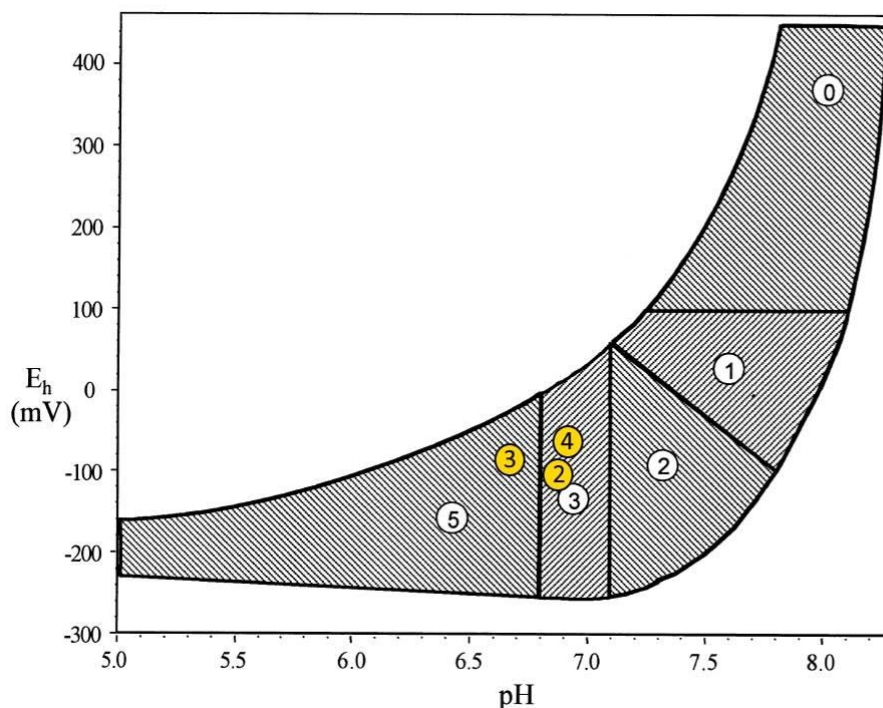


Рисунок 4.1 Полученные значения E_h и pH (значения в кружках) совмещенные с диаграммой оценок состояния грунта по МОМ

Таким образом, по 2 и 4 станции было выставлено 3 балла, по станции 3 было выставлено 5 баллов. Средний балл для территории хозяйства составил 3,66.

Фоновое значение рН для поверхности в Малой Никоновской бухте равно 7,4. Среднее значение рН у дна составляет 6,9. Таким образом, измеренные в ходе данного исследования рН донного осадка незначительно ниже, чем рН придонных вод.

4.3. Органолептические параметры

4.3.1. Цвет

Цвет осадка варьировался от светлых до темных цветов, в зависимости от расстояния от садков. Предположительно осадок приобрел коричневый цвет вследствие накопления несъеденного корма (Рисунок 4.2). Средний балл для хозяйства составил 1,5



Рисунок 4.2 Проба донного осадка на станции 2. (автор Лапенков А.Е.)

4.3.2. Запах

В весенний период во время отбора проб для исследования по методике MOM для донного осадка на всех станциях был выявлен очень слабый запах сероводорода. Средний балл для хозяйства по данному параметру составил 2 б.

В летний время при водолазных работах отмечалось, что грунт имеет сильный запах сероводорода и рыбы. Водолазы, работавшие под садками, отмечали, что стойкий запах имели не только пробы осадка, но даже водолазные перчатки, запах на которых сохранялся в течение недели.

4.3.3. Консистенция осадка

Грунт под садками представляет собой супесь с различным количеством вкраплений кормовых гранул. Средний балл для хозяйства составил 1,5 б.

В ходе водолазного обследования было обнаружено, что котловина бухты занята илами различной плотности. Выделено 3 типа: коричневый ил, жидкий ил и бактериальный мат.

4.3.4. Газ, пузыри

В осадках природных водоемов встречаются такие газы, как метан, углекислый газ и сероводород.

Наличие газа в осадке в данном исследовании определялось при анализе видеоматериалов, собранных в ходе водолазных погружений или съемки подводной видеосистемой.

При видеосъемке в весенний период и отборе проб для исследования по методике MOM на полученных кадрах и в отобранном грунте пузырей замечено не было. Была выставлена оценка 0 б.

Однако, в осенние месяцы при подводной видеосъемке над отдельными местами донной поверхности были обнаружены пузыри, выходящие из донного осадка.

4.3.5. Толщина осадка на вершине исходного грунта

Толщину осадка поверх исходного грунта, не отбирая прозрачные керны оценить затруднительно. Приблизительно мощность осадка составляет 1-2 см. По этому пункту было выставлено 2 б.

4.4. Расчет нагрузки от форелевого хозяйства в открытой части Ладожского побережья

Для сравнения степени воздействия действующего форелевого хозяйства на акваторию с аналогичным по мощности хозяйством (100 тонн продукции в год), которое потенциально может быть размещено в открытой прибрежной части Ладожского озера, был выполнен расчет нагрузки поступающих биогенных веществ от такой фермы. Рассчитан годовой производственный цикл форелевого хозяйства (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 Годовой производственный цикл форелевого хозяйства.

