



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра Геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Магистерская диссертация

**На тему: Биоиндикаторная оценка состояния намывных территорий
Невской губы**

Исполнитель

Калиничев Даниэль Валерьевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« » июня 2022 г.

Санкт-Петербург

Оглавление

Введение*Error! Bookmark not defined.*

Глава 1 Описание объекта исследования **8**

1.1 Основные источники материалов и данных **8**

1.2 Физико-географические особенности Невской губы **10**

1.2.1 Географические границы 10

1.2.2 Экологическая система реки Невы и ее эстуария 13

1.2.3 Общая характеристика эстуария реки Невы 14

1.2.4 Флора и фауна Невской губы 15

1.3 Экологические процессы, протекающие в Невской губе **16**

1.3.1 Антропогенное воздействие на биологические сообщества 16

1.3.2 Намывные территории Невской губы 16

Глава 2 Оценка экологического состояния Невской губы методами биоиндикации **20**

2.1 Используемые данные и материалы **20**

2.1.1 Отбор проб 21

2.1.2 Выявление класса качества воды в водоеме с использованием биотического индекса Вудивисса
..... 24

2.1.3 Индекс Гуднайта и Уитлея 25

2.2 Методы исследования **26**

2.3 Термины и определения **28**

2.4 Биоиндикация окружающей среды **30**

2.5 Задачи и приемы биотестирования **30**

2.5.1 Биоэлектронные системы ранней диагностики и предупреждения угроз водным экосистемам 31

2.5.2 Волоконно-оптический метод регистрации кардиоактивности бентосных беспозвоночных и анализ характеристик сердечного ритма в реальном времени.....	32
--	----

Глава 3 Результаты оценки экологического состояния Невской губы по гидробиологическим показателям36

3.1 Описание этапов исследования 36

3.2 Характеристика точек исследования. 40

3.2.1 Жемчужный пляж (1)..... 40

3.2.3 Дудергофский канал (3)45

3.2.4 Балтийский бульвар (4) 48

3.2.5 Устье реки Красненькая (5) 49

3.3 Вывод о состоянии намывных территорий Невской губы51

Глава 4 Практические рекомендации по организации и совершенствованию системы экологического мониторинга Невской губы с использованием биоиндикационного подхода..... 53

4.1. Общие принципы использования биоиндикаторов53

4.1.1 Особенности использования растений в качестве биоиндикаторов54

4.1.2 Особенности использования животных в качестве биоиндикаторов 57

4.1.3 Особенности использования микроорганизмов в качестве биоиндикаторов.....58

4.2 Требования к методам биотестирования..... 60

4.2.1 Место биотестирования в системе экологического мониторинга61

4.2.2 Тест – объекты, используемые для биотестирования 62

4.3 Методика биотестирования 62

Заключение.....Error! Bookmark not defined.

Список использованной литературы.....67

ВВЕДЕНИЕ

С первых лет существования Санкт-Петербурга, Невская губа была исключительно важной для города водным объектом в политическом, экономическом, геостратегическом плане. В каком-то смысле, даже в эстетическом. С каждым годом для петербуржцев значимость невской губы только возрастает, а функции остаются неизменны. Это и судоходная зона, по которой осуществляется товарооборот, проходят морские пассажирские лайнеры; это рекреационная зона, приобретающая особую важность в теплое время года; Невская губа в последние десятилетия рассматривается и как потенциальная территория для заселения. Постепенно образуются новые намывные территории, ведутся активные дноуглубительные работы, строятся новые жилые кварталы там, где еще год назад можно было полюбоваться морскими пейзажами. Все перечисленные (и не только) пути развития города и Ленинградской области требуют прогнозирования и мониторинга, который играет одну из главных ролей для получения научных и объективных оценок воздействия природных явлений, антропогенных воздействий и их совокупного влияния экосистемы для сохранения и поддержания их жизнедеятельности и активности на необходимом уровне.

Существует множество методов для проведения мониторинга. Например, химические, химико-физические, физические, биологические и др. Последние несколько десятилетий проводимых исследований доказали, что использование биомаркеров в индикации загрязняющих веществ является весьма эффективным методом для определения их влияния на экосистемы. Самым ярким примером использования данного метода является определение качества воды в ГУП «Водоканал Санкт Петербурга», где в специализированных аквариумах в качестве индикаторов качества воды выступают рачки. Помимо этого,

описываемый метод широко распространён и активно развивается в Европе. Причиной этому является его наглядность.

Восточная часть финского залива и Невская губа являются уникальной экосистемой с важнейшими для страны и Санкт – Петербурга, в частности, геополитическим экономическим значением. Не используя основательный научный подход при расширениях территорий города на акватории, может грозить невозвратной утратой биоресурсов, их исчезновением и прекращением деятельности экосистем.

Актуальность работы. Непрерывное влияние развития Санкт-Петербурга и других прибрежных городов на экологическую обстановку территорий и акваторий региона требует постоянного мониторинга и прогнозирования. Ухудшение экологической обстановки снижает рекреационную ценность Невской губы и сокращает ее биоразнообразие. Помимо этого, в методе, его всестороннем изучении и результативности, заинтересованы развитые страны и крупнейшие компании мира. Этим и обусловлена актуальность моей дипломной работы.

Целью работы является описание экологической обстановки на намытых территориях Санкт-Петербурга с применением метода биоиндикации.

Для достижения поставленных целей работы необходимо выполнить следующий ряд задач:

1. Описание биоиндикации как метода, областей его применения, особенности применения в Российской Федерации и за рубежом.
2. Описание актуальной экологической обстановки на намывных территориях Санкт-Петербурга и Невской губы
3. Практическое применение метода биоиндикации для определения экологической обстановки на недавно образованных намывных территориях Красносельского района Санкт-Петербурга.

4. Разработка практических рекомендаций по организации и совершенствованию системы экологического мониторинга Невской губы с использованием биоиндикаторного подхода.

Глава 1 Описание объекта исследования

1.1 Основные источники материалов и данных

Еще в далекие античные времена, древнеримские и древнегреческие ученые писали о возможности использования живых существ как показатель природных условий. Именно первые античные ученые производили наблюдения в области биоиндикации. Обращали внимание на зависимость формы растения от условий, в которых оно находится. Так, например, ученый Теофраст, живший 320-х годах до нашей эры, писал о том, как по произрастающим на местности видам растений можно судить о ее свойствах. Подобные рассуждения ученых можно встретить и в работах древних римлян Плиния и Катона

Позже, уже в средние века, наблюдали за поведением птиц канареек для выявления утечки рудничного газа. Индикатором служило поведение канарейки или вовсе ее смерть. Рудничный газ представлял большую опасность для шахтеров и таким образом удавалось ее избежать.

К этому методу обращались и отечественные ученые. Например, труды Ломоносова и Радищева полны упоминаний об указателях растений на свойства почв, особенности горных пород и подзенных вод.