Месяц	масса рыбы, г.	кол-во рыбы, шт.	прирост биомассы, кг.	потребность корма, кг.	Несъеденный корм, кг.
январь	7,13	238277	1007,18	1007,18	10,07
февраль	10,87	233404	909,71	909,71	9,10
март	15,00	228008	1007,18	1007,18	10,07
апрель	22,57	218152	1743,13	1743,13	17,43
май	38,46	205185	3438,55	3438,55	34,39
июнь	61,54	196163	4811,37	4811,37	48,11
июль	101,43	181835	7825,34	7825,34	78,25
август	195,59	172753	16797,88	16797,88	167,98
сентябрь	327,94	171222	22972,50	22972,50	229,73
октябрь	464,71	169639	23738,25	23738,25	237,38
ноябрь	790,57	167475	55298,71	55298,71	552,99
декабрь	1200,00	165000	69288,82	69288,82	692,89

На основе рассчитанных значений массы несъеденного корма, оценок массы фекалий рыб и процентного содержания в них азота и фосфора, были рассчитаны массы Р и N, поступающих в водную среду в результате эксплуатации форелевого хозяйства (Таблица 4.3).

Таблица 4.3 Массы Р и N, поступающих в водную среду.

масса Р с несъеденным кормом	масса N с несъеденным кормом	масса Р с фекалиями	масса N с фекалиями	Масса Р, кг	Масса N, кг
0,11	0,85	5,98	9,97	6,09	10,83
0,10	0,77	5,40	9,01	5,50	9,78
0,11	0,85	5,98	9,97	6,09	10,83
0,19	1,48	10,35	17,26	10,55	18,74
0,38	2,92	20,42	34,04	20,80	36,96
0,53	4,08	28,58	47,63	29,11	51,71
0,86	6,64	46,48	77,47	47,34	84,11
1,85	14,24	99,78	166,30	101,63	180,54
2,53	19,48	136,46	227,43	138,98	246,91
2,61	20,13	141,01	235,01	143,62	255,14
6,08	46,89	328,47	547,46	334,56	594,35
7,62	58,76	411,58	685,96	419,20	744,72

По данным таблицы построен график внутригодичного распределения величины нагрузок N и P на водную среду при выращивании одного поколения от посадочного материала до товарной форели (Рисунок 4.3).

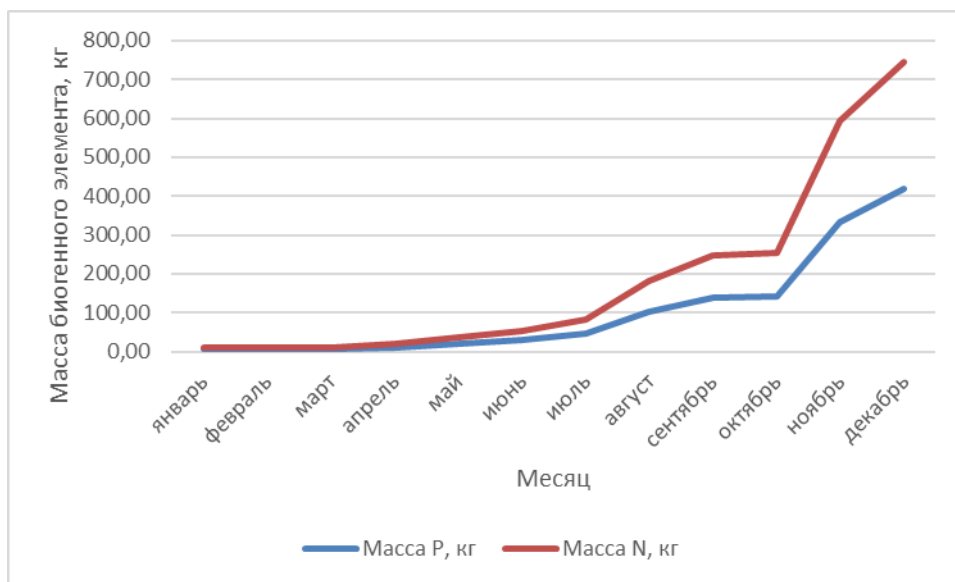


Рисунок 4.3 График внутригодового распределения величины нагрузок N и P

С увеличением массы рыбы в течение года масса дополнительно вносимого в водную среду азота возрастает до 750 кг/мес, а фосфора – до 425 кг/мес.

На основе теории дрейфовых течений Экмана [32].. по среднемноголетним скоростям ветра были получены средние скорости поверхностных течений и значения интегральных потоков для каждого месяца. Определена степень проточности места как объем промываемого участка (V_c) (Таблица 4.4). После этого вычислены ожидаемые концентрации минеральных форм азота и фосфора по фоновой концентрации данных элементов и величине их дополнительного поступления от форелевого хозяйства (Таблица 4.5). В таблице приведены следующие параметры W – скорость ветра u ; v – составляющие скорости течения по осям x и y ; V – модуль скорости на поверхности; глубина трения, в пределах которой течение затухает – D ; полный поток – S .

Таблица 4.4 Средние скорости поверхностных течений и значения интегральных потоков для каждого месяца

Месяц	W, м/с	u, м/с	v, м/с	V, м/с	D, м	S, м ² /с	Vс, м ³
1	4,874	0,015	0,015	0,021	39,274	0,186	18900825,9
2	4,776	0,014	0,014	0,020	39,274	0,178	18143801,4
3	4,311	0,012	0,012	0,016	39,274	0,145	14785014,1
4	4,881	0,015	0,015	0,021	39,274	0,186	18950289,3
5	3,562	0,008	0,008	0,011	39,274	0,099	10090802,6
6	2,544	0,004	0,004	0,006	39,274	0,051	5147971,0
7	3,234	0,007	0,007	0,009	39,274	0,082	8318441,7
8	2,481	0,004	0,004	0,005	39,274	0,048	4897092,6
9	3,096	0,006	0,006	0,008	39,274	0,075	7623054,9
10	3,713	0,009	0,009	0,012	39,274	0,108	10963713,0
11	3,728	0,009	0,009	0,012	39,274	0,109	11053670,9
12	5,701	0,020	0,020	0,029	39,274	0,254	25854733,4

Таблица 4.5 Ожидаемые концентрации минеральных форм азота и фосфора

Ожидаемая концентрация P, мг/л	Ожидаемая концентрация N, мг/л
0,011	0,335
0,011	0,335
0,011	0,335
0,012	0,335
0,013	0,338
0,017	0,344
0,017	0,344
0,032	0,370
0,029	0,366
0,024	0,357
0,041	0,386
0,027	0,362

Анализ полученных результатов и сравнение с рыбохозяйственными ПДК для соответствующих элементов показывает, что ожидаемые концентрации фосфора и азота при эксплуатации форелевого хозяйства в

открытой части Ладожского озера теоретически не должны превысить предельно допустимые.

4.5. Органика в грунтах

Для определения процентного содержания органики в грунте была выполнена оценка потерь массы вещества при прокаливании. Пробы, полученные на четырех станции под форелевыми садками, сравнивались с контрольной станцией в подобной бухте, в которой разведение форели не ведется (Таблица 4.6). Под садками органического материала в осадке выявлено больше (2 – 4,5 %), чем в осадке контрольной бухты (1,2%). В целом для Ладоги характерно содержание органики в пределах 1 – 2 % массы грунта, в самых загрязнённых районах озера величина может достигать 20%. [20].

Таблица 4.6 Таблица относительного содержания органического вещества в Малой Никоновской бухте.

Станция	Масса сухого грунта, г	Масса грунта после прокаливании, г	Относительное содержание органического вещества, %
Контрольная	7,3197	7,231	1,2118
1	6,8284	6,5454	4,1445
3	5,947	5,6755	4,5653
2	6,1401	5,9063	3,8078
4	6,7268	6,5894	2,0426

4.5.1. Обобщение В-исследования, итоговая оценка

Состояние окружающей среды на участке выражается путем перевода среднего балла по параметру в В-исследовании в одну из четырех категорий (Таблица 4.7). Категориям 1, 2, 3 соответствует приемлемое состояние донных отложений. Четвертая категория свидетельствует о воздействии,

неприемлемом для окружающей среды. При расхождении оценок по группам E_h и рН и органолептическим параметрам приоритет при выставлении итоговой оценки отдается E_h и рН.

Таблица 4.7 Классификация состояния донных осадков по результатам В-исследования

Группа	Средний балл	Категория
1. Фауна	0,5	Подходит для 1,2 и 3
2. E_h и рН	3,67	4
3. Органолептические параметры	7	2

Оценка по параметрам групп 1 и 3 характеризует состояние донных отложений в пределах приемлемого. Однако, по результатам определения E_h и рН, при количестве баллов более трех, состояние донных осадков относят к четвертой категории, характеризующей крайне негативное воздействие форелевого хозяйства на водную среду. Тем не менее, окончательный вывод об экологическом состоянии бухты делать пока недостаточно корректно, так как требуется более длительная серия наблюдений. Возможно, неоднозначность результатов по МОМ связана с отбором проб в весенний период при достаточно низких температурах воды, когда метаболизм рыб замедлен, поступление органики в водную среду сокращено. В осенний и летний периоды результаты водолазных обследований и видеосъемок демонстрировали большее загрязнение донной поверхности. Отмечалось наличие пузырей в осадке, запах сероводорода был сильнее, а мощность осадка составляла порядка 8 сантиметров.

4.6. Результаты С-исследования

В МОМ для оценки видового разнообразия бентосного сообщества применяются индексы Шеннона и Хульберта $ESn100$. Рассчитанные для Малой Никоновской бухты индексы в соответствии с классификацией МОМ показывают, что на всех станциях отбора проб разнообразие можно определить как «хорошее» «плохое» и «приемлемое». Для озерных котловин низкое видовое разнообразие является нормой.

Обнаружено 85 видов, среди которых, к удивлению, встречается реликтовая фауна ракообразных Ладожского озера. Как правило, эти животные не встречаются в области, подверженной органическому загрязнению. Тем не менее, на литорали Малой Никоновской бухты встречается *Gmelinoides fasciatus Stebbing*. От нижней части литорали и до центральной части котловины встречаются *Pallaseopsis quadrispinosa*. На илах широко распространены *Mysis relicta Loven* и также встречаются *Monoporeia affinis* (Рисунок 4.4).