Позднее, уже в девятнадцатом веке российский геолог Карпинский А. М. писал о возможности использования растений биоиндикаторов для составления геологических карт. Иными словами, индикаторные растения и микрозообентос могут указывать на расположение полезных ископаемых и помогать в их поиске. Докучаев В. В., занимавшийся почвоведением также внес свой вклад в развитие методики. Указал на возможность определить тип почвы и его потенциальное изменение ввиду хозяйственной деятельности человека и антропогенной нагрузки по составу комплексов почвенного зообентоса.

Криволуцкий А. М. [1] посвятил много трудов проблемам индикации загрязнителей ОС. Ученые профессора МГУ имени М. В. Ломоносова Бурдин К. С и Федоров В. Д. занимались созданием теорией биомониторинга.

В настоящее время, актуальность методов биоиндикации не остается незамеченной, а Невская губа является идеальной площадкой для исследования биоиндикаторов, тестирования и разработки новых, а также проверки теорий и обоснования различных экологических прогнозов. Большое количество работ написано нашими современниками. С.В. Холодкевич в соавторстве с такими авторами как Кузнецова Т.В., Иванов А.В., Куракин А.С. и другие. В работах описываются различные биомаркеры для мониторинга состояния здоровья экосистем, способы биомониторинга, а также описаны исследования в России и странах Балтии. Работы Голубкова С.М., Максимова А.А., Гайского П.В. также подробно описаны исследования Финского залива и, в том числе, функциональные сдвиги в экосистеме восточной части Финского залива. Шкорбатов Г. Л., Старобогатов Я. И. писали о методах изучения двустворчатых моллюсков, на что я также буду ссылаться в своей работе.

Финский залив является трансграничной акваторией и находится под наблюдением не только российских специалистов, но и европейских. Это, несомненно, является плюсом и дает возможность делиться опытом и результатами работ, проведенных отдельно или в содружестве с авторами из других стран. Обращаясь к опыту зарубежных специалистов, нельзя не сказать о таких фундаментальных работах как “Здоровые животные, здоровые экосистемы” за авторством Депледж М. Х., Галлоуэй Т. С. Можно отметить работы Бамбер С. Д., Депледж М. Х. об использовании прибрежных крабов и раков как биоиндикаторов и оценке реакции их организмов на загрязнении прибрежных вод некоторыми загрязнителями. Состояние европейских водных объектов описывалось в работах Хаггер Дж. А., Галлоуэй Т. С., Лэнгстон В. Дж.,

Джонс М. Б. “Применение биомаркеров для оценки состояния европейских морских участков”

Как пример сотрудничества российских и европейских ученых в области биоиндикаторных исследований можно привести проект с участниками из Швеции и России, в котором использовался мультибиомаркерный подход к оценке воздействия загрязнителей в прибрежных районах Балтийского моря в Швеции.

Как можно видеть, к изучению биоиндикаторов обращались многие специалисты из области экологической безопасности Европейских стран. Однако, все работы описывают данный вопрос достаточно фрагментарны, и я в данной работе, как эколог, постараюсь обобщить и систематизировать все имеющиеся данные, проведу собственную оценку экологического состояния Невской губы и опишу полученные результаты.

1.2 Физико-географические особенности Невской губы

1.2.1 Географические границы

Невская губа является активно развивающимся и антропогенно - загруженной областью под управлением системы управления движением судов (СУДС) морского торгового порта Санкт-Петербург. Здесь осуществляют деятельность большое количество грузовых и контейнерных терминалов, а также пассажирских портов, сконцентрированных в основном на Василевском острове.



Рис. 1.1 Невская губа и окружающие географические объекты

На данный момент в портах Санкт – Петербурга происходит логистика всех видов грузов (рис 1.2). В том числе относящиеся к опасным. Ввиду регулярного увеличения частоты прохода судов, требуется постоянное увеличение глубины дна морских путей, проходящих по акватории Невской губы. Из-за это происходит загрязнениями вод вторичными загрязнениями.



Рис. 1.2 Большой порт Санкт - Петербурга

Большое влияние оказывает дамба и весь комплекс защитных сооружений, который были построены для защиты города от наводнений. Часть КАД, проходящая по этому комплексу, тоже вносит значительные корректировки в жизнь экосистемы финского залива. Увеличение намывных территорий за счет добычи грунта со дна залива, а также использования бытового и строительного мусора – развивается, что вносит свои корректировки в биологические гидрологические и лито-динамические процессы.

Невская губа находится в южной части Финского залива. Губа ограничена на востоке песчаным баром реки Нева, на западе линией Лисий Нос -- Кронштадт -- Ломоносов. Дно преимущественно песчаное и плоское. Берега Невской губы на большом своем протяжении урбанизированы.



Рис 1.3 Часть комплекса защитных сооружений

1.2.2 Экологическая система реки Невы и ее эстуария

Система процессов, происходящих в биотопе Невской губы, представляет собой сложный механизм взаимодействия, сформировавшийся под влиянием длительного антропогенного воздействия. Все преобразования видового разнообразия определялись именно человеческим влиянием. Санкт-Петербург и его пригороды загрязняет акваторию эстуария сточными водами (как бытовыми, так и промышленными). Тут проложены пути, по которым ежедневно проходит интенсивный трафик, а также осуществляются масштабные гидрохимические работы.

В 1980-х годах, благодаря дамбам, эстуарий был разделен на более соленую нижнюю и пресную верхнюю (Невская губа) области, что в значительной мере повлияло на экологические характеристики Невской губы. К ним (характеристикам) стоит относить загрязнение ее за продолжительный срок

тяжелыми металлами и взвешенными веществами (ВВ) в следствии частых дноуглубительных работ.

Все исследования биоты, за последние годы, говорят, что что в ее составе происходят значительные необратимые изменения, которые обусловлены исчезновением аборигенных и реликтовых видов, а также появлением видов, не характерных для данной области (вселенцев). Кроме того, в Финский залив стекаются сточные воды Петербурга, а также вода из залива используется для охлаждения ЛАЭС (Сосновый бор).

1.2.3 Общая характеристика эстуария реки Невы

Невская губа, как и многие другие эстуарные водоемы, имеет ряд свойств схожих с подобными ей водоемами Балтийского моря:

- соленоводность
- небольшая глубина
- значительное влияние ветра на перемещение масс воды
- обитание планктона и большое количество его разновидностей
- значительное пространственное изменение градиента параметров биоты и, в том числе, абиотических параметров

Перечисленные выше и описанные далее факторы важны при анализе данных биотестирования и биоиндикации

1.2.4 Флора и фауна Невской губы

Большая часть видов представителей ихтиофауны Невской губы составляется пресноводными видами рыб. Хорошо известные ерш, елец, окунь, плотва и так далее. Представителями беспозвоночных являются перловицы и беззубки, прудовики, лужанки. Также, личинки комаров, ручейников и поденок. Представителями видов прибрежной растительности являются рдесты, стрелолисты, тростники, камыши и зеленые водоросли. При удовлетворительном качестве водной среды, есть возможность наблюдать их в большом количестве и на многих берегах залива.