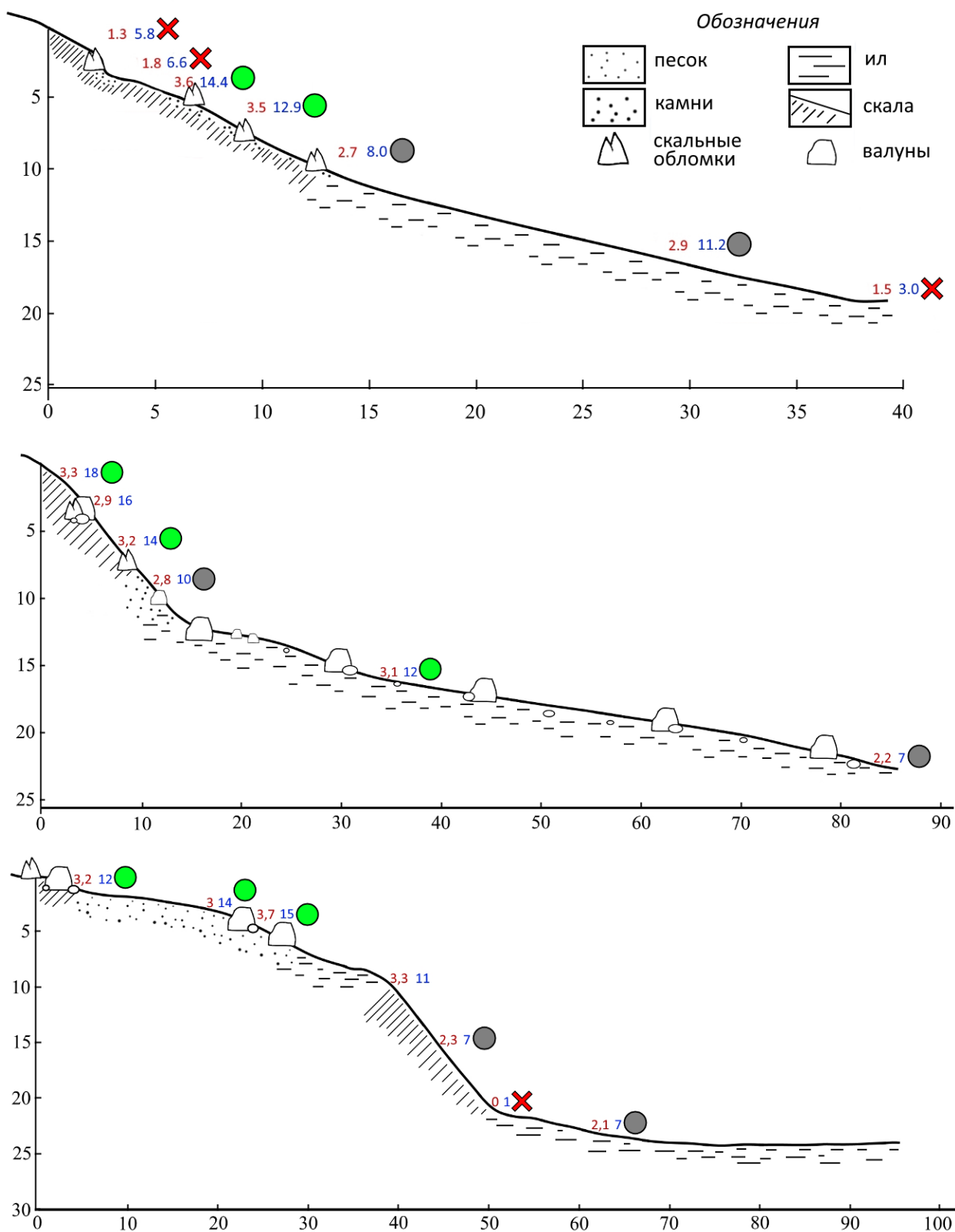


Рисунок 4.4 Бентосные сообщества на разрезах. (зеленый круг – хорошее состояние, серый – приемлемое, красный крест – плохое. Красная цифра – индекс Шеннона, Синяя цифра – индекс Хульберта)

По результатам анализа индексов разнообразия можно заключить, что деятельность садкового хозяйства очевидным образом не нарушает структуру бентосных сообществ в пределах литорали (до 8 м) и на всем прибрежном свале. Значительное снижение количества видов и обилия макрозообентоса на илах характерно для профундальной зоны многих озер. При этом наличие в этой зоне реликтовых ракообразных указывает на умеренную степень негативного воздействия.

4.7. Сравнение характеристик водных объектов размещения форелевых хозяйств РФ

Мониторинг абиотических параметров крайне важен для выращивания товарной форели, так как от качества воды в конечном итоге зависит качество рыбы [33]. Далее приведены значения ключевых абиотических параметров, по которым необходимо вести регулярные наблюдения при выращивании форели (Таблица 4.8, Таблица 4.9 и Таблица 4.10).