Видовое разнообразие фитопланктона в несолёных акваториях водоема насчитывает порядка 323 представителей (по данным многолетних наблюдений В.Н. Никулиной [5]).

Зообентос - очень разнообразная в таксономическом плане экологическая система, имеющая 17 классов животных (не учитывая формы паразитов). Так, например, класс насекомых в экосистеме представлен 11 отрядами, а отряд Diptera - 22 семействами.

Представителями донной фауны зоны мелководья залива являются эвригалинными и пресноводными видами. Лидирует по количеству видов – олигахеты. После исследований в 90-х годах, они преобладают и в биомассе. Данный фактор тесно связан с загрязнением токсичными веществами зоны мелководья и является показателем ухудшения качества воды.

Таким образом, регион Невской губы обладает избыточным количеством биоматериала для исследования. Животные обитатели являются представителями большого количества видов и классов, а их характеристики могут быть использованы для широкого спектра задач, большого количества искомым в воде веществ и отслеживания экологических угроз.

Невская губа является уникальной территорией, сформировавшейся в настоящее состояние за длительное время, благодаря большому количеству факторов и имеющая свою уникальную экосистему. Для Петербуржцев крайне важно следить за состоянием биоты Невской губы для сохранения ее рекреационных свойств.

1.3 Экологические процессы, протекающие в Невской губе

1.3.1 Антропогенное воздействие на биологические сообщества

Беспозвоночные, обитающие на дне, характеризуются большей восприимчивостью при дноуглубительных работах. На увеличение количества взвеси в воде реагируют донные беспозвоночные, также представители мелких рыб, мальков и икринок. Перечисленные виды организмов мало развиты и мобильны, и не способны передвигаться в более комфортные зоны обитания вследствие загрязнения, проводимых работ или выбросов.

Чувствительность представителей макро сообществ находится на втором месте. К ним также можно отнести представителей рыб жизнедеятельность которых связана с Невской губой. Работы по изменению глубины дна в Невской губе оказывает влияние на их численность, так как их корм представляет собой виды планктона, которые, в свою очередь, крайне чувствительны к количеству взвеси. Изменение количества корма сказывается на их количестве и репродуктивности.

1.3.2 Намывные территории Невской губы

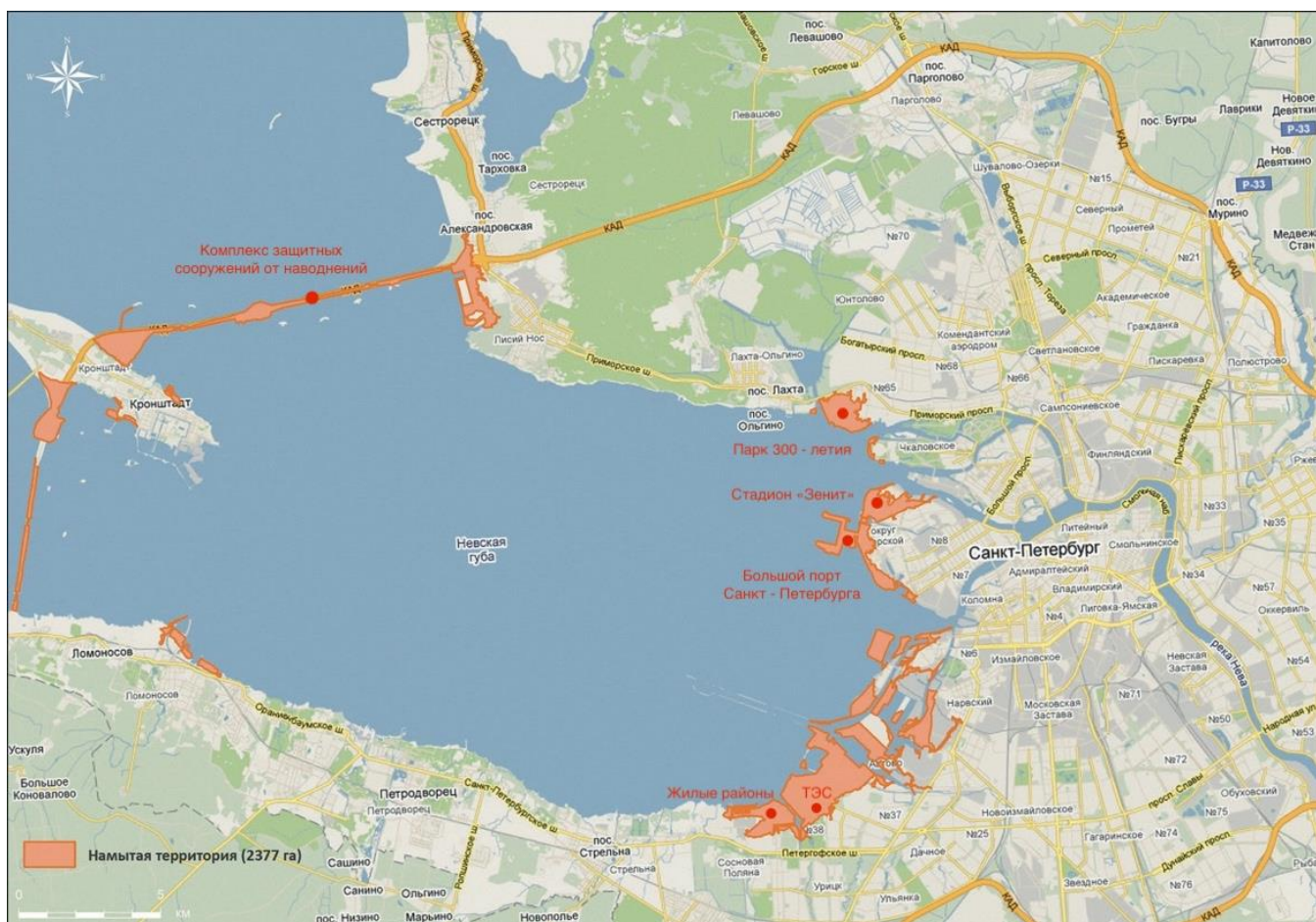


Рис. 1.4 Береговая техносфера Невской губы.

Оранжевым цветом показаны искусственно сформированные прибрежные территории. [6]

Работы по изменению глубины дна в Невской губе ведутся уже достаточно долгое время. Создаются новые участки суши (рис. 1.4) для заселения жителей города, развития инфраструктуры, промышленности и сектора туризма.

На Василевском острове сооружен жилой район размеров в 500 гектаров, за счет намыва грунта на заиленные участки балтийского моря. Сооружена дамба и комплекс защитных сооружений от наводнений. На Крестовском острове построен один из самых больших футбольных стадионов мира и продолжен западный скоростной диаметр, продолжена “зеленая” ветка метро за счет постройки двух новых станций метро Новокрестовская и Беговая.

В целях развития Кронштадта в 2010 году СПб ГКУ «НИПЦ Генерального плана Санкт-Петербурга» была разработана концепция комплексного освоения территорий в городе Кронштадте для строительства военного научно-учебного центра ВМФ. В 2015 году была разработана концепция развития острова Котлин. Концепция затрагивает как территории внутри острова, так и прибрежные территории. Проектом подразумевается намыв территорий под жилые комплексы, портовые сооружения и транспортную инфраструктуру

Территория острова котлин нуждается в мониторинге, так как экосистемы на нем очень важны для Невской губы. В частности, в северо-западной части расположен Заказник «Западный Котлин». Здесь сохранился массив черноольховых лесов — один из крупнейших на территории Санкт-Петербурга. Главное украшение заказника — песчаные побережья острова. На побережьях представлены приморские травянистые сообщества с участием волоснеца песчаного и зарослями шиповника морщинистого. Прилегающие к острову мелководья с тростниковыми и камышовыми зарослями — традиционное место отдыха и кормежки многих видов перелетных птиц. Среди них много редких для региона — лебедь-кликун, серая утка, шилохвость, большой, средний и малый крохали, галстучник, клуша, полярная и малая крачки.

На севере невской губы также проводится намыв территорий. В частности, производится строительство Лахта центра. При планировании работ особое внимание привлекли рекреационные территории на севере невской губы, требующие внимания за существующими там видами.

На северном побережье Невской губы образован Природный заказник регионального значения «Северное побережье Невской губы» постановлением правительства Санкт-Петербурга с целью сохранения приморских ландшафтов, участков широколиственных лесов, мест гнездования и массовых стоянок водоплавающих и околоводных птиц в 2009 году. На территории заказника

обнаружены виды животных и растений, занесенные в Красную книгу. В границах заказника запрещено вести любую деятельность, не связанную с функционированием особо охраняемой территории. Границы кластера — 603 га. Причина создания — возрастающая антропогенная нагрузка мегаполиса. Проще говоря, город пожирает природу.

В заказнике «Северное побережье Невской губы», на неширокой полосе вдоль берега залива между Ольгино и Лисьим Носом, сохранился необычный для окрестностей Санкт-Петербурга лесной массив, значительную роль в котором играют широколиственные древесные породы. На прилегающей к заказнику акватории, мелководной и зарастающей тростниковыми и камышовыми сообществами, формируются сезонные стоянки водоплавающих и околоводных пернатых на Беломоро-Балтийском миграционном пути. Несмотря на свои небольшие размеры, к настоящему времени это самое значительное место регулярных скоплений птиц, существующее в Невской губе.

Из всей описанной выше информации можно сказать, что в Невской губе ведутся активные дноуглубительные работы и активно изменяется береговая линия что, непременно, влияет на флору и фауну. Темпы работ возрастают, а поэтому крайне важно улучшать и развивать технологии методов отслеживания экологических угроз.

Глава 2 Оценка экологического состояния Невской губы методами биоиндикации

2.1 Используемые данные и материалы

Опыт ученых разных стран мира в области изучения, оценки и прогнозирования вод по показателям водных видов животных насчитывает порядка 100 лет. Такие методы, как правило, позволяют изучить продолжительные загрязнения. Но, представляется возможным изучить и разовые выбросы, так как видовое разнообразие гидробионтов напрямую зависит от качества окружающей среды и воды в частности.

Но, только когда они действительно значительно меняют абиотические условия. Периодические поступления загрязняющих веществ могут быть достаточно точно обнаружены гидрохимическими методами, в том числе при оперативном мониторинге. В целом, гидрохимические методы позволяют обосновано судить о количественном и качественном (вещественных) параметрах загрязнения. Гидробиологические методы дают представление об экологических последствиях воздействия загрязняющих веществ.

С современных позиций, биоиндикация прибрежных экосистем – это не только отбор проб макро зообентоса или других живых организмов индикаторов с последующей методической оценкой численного состояния популяции на той или иной территории. На данный момент, метод биоиндикации представляет собой полноценную натурную информационную систему. Индикаторная аквакультура, сенсоры, установленные на ее представителях в наиболее интересных и важных районах.

Главным признаком для прогнозирования, а, следовательно и подтверждения нарушения естественных процессов экосистемы является снижение возможности к адаптации. Метод функциональной нагрузки помогает определить отклонение от нормы на ранних стадиях заболеваемости как у человека, так и у животных на разных уровнях [31; 32]. Если говорить более конкретно, то это могут быть показатели сердечно сосудистой и нервной систем [5; 13; 32]. По сути, скорость возобновления привычных биоритмов после воздействия на организм и является главным показателем жизнеспособности животного [8; 34].

По сути, реакция и восстановление сердечно сосудистой системы организма может служить комплексным показателем изменения целой перечни важных показателей для организма и представителя вида животных характеристик среды обитания.

Интенсивность воздействующих процессов на организм и возможность к восстановлению физиологических характеристик помогают судить и о характеристиках самого организма [5; 19].

Зависимость и чувствительность характеристик кардиоритмов мидий на загрязнение тяжелыми металлами, аммиака, детергента и нефти уже описывалась [37, 38, 39, 36, 41]. Так же можно судить и по показателям двигательной системы двусторчатых моллюсков.

2.1.1 Отбор проб

Формирование качества воды северо-восточной части Невской губы, включая акваторию вблизи строящегося «МФК Лахта Центр», в большей степени зависит от загрязненного стока р. Большая Невка и р. Каменка, которая впадает в Лахтинский разлив. По данным Гидрологического института общий

объем загрязненного стока, поступающего в Невскую губу на данном участке, составляет 1912,75 тыс.м³/год. Объем неучтенного годового ливневого стока равен 1187 тыс.м³. Нагрузка биогенными веществами составляет 0,01 Робщ. т/год и 0,6 Нобщ. т/год [43].

Основным источником интенсивного загрязнения акватории Северной Лахты ВВ в последние годы являлись крупномасштабные работы по намыву территории Васильевского острова, дноуглубительные работы по Петровскому фарватеру и Подходному каналу для Морского пассажирского порта и дампинг [44; 45].

Оценка видового состава и обилия сообществ происходит на основе качественных сборов, не учитывая количества видов. На глубине в один или полтора метра производится сбор животных скребком. Скребки с ячейками 0,5 миллиметров собирает все группы зообентоса. Скребки с более широкими ячейками в 1 миллиметр не способны собрать мелких олигохет, на эффективны при поиске других, более крупных организмов. Сачок используется для сбора мелкого грунта. Такого как песок, ил или опавшие листья. Также используется для сбора водных растений.

После, попавшие в пробу особи животных собираются из сачка пинцетом и складывают в плотно закрывающуюся емкость (банка или пробирка). Важно, что многие биоиндикаторы достаточно хрупкие и обращение с ними должно быть кропотливым и осторожным. Сбор грунта с большой глубины – иррационален, так как большинство особей живут у поверхности.

Слой почвы в 1-2 сантиметра будет достаточен. Удаляются мусор, коряги, крупные камни, но исследуется на предмет наличия животных, так как донные субстраты также используются ими как место обитания и важны для подсчета.

Сбор образцов проб со дна на большой глубине производится при помощи тралов и драг с палубы судна. При этом контроль субстрата со дна невозможен.