Таблица 4.8 Таблица гидрохимических параметров

Вещество	ПДК, мг/дм ³	Фоновое содержание в Черном море, мг/дм ³	Содержание в северной части Каспийского моря, мг/дм ³ , 2013 г	Содержание в Белое море, Двинский залив, мг/дм ³ , 2013 г	Содержание в Баренцево море, Кольский залив, мг/дм ³ 2000 - 2011 гг.	Фоновое содержание в Ладожском озере, мг/дм ³
Аммоний-ион NH ₄ (+)	0.4	0.014	0.0341	0,008	0,03	0,01 - 0,025
Нитрат-анион NO ₃ (-)	9	0.0039	0.0025	0,157	0,3	0,06 - 0,3
Нитрит-анион NO ₂ (-)	0,02	0.0035	0.00069	0,004	0,003	0,009
Фосфаты	0.05 - олиготроф.	0.06	0.0224	0,029	0,011 - 0,066	0,011
	0.15 - мезотроф.					
Кислород	Не меньше 6	8,9	6,57	9,14	11,05	7,4 - 12,0

Таблица 4.9 Гидрохимические параметры

Вещество	ПДК, мг/дм ³	Фоновое содержание в Донузлав, мг/дм ³	Содержание в Малой Никоновской, мг/дм ³ 21.07.2015		Содержание в Малой Никоновской, мг/дм ³ 12.08.2015	
			0 м.	Дно	0 м.	Дно
Аммоний-ион NH ₄ (+)	0.4	0,036	0,65	0,374	0,271	0,269
Нитрат-анион NO ₃ (-)	9	0,008				
Нитрит-анион NO ₂ (-)	0,02	0,045	0,033	0,031	0,023	0,024
Фосфаты	0.05 - олиготроф.	0,016	0,031	0,028	0,016	0,075
	0.15 - мезотроф.					
Кислород	Не меньше 6	9,72-10,79	9,58	8,29	9,02	3,87

Таблица 4.10 Температура поверхности и соленость

Параметр		Черное море, Залив Донузлав	Каспийское море северная часть	Белое море Двинский залив	Баренцево море, южная часть	Ладожское озеро	Малая Никоновская бухта
Температура поверхности, °С	зима	0,5 ... 7,0	0 ... 10	-1,3 ... -1,7	0 ... 5	0 ... 1,5	0 ... 1,5
	лето	22 ... 25	22 ... 26	9 ... 16	8 ... 9	9 ... 18	10 ... 18
Соленость, ‰		18,69	0,2 ... 13,5	10 ... 29	35	0	0

Несмотря на разнообразие гидрохимических и термических условий, в рассмотренных морских и пресных водоемах возможно успешное содержание и товарное выращивание форели в садках благодаря значительной пластичности этого вида, широкому диапазону оптимальных температуры и солености. Представленные характеристики водных объектов хорошо иллюстрируют широкий спектр условий, в которых может успешно осуществляться выращивание радужной форели.

Во всех перечисленных водных объектах содержание биогенных веществ не превышает ПДК, а достаточно высокая концентрация растворенного кислорода является благоприятным фактором при культивировании радужной форели.

Проблемой для экологического состояния водоема и культивируемых гидробионтов может стать скопление органических веществ в донных отложениях естественных углублений. Ситуацию может усугубить низкая проточность водоема. Поэтому перед установкой садков необходимо выполнить подробную батиметрическую съемку для определения зон накопления. На основе этих данных можно спланировать точки видеомониторинга, в которых будет отслеживаться накопление органики, образование бактериального мата, возникновение пузырей сероводорода.

4.8.Видео-система

Видеосистема и водолазные осмотры смогли обнаружить главную особенность, возникшую на дне и не определенную в ходе исследования МОМ - бактериальный мат (Рисунок 4.5). Вероятнее всего, его образование связано с морфометрией бухты. Садки располагаются вблизи котловины и самой глубокой точки бухты. Протоки, соединяющие бухту с открытой Ладогой намного мельче, что ведет к накоплению и застою органического вещества в котловине.

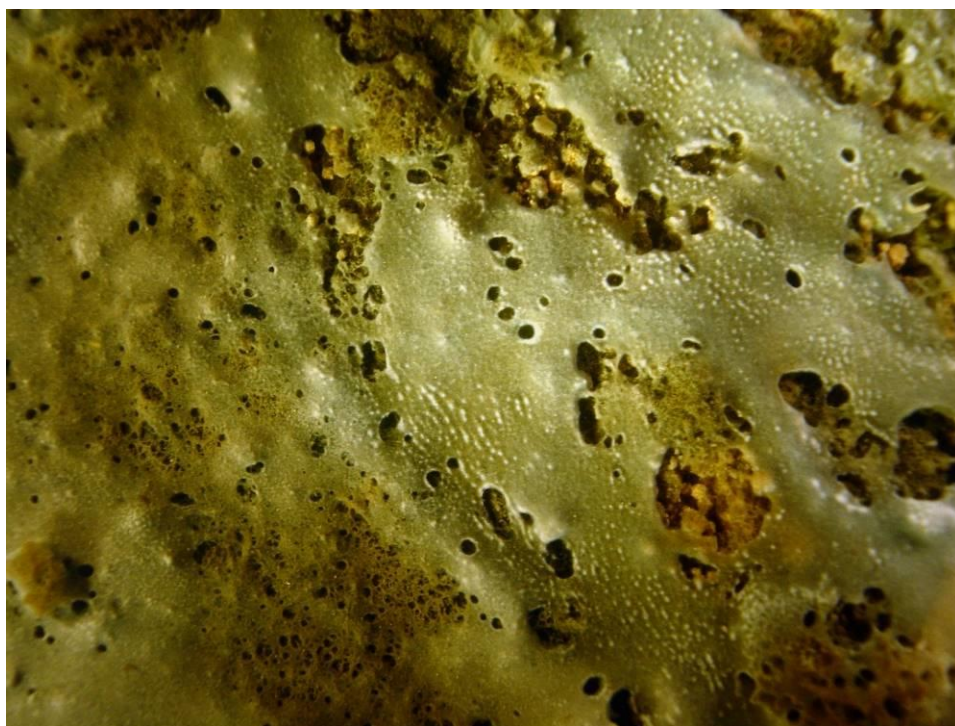


Рисунок 4.5 Бактериальный мат на грунте под садками. (автор Зуев Ю.А.)