Сбор количественных проб используется при изучении обилия животных на дне водоема. Для этого отбирается грунт определенной площади специальным прибором. Чаще всего это 0,5 м². Пробы промываются в сите, а после осуществляют подсчет найденных организмов. Иногда собирают непромытые пробы, отвозят в лабораторию и там уже происходит изучение образцов грунта.

Для фиксации используют 4-5% раствор формалина или же 70% этиловый спирт. Лучшим вариантом будет фиксация проб сразу после отбора. Если этого не сделать, то животные могут умереть или разложиться, съесть друг друга и результаты будут не точны. Поденки и личинки равнокрылых стрекоз хуже всего сохраняются. Также, стоит хищников хранить отдельно от мелких особей.

Все пробы нужно этикировать и указывать информацию о месте сбора, времени и дате, течении, глубине. Стоит указать любые отличительные черты места сбора. Также все информацию стоит записывать в блокнот во время исследования и помечать пробирки или банки.

Рекомендуется отбор нескольких проб из области биотопа. Минимум три пробы из нескольких точек и усреднения данных по ним, чтобы учесть неоднородность в пространстве размещения индикаторов. При изучении результатов исследований составляется полный список по видам животных, список всех используемых инструментов. В список организмов по видам также необходимо указать и количество, измерить и взвесить их. При изучении биомассы стоит пользоваться биноклем или невооруженным глазом.

2.1.2 Выявление класса качества воды в водоеме с использованием биотического индекса Вудивисса

Данный метод изучает свойства организмов зообентоса. Адаптирован для условий северо – западного и центрального региона России. При использовании данного метода, изучаются относительно крупные организмы. Которые можно определить и оценить количество невооруженным глазом. В методе используются качественные пробы зообентоса и дают возможность получить надежные результаты и наглядно оценить обстановку, не проводя исследований в лаборатории.

Пробы берутся в нескольких станциях (минимум три). Если это река, то у каждого из берегов и в центре. Если есть источник загрязнения, то выше по течению и ниже на 300-500 метров. Устанавливаем сачок на дно в перпендикулярном положении, в направлении течения проводится по дну в направлении течения и обратно. Материал из сачка собирается во флакончики и фиксируется специальной жидкостью. Организмы для удобства распределяются в пробирки по видам.

Берутся 3-5 проб из различных точек станции. Объединяются и промываются. Пробы берут, снимая верхнюю часть грунта вместе с теми организмами, которые в ней живут. Камни выбирают с участка примерно 05*05 м и разбирают.

Отмечается тип грунта (каменистый, каменисто – песчаный, песчаный, песчано – илистый, глинистый), температуру воды, загрязнение (на глаз).

Первая стадия работы – разбор проб. Далеко не все организмы требуется определять до вида.

Следующий шаг – определение биотического индекса. Для этого надо посчитать общее число групп, которые обнаружены в пробе. Затем, исходя из наличия тех или иных индикаторных видов, определить биотический индекс.

Дополнительно используют индекс Гуднайта и Уитлея.

Биотический индекс Вудивисса											
Индикаторная группа	Количество видов	Общее количество присутствующих групп организмов бентоса									
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45
Присутствуют нимфы Plescoptera (веснянки)	Более 1 вида	–	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Только 1 вид	–	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Присутствуют нимфы Ephemeroptera (поленки)	Более 1 вида	–	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Только 1 вид	–	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Присутствуют личинки Trichoptera (ручейники)	Более 1 вида	–	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Только 1 вид	4	4	5	6	7	9	9	10	11	12
Присутствует Gammarus (бокоплав)	Любое	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Присутствует Asellus («водяной ослик»)	Любое	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Присутствуют Oligochaeta, Chironomus (малощетинковые черви)	Любое	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отсутствуют все перечисленные группы. Могут присутствовать организмы, не требующие растворенного кислорода	–	0	1	2	–	–	–	–	–	–	–

Класс чистоты	Степень загрязнения	Биотический индекс Вудивисса, баллы
I	Очень чистая	10 и более
II	Чистая	7-9
III	Умеренно-загрязненная	5-6
IV	Загрязненная	4
V	Грязная	2-3
VI	Очень грязная	0-1

Рисунок 2.1 Таблица определения класса качества воды по индексу Вудивисса.

2.1.3 Индекс Гуднайта и Уитлея

Индекс считается по формуле

$$A = \frac{M}{B} * 100\%, \text{ где}$$

A - индекс

М – численность малощетинковых червей

В – численность всех видов организмов

Далее, для определения степени загрязнения используют таблицу значений

Состояние водоема	Индекс Гуднайта и Уотлея		
	80	60-80	60
Сильное загрязнение	X		
Сомнительное загрязнение		X	
Хорошее состояние			X

Таблица 1. Индекс Гуднайта и Уитлея

2.2 Методы исследования

Для такой зоны как Невская губа, с большой антропогенной нагрузкой и динамичной средой, есть большая важность создать экспресс методы для осуществления диагностики качества воды и ее состояния для увеличения скорости обнаружения нежелательных воздействий и их устранения. Отслеживание актуальной обстановки, в том числе и online, крайне важно для Санкт-Петербурга и не только.

Физические или химические методы, в основном, недостаточны для создания достаточно достоверной оценки антропогенного воздействия. Такие методы дают исключительно количественный отчет о ситуации, но из него трудно сделать вывод о степени опасности загрязняющих веществ. Поэтому крайне важно производить оценку состояния здоровья фауны. Оценка состояния возможна только при использовании биологических методов мониторинга

состояния окружающей среды. Именно они способны обобщить информацию в числах и показать ее наглядно и позволить спрогнозировать различные негативные варианты последствий.

Само же прогнозирование невозможно представить, не используя различные методики биомониторинга, которые в свою очередь способны, учитывая смесь факторов, обнаруживать и составлять прогнозы на возможные негативные последствия изменений биоты. Очень важно подбирать набор исследуемых индикаторов с учетом условий каждой отдельной акватории и ее “жителей”. Этот важный аспект требует решения нескольких задач:

1. Подбор видов беспозвоночных животных, пригодных для биотестирования, которые обитают в акватории Невской губы.
2. Изучение регионов обитания гидробионтов и их способности к сопротивлению возмущителям стресса для определения степени принадлежности к статусу тест объекта.
3. Составления списка результатов по стрессоустойчивости к стандартным токсикантам и реальной карты обитания исследуемых организмов.
4. Составление плана проведения исследований реакций гидробионтов в акватории. Другие характеристики, такие как нерест, длительность жизненного цикла, репродуктивность и ряд различий среди представителей одного вида.

Организмы индикаторы имеют определенные, свойственные своей экосистеме и среде обитания, отличительными чертами благодаря которым есть возможность провести анализ тенденций развития тех или иных процессов. Качество среды и комфорт обитателей в нем является условием, принятым сообществом ученых как показатель устойчивого развития

Процедура, в которой изучается токсичность или загрязненность среды с использованием тест объектов, которые сообщают о негативных и позитивных изменениях, показаниями своих жизненных характеристик называется биотестированием.

Чтобы измерить параметры среды организмов, изучают реакции живых организмов, которые привели к общим стандартам. Это могут быть как реакции целой группы организмов, отдельной особи, или даже органов, клеток или молекул. Пребывая некоторое время в загрязненной среде, совершаются изменения всех систем организмов. От физиологических и биохимических до иммунных и генетических. Процесс изучения реакции тест объектов на негативное влияние токсичной среды и называется биотестированием.

Биоиндикация и биотестирование – очень схожие понятия. Их легко перепутать друг с другом, но главной отличительной чертой является принципиальная разница в конечном объекте исследования. Для биотестирования – это клетки, ткани и, в крайнем случае, целый организм. Биоиндикация же изучает организмы, их популяции и целые сообщества и указывает на загрязнение пост фактум. Однако оба метода очень важны и должны использоваться для выполнения задач и целей биомониторинга.

2.3 Термины и определения

При использовании методов биотестирования оперируют рядом понятий и определений: под тест-объектом понимают живой организм, используемый в биотестировании [4]. При выборе таких организмов приходится соблюдать определенные требования, среди которых возможность фиксировать четкий, воспроизводимый и объективный отклик на воздействие внешних факторов, чувствительность этого отклика на малые содержания поллютантов и др. [1].

Показатель жизнедеятельности водного организма - морфологическая, физиологическая, биохимическая или другая характеристика состояния водного организма.

Тест-реакция (функция) - изменение (ответ) какого-либо показателя тест-объекта под воздействием токсичных веществ, содержащихся в ОПС (воде, почве и воздухе).

Тест-параметр - количественное выражение тест-реакции.

Критерий токсичности - значение тест-параметра или правило, на основании которого делают вывод о токсичности исследуемой среды [4].

Измерительная система (прибор) - дает количественную величину ответной реакции тест-объекта на воздействие внешних факторов.

Концентрация средняя летальная (ЛК50) - Концентрация токсического вещества, вызывающая гибель 50 % тест-объекта при установленных условиях экспозиции в течение заданного срока наблюдений.

Концентрация средняя эффективная (ЭК50) - концентрация токсического вещества, вызывающая изменение тест-реакции на 50 % при установленных условиях экспозиции в течение заданного срока наблюдений.

Воспроизводимость результатов биотестирования - характеристика качества биотестирования, отражающая близость результатов, полученных по одной методике, на одном и том же эталонном веществе, но в различных условиях (разными операторами или в разных лабораториях, или в разное время).

Сходимость результатов биотестирования - характеристика качества биотестирования, которая отражает близость результатов, полученных по одной

методике, на одном и том же эталонном веществе, в одинаковых условиях (в одной лаборатории, одним и тем же оператором, в одно и то же время) [8].

2.4 Биоиндикация окружающей среды

Способность накапливать загрязнители и токсиканты есть у многих организмов. Возможность иметь их концентрацию выше, чем в естественных условиях стала наиболее применима как признак негативного влияния веществ. Такой прием используют для изучения миграции химических веществ в окружающую среду.

Как уже писалось ранее, наибольший интерес представляют гидробионты, обладающие наибольшим коэффициентом накопления токсикантов. Стоит учитывать, что значение коэффициента накопления может варьироваться в зависимости от температуры окружающей среды. Значение коэффициента накопления у планктона к тяжелым металлам может варьироваться от 10 до 10°. У полихлоридных бифенилов, коэффициент накопления изменяется от 1.7 до 10.

Таким образом, биоиндикация и биотестирование дают возможность оценить и даже измерить количество присутствующих в исследуемой области токсикантов по количеству или состоянию отдельных представителей флоры и фауны, чувствительность которых к состоянию окружающей среде больше.

2.5 Задачи и приемы биотестирования

Помимо определения оптимально биотеста, важна и его тест реакция. То есть измеряемая характеристика. Максимальное количество информации могут дать такие параметры, которые измеряют состояние системы организмов на определенном уровне. Такие параметры называются интегральными. Под эту классификацию попадают выживаемость, способность к репродукции, росту. В

то время как химические, биологические и физиологические параметры дают более частные результаты. В масштабах популяций к таким параметрам можно отнести биомассу и количество особей. В экосистемах же, такими параметрами будут видовое разнообразие, деструкция и продукция видового разнообразия.

Чувствительность тест реакций и скорость их получения как правило снижается с увеличением интегральных тест реакций, но повышается их точность объективность. Функциональные параметры оказываются более лабильными, чем структурные. Меньшей информативностью обладают тест реакции на уровне клеток и молекул, но дают более быстрый ответ, воспроизводимость и чувствительность.

2.5.1 Биоэлектронные системы ранней диагностики и предупреждения угроз водным экосистемам

Ряд западных стран и стран Азии, такие как США, Китай, Германия и Франция, активно используют автоматизированные биосенсорные системы, в которых нашли свое применение в качестве биотестируемых организмов используют беспозвоночные. Биомаркерами служат параметры их жизнедеятельности и поведения [17, 20, 25].

Для морской воды это — “MosselMonitor”, а для пресной воды — система “DreissenaMonitor”. Эти системы были разработаны в Голландии в 1990-е годы, а затем получили дальнейшее развитие в Польше (фирма «SYMBIO»).

Данные системы измеряют степень открытия створок, что напрямую зависит от фильтрационной активности двустворчатых моллюсков.

Чем обильнее и интенсивнее становится загрязнение, тем степень открытия створок моллюсков меньше. Таким образом они уменьшают

возможность попадания токсикантов в их организм и потенциальный вред от опасного для организма загрязнения.

Описанные выше автоматизированные биосенсорные системы дают возможность отслеживать зависимость степени загрязнения от открытости или, наоборот, закрытости створок.

2.5.2 Волоконно-оптический метод регистрации кардиоактивности бентосных беспозвоночных и анализ характеристик сердечного ритма в реальном времени

В 1999 году в лаборатории экспериментальной экологии водных систем Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН был разработан лазерный волоконно-оптический фотоплетизмограф [11, 14], а в 2003–2004 гг. было разработано программное обеспечение, позволяющее в реальном времени оценивать уровень стрессированности бентосных беспозвоночных с жестким наружным покровом (раков, крабов и раковинных моллюсков) [10, 14, 27]. Для регистрации кардиоактивности тестируемых животных с внешней стороны их жесткого наружного покрова (без его повреждения), над местом расположения сердца приклеивают специальный миниатюрный держатель, в котором затем фиксируют волоконно-оптический датчик (общий вес не превышает 2 г). Как показал многолетний опыт их использования, датчик не оказывает влияния на нормальную жизнедеятельность ни ракообразных, ни моллюсков. Животные с закрепленным датчиком могут много месяцев подряд находиться в нормальном физиологическом состоянии: питаться, передвигаться по дну аквариума, осуществлять иные поведенческие реакции. На рис. 2.2 представлен пример наблюдения *in situ* за кардиоактивностью пресноводных двустворчатых моллюсков — беззубок. Разработанный инструментальный метод и

аппаратурное обеспечение позволяют регистрировать и анализировать в режиме *online* сократительную активность сердца (далее — кардиоактивность) животного и в многомесячных фоновых наблюдениях, и при токсикологических экспериментах.