Бактериальный налет занимал площадь непосредственно под садками на глубине 24–26 м (Рисунок 2.7). В ходе исследований в течение года, благодаря использованию видеометодов была выявлена сезонная изменчивость бактериального мата (Рисунок 4.6). На рисунках можно видеть, что его оттенки меняются в разные времена года.

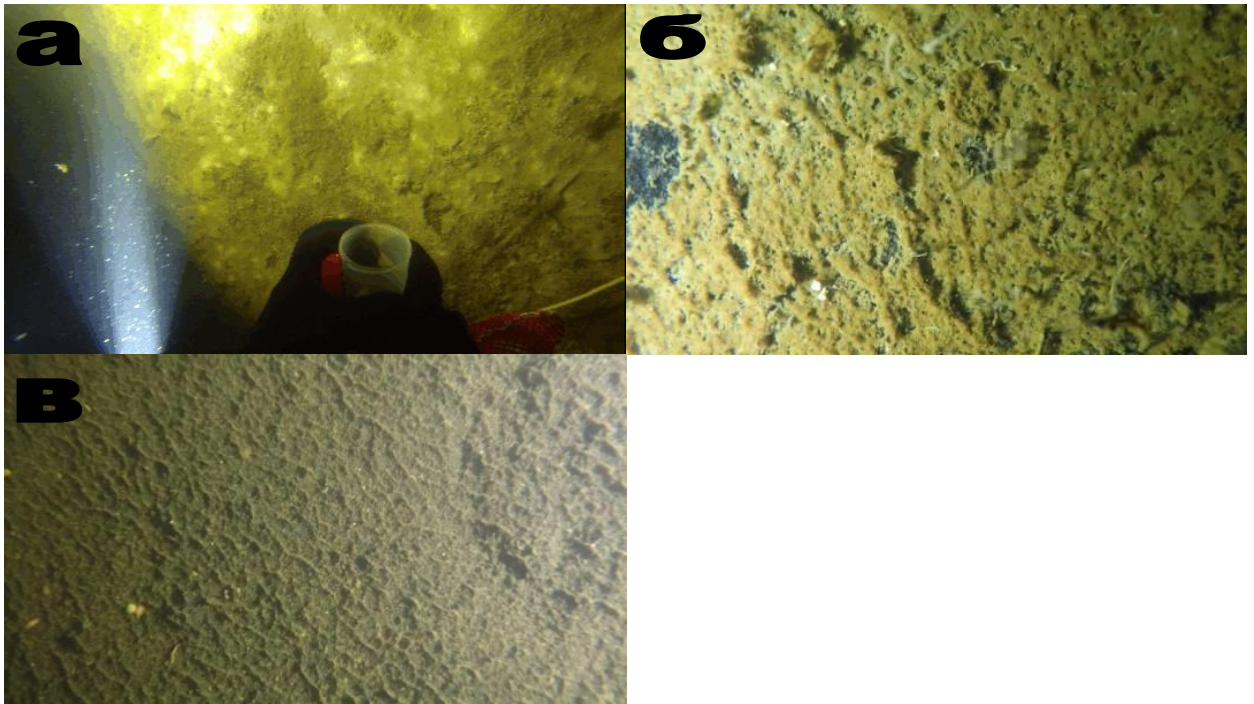


Рисунок 4.6 Бактериальный мат летом (а), весной (б), зимой (в). (автор Лапенков А. Е.)

Таким образом, подводная видеосъемка в составе комплекса методик МОМ может служить недорогим и простым в применении средством для оперативной оценки состояния водоема при эксплуатации рыбной фермы. Особенно такие исследования актуальны в условиях сложной морфометрии и наличия подводных котловин в районе садков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2018 и 2019 году было проведено подробное исследование Малой Никоновской бухты. Были получены схемы подводных ландшафтов, данные по гидрохимическим параметрам, исследованы бентосные сообщества, определено содержание органического вещества в грунте, собраны видеоданные, отражающие состояние донной поверхности, в глубоководной части бухты обнаружен бактериальный мат.

В завершении работы перечислим основные результаты исследования:

а) произведено сравнение ключевых абиотических параметров водных объектов в широком спектре климатических условий, в которых предполагаются или уже имеются форелеводческие хозяйства. Показано что на риск возникновения негативного влияния хозяйств на водоемы влияют: малый водообмен, недостаточный учет батиметрии при размещении хозяйств, и неучет самоочищающей способности акваторий;

б) изложены подходы к изучению влияния форелевого хозяйства на прибрежные акваторий. Так наиболее широким распространением в ЕС сейчас пользуется методика MOM, изначально разработанная для морских акваторий. Выполненное исследование показало возможность ее использования и для условий ультрапресного олиготрофного водоема;

в) результаты мониторинга по программе MOM для Малой Никоновской бухты позволили получить первичное представление о поступлении органического вещества на дно акватории (А-исследование), двойственную ситуацию по соотношению результатов определения параметров E_h и рН, органолептических показателей и характеристик фауны (В-исследование). Состояние бухты в зоне размещения хозяйства можно

оценить как «находящееся под угрозой». Предварительные оценки на данном этапе показывают негативное влияние форелевого хозяйства на донные отложения, увеличение рисков возможного сероводородного заражения грунтов и придонных вод. В то же время фауна и органолептические параметры показывают, что самая крайняя стадия еще не наступила, и в бухте идут процессы самоочищения. Это же подтвердилось и в ходе С-исследования, не выявившего значительного негативного воздействия на бентосные сообщества и реликтовую фауну. Индексы разнообразия показывают ненарушенность структуры бентосных сообществ в прибрежной зоне и на склоне, а наличие реликтовых ракообразных на дне указывает на общую умеренность негативного воздействия;

г) для оценки влияния форелевого хозяйства проведено видео-исследование. Использование подводной видеосистемы позволило обнаружить в котловине Малой Никоновской бухты бактериальный мат, определить площадь его распространения и выявить его сезонную изменчивость.

Это позволяет рекомендовать видео-съемку как необходимый элемент усовершенствования МОМ, особенно при расположении форелевых хозяйств в районе с подводными углублениями. Также желательно проведение регулярных видеосъемок поверхности дна для отслеживания появления пузырьков газа в осадке, в случае если рН придонных вод составляет менее 7,1.

Методика МОМ, дополненная видео-исследованием, может быть рекомендована для использования при оценке экологического состояния как морских, так и пресных (и ультрапресных) водоемов при размещении форелевых или иных аквакультурных хозяйств. К числу достоинств данной методики следуют отнести учет малого числа ключевых гидрохимических характеристик (рН, Eh, содержание растворенного кислорода и содержание сероводорода), для определения которых, в настоящее время существует

значительный выбор портативных приборов, простых в обслуживании и доступных по цене.

Для форелевого хозяйства в Малой Никоновской бухте желательно продолжить мониторинг донных отложений, т. к. даже визуальные наблюдения позволяют выявить влияние рыбопроизводного хозяйства на слагающие дно осадки. Также необходимо проведение комплексных гидрологических исследований по оценке водообмена для определения самоочищающей способности акватории. Продолжение функционирования хозяйства на прежнем месте нежелательно, поскольку накопление такого значительного количества органического вещества в полужакрытой Малой Никоновской бухте может привести к заморным явлениям и значительному ухудшению качества рыбной продукции. Необходимо перенести ферму на открытый участок с более проточной водой.

Результаты данной работы опубликованы в сборнике материалов международной конференции EMECS 11 - SEA COASTS XXVI [23], а также в 5 сборниках тезисов научных конференций [24, 34, 35, 36, 37].

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шилин М. Б. Голубев Д. И., Алексеев А. П., Бугров Л. Ю., Иванов М. В., Хаймина О. В. Прибрежная Аквакультура [Текст] / ред. Карлин Л. Н. - Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет (Санкт-Петербург), 2009.
2. Методические указания по гидрохимическим исследованиям проб из рыбохозяйственных водоемов [Текст] Минсельхоз СССР, 1977,
3. Hansen P. K. et al. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling–Ongrowing fish farms–Monitoring) [Текст] //Aquaculture. – 2001. – Т. 194. – №. 1-2. – С. 75-92.
4. Рыбаки Карелии за 2018 год [Электронный ресурс]. - 18 январь 2019 г.. - 20 май 2019 г.. - <http://rk.karelia.ru/ekonomika/production/rybaki-karelii-za-2018-god-vylovili-bolee-88-tysyach-tonn-bioresursov/>.
5. Марикультура в России [Электронный ресурс] // GEOLIKE.RU. - 10 май 2019 г.. - http://geolike.ru/page/gl_3443.htm.
6. Форель радужная [Электронный ресурс] // Аквакультура России. - ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 2019 г.. - 25 апрель 2019 г.. - <http://aquacultura.org/objects/>
7. Григорьев С.С. Седова Н.А. Индустриальное Рыбоводство [Текст]. - Петропавловск-Камчатский : [б.н.], 2008. - Т. 1.
8. «ВНИИПРХ» ФГБНУ Рыбоводно-биологическое обоснование. Проведение исследований и выдача заключений [Электронный ресурс] // Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»). - 29 апрель 2019 г.. - <http://www.vniiprh.ru/rybovodno-biologicheskoe-obosnovanie-provedenie-issledovaniy-i-vydacha-zaklyucheniya-0>.