Рисунок 2.2. Моллюски беззубки с закрепленным на одной из их створок волоконно-оптическим датчиком для измерения кардиоактивности

Блок-схема установки для регистрации кардиоактивности моллюсков, а также основные этапы математической обработки выборки кардиоритмо представлены

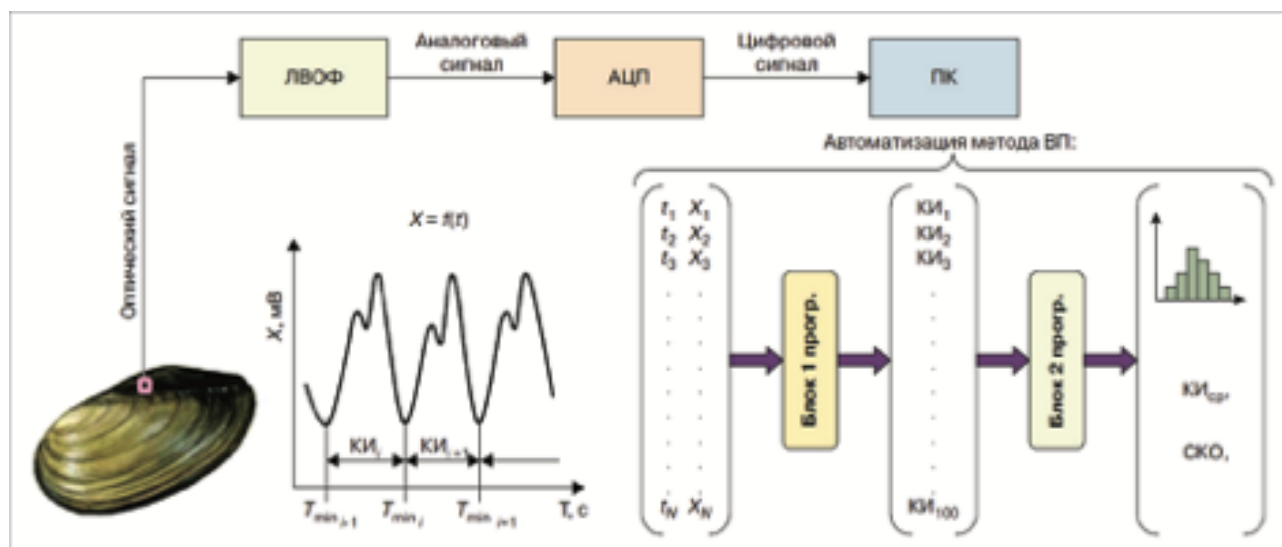


Рисунок 2.3 Блок-схема установки и автоматической обработки хронотропных параметров сердечного ритма моллюска:

ЛВОФ — лазерный волоконно-оптический фотоплетизмограф; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ПК — персональный компьютер. Представлены основные этапы математической обработки выборки кардиоинтервалов (не менее 50): средняя величина кардиоинтервалов ($КИ_{ср}$), среднее квадратичное отклонение ($СКО$)

После соответствующего усиления, фильтрации и выделения составляющей сердечных сокращений в ЛВОФ, оптический сигнал преобразуется в аналоговый ($x = f(t)$), поступая в 14-битный многоканальный АЦП и далее через USB-порт в персональный компьютер (ПК) для дальнейшей обработки. Оригинальная программа (VarPulse) [26] автоматически определяет длительность каждого кардиоинтервала и затем вычисляет все необходимые статистические характеристики фотоплетизмограммы в режиме реального времени, с возможностью архивации полученных данных. Программа позволяет одновременно регистрировать и проводить анализ не менее чем на 7–8 животных. Работа каждого канала основана на прямом усилении фотосигнала,

отраженного от сокращающегося сердца. Пример установки для многоканальной регистрации кардиоактивности группы животных представлен на рис. 2.4. Использование в экотоксикологических экспериментах одновременно двух 8-канальных установок позволяет нам регистрировать сигналы от 16 животных, тем самым позволяя обеспечивать достаточную статистическую достоверность получаемых данных.

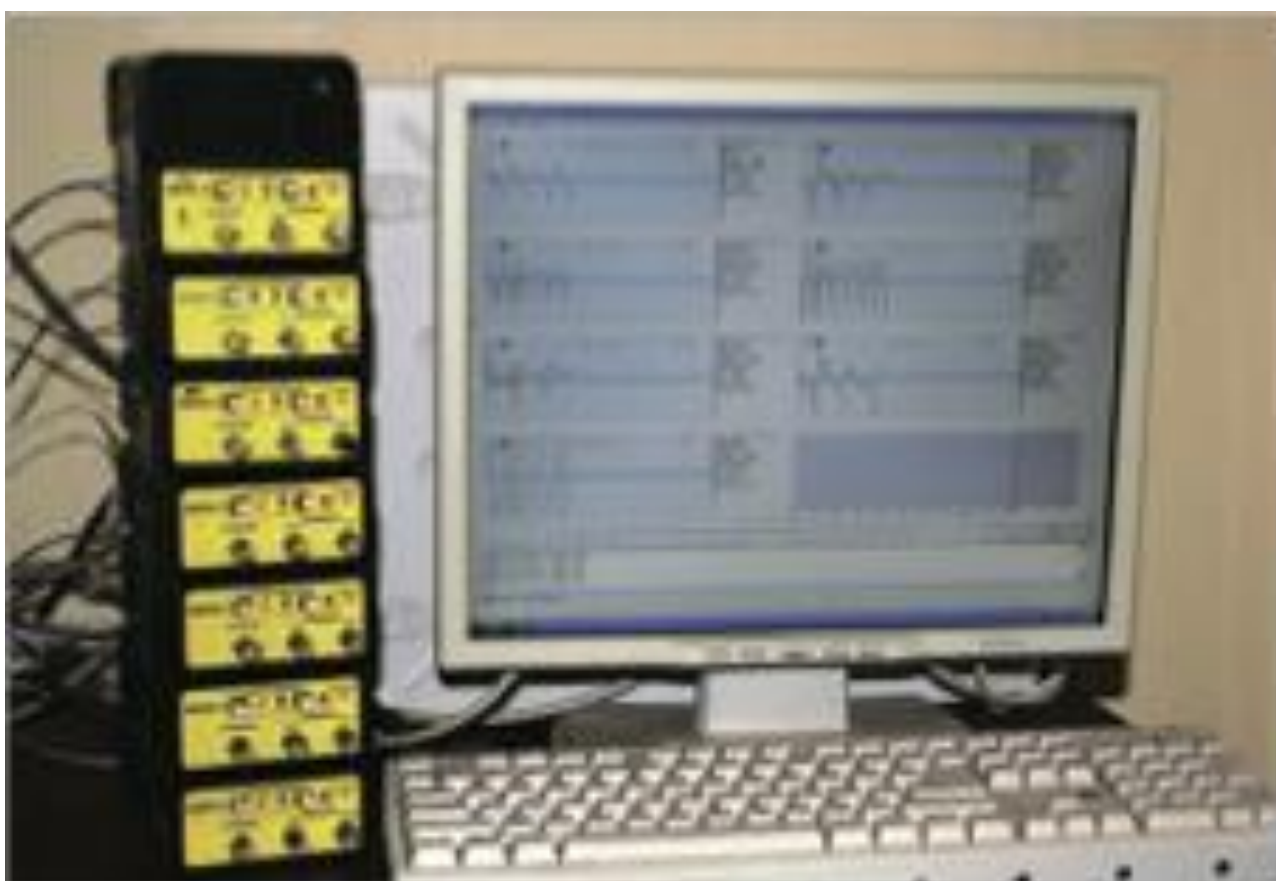


Рисунок 2.4 Пример установки для многоканальной регистрации кардиоактивности одновременно 7 животных и интерфейс оригинальной программы (VarPulse)