9. Ervik, A., Hansen, P.K., Aure, J., Stigebrandt, J., Johannessen, P., Jahnsen, T., 1997. Regulating the local environmental impact of extensive marine fish farming: I. The concept of MOM Modelling–Ongrowing fish farms–Monitoring [Текст] . Aquaculture 158, 85–94.
10. Hansen, P., Ervik, K., Aure, A., Johannessen, J., Jahnsen, P., Stigebrandt, T., Schaanning, A., 1997. MOM. Concept and Revised Edition of Monitoring Programme [Текст] 1997, Fisker og Havet 7. Institute of Marine Research, Bergen, Norway, 51 pp.
11. Зуев Г. В. Болтачев, А. Р. Влияние подводной добычи песка на экосистему лимана донузлав [Журнал]. - Севастополь : Экология моря, 1999 г.. - 48. - стр. 5-9.
12. Иванов В. А. Фомин В. В. Математическое моделирование динамических процессов в зоне моря - суша [Текст]. - Севастополь : [б.н.], 2008.
13. Юркова И.Ю. Сезонная изменчивость термохалинной структуры вод озера Лонузлав [Книга]. - Севастополь : Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2005.
14. Ковригина Н. П. Немировский, М. С. Гидрохимическая характеристика вод озера Лонузлав по данным 1990-1997 гг. [Текст]. - Севастополь : Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999 г.. - 48.
15. Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна: Материалы II Международной конференции [Текст] г. Керчь, ЮгНИРО. — Керчь: Изд-во ЮгНИРО, 2006. — 104 с.
16. Коршенко, А.Н. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 [Текст]/А.Н. Коршенко. – Обнинск:Артифекс, 2016
17. Дженюк С.Л., Савельева С.П. Гидрофизические характеристики [Текст] //Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты, 1997. С. 51–59.

18. Боголицын К.Г. Комплексная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет - 2012» [текст]. - Архангельск : [б.н.], 2012.
19. Овчинникова С. И. Широкая Т. А., Пашкина О. И. Основные тенденции изменения гидрохимических показателей водной экосистемы Кольского залива (2000-2011 годы) [текст] // Вестник Мурманского государственного технического университета. - Мурманск : [б.н.], 2012 г.. - 3 : Т. 15.
20. Ладога [текст] / ред. . В.А.Румянцева С.А. Кондратьева. - Санкт-Петербург : Российская Академия Наук Институт озероведения, 2013.
21. Зуева Н.В. Зуев Ю.А., Воякина Е.Ю., Бабин А.В., Куличенко А.Ю. Степанова А.Б Международная Конференция «Пресноводные Экосистемы – Современные Вызовы» [Конференция] // Влияние форелевого хозяйства на лимнологические характеристики бухты валаамского архипелага (Оз. Ладожское). - Иркутск : [б.н.], 2018.
22. Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас / под ред. А.Б. Степановой. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 44 с.
23. Lapenkov Artem Zuyev Yury, Zuyeva Nadezhda EMECS 11 - SEA COASTS XXVI. Joint Conference. Managing Risks To Coastal Regions And Communities In A Changing World [Текст] // The Landscape Investigations As Necessary Part Of Biological Study In The Coastal Zone. - Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет (Санкт-Петербург), 2016. - стр. 249.
24. Лапенков А.Е. Ландшафтная съемка как необходимый элемент при исследовании донных сообществ в Ладожском Озере [Текст] // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы V Междунар. науч. конф., Минск – Нарочь / Сост. и общ. ред. Т.М. Михеевой. – Мн.: БГУ, 2016. – 448 с. – С. 229-231

- 25.ОВП-метр SanXin ORP-5041 [Электронный ресурс] // МоемГород. - 20 апрель 2019 г.. - <https://moemgorod.com/product/sanxin-5041-orp-pocket-tester/>.
- 26.Голиков А.Н., Скарлато О.А., 1965. Гидробиологические исследования в заливе Посьет с применением водолазной техники // Исследования фауны морей СССР [Текст], 3(9). С.5-21.
- 27.Арзамасцев И.С., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука, 1990; 224 с.
- 28.Преображенский Б. В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения (Управление морскими экосистемами) [Текст]. Владивосток: Дальнаука, 2001. 352 с.
- 29.Шилин, М.Б. Полярная аквакультура [Текст]: учеб. для вузов. / М.Б. Шилин, О.Л. Саранчова. – СПб: РГГМУ, 2005.
- 30.ГОСТ 23740-2016 Грунты. Методы определения содержания органических веществ Санкт-Петербург ООО "Геологический центр СПбГУ. 2017
- 31.Зуев Ю. А., Зуева Н. В. Опыт водолазного осмотра форелевого хозяйства //Рыбоводство и рыбное хозяйство [Текст]. – 2013. – №. 10. – С. 17-25.
- 32.Жуков, Л.А. Общая океанология [Текст]. – Л. Гидрометеиздат, 1976
- 33.FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture [Текст] - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 2018
- 34.Лапенков А.Е., Зуев Ю.А. Водолазные исследования подводного ландшафта на примере бухт Валаамского архипелага. // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Севастополь, 22-26 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]. – Севастополь: ФГБУН МГИ. – Режим доступа: http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html, свободный.

- 35.Лапенков А. Е., Зуев Ю. А. Методы оценки воздействия садковых ферм на состояние прибрежных акваторий //Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. – 2019. – С. 807-808.
- 36.Зуев Ю. А., Зуева Н. В., Лапенков А. Е. Макрозообентос заливов Валаамского архипелага //Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика). Ма. – 2016. – С. 22.
- 37.Лапенков А. Е., Зуев Ю. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ БУХТ И ЗАЛИВОВ ОСТРОВА ВАЛААМ (НА ПРИМЕРЕ БУХТЫ ЗАЛИВА КРЕСТОВЫЙ) //Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2016. – №. 1. – С. 52-53.