Глава 3 Результаты оценки экологического состояния Невской губы по гидробиологическим показателям

3.1 Описание этапов исследования

Для оценки экологического состояния невской губы были проведены натурные исследования (эксперимент) на прибрежных намывных территориях (рис. 3.2) Красносельского района.

Цель исследования заключалась в определении состояния и качества воды по индикаторным видам обитающих в регионе исследования.

На подготовительном этапе:

- проведен анализ информации о истории формирования намывных территорий
- подбор оптимальных для отбора проб локаций
- изучены новостные сводки с данными о загрязнении в исследуемой области
- изучение окружающей инфраструктуры промышленных и жилых комплексов

В процессе исследования необходимо было выполнить ряд практических задач для каждой точки исследования:

- Определить вид почвы
- Оценка гидрологического воздействия на прибрежную зону
- Отбор проб
- Поиск и учет количества живых организмов
- Оценка качества воды в исследуемой зоне

Исследование проводилось в начале июня. Наиболее благоприятном для жизнедеятельности зообентоса сезоне.

Оценка производилась на основе изучения количественного и качественного состава зообентоса в нескольких точках. Материалом служили сборы бентоса (15 проб). Пример одного отбора пробы представлен на рисунке 3.1. Материал в последствии обрабатывался по общепринятой методике и соотносился с индексом Вудивисса.



Рисунок 3.1 Пример пробы

Отбор проб и определение биомасс организмов производился на прибрежных территориях Красносельского района.

В качестве оборудования для исследования использовались:

- Лопата
- Емкость для промыва почв
- Пластмассовая емкость белого цвета
- Телефон и Объектив для фото регистрации найденных представителей

видов фауны

- Пинцет

Длина маршрута составила 5 километров.

Маршрут исследования состоял из пяти точек:

- 1 – Пляж Жемчужный
- 1 – Пляж Жемчужный
- 2 – Устье Дудергофского канала
- 3 – Балтийский бульвар
- 4 – Устье реки Красненькая

На заключительном этапе исследования была обобщена предварительно изученная информация, полученная в ходе исследований, сопоставлены данные и сделан вывод об экологической обстановке на намывных территориях красносельского района города Санкт – Петербурга.

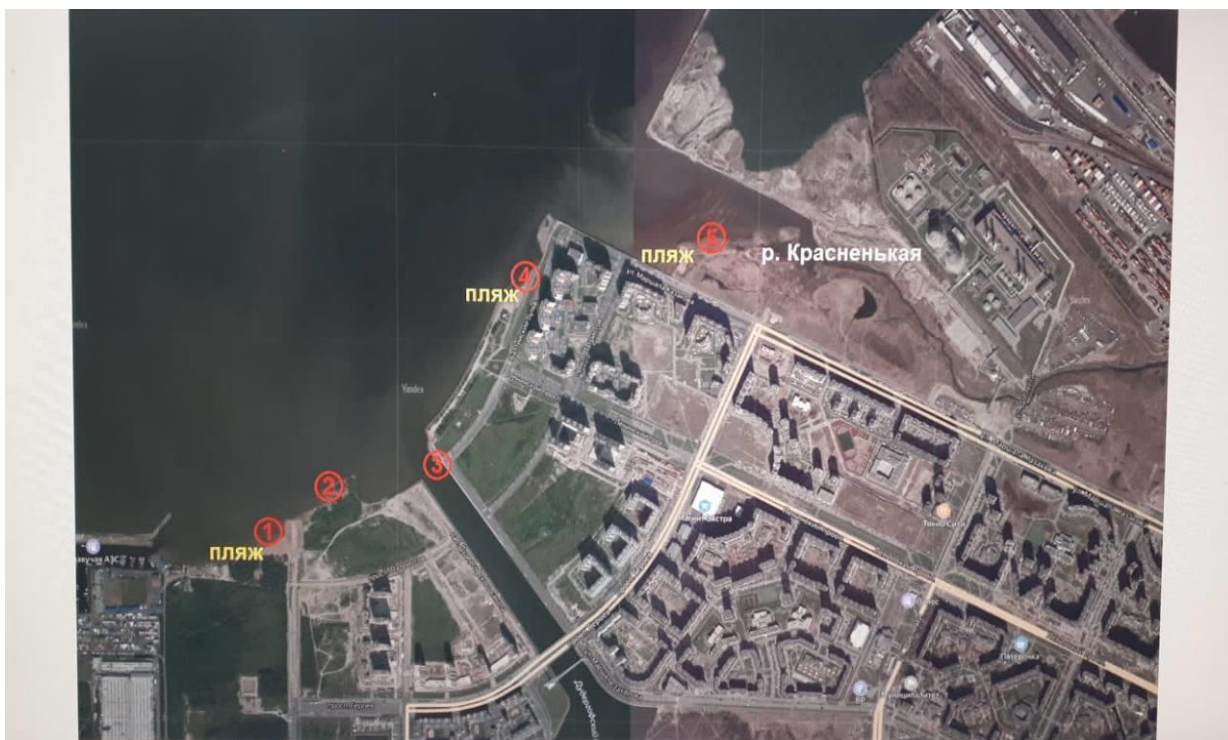


Рисунок 3.2 Точки отбора проб

Данные локации представляют интерес для рассмотрения, так как они, в первую очередь, образованы искусственным образом — это намывные территории. Образованы в сравнительно недавние сроки (около 20 лет) для расширения площади суши и возведения новых построек жилого и промышленного сектора. У всех точек есть ряд схожих характеристик и, в то же время, принципиальных различий. Это помогло сделать наиболее точный вывод о состоянии вод в прибрежной зоне по имеющимся на ней индикаторам загрязнения. Стоит добавить, что эти территории схожи и с другими, более северными районами намывных территорий Санкт-Петербурга, по характеристикам почв, окружающей инфраструктуре, способу образования и так далее. Поэтому описанные далее выводы применимы и к ним. Сезонный период отбора проб соответствует активной фазе деятельности фауны обитателей.

На рисунке 3.3 представлена область исследования с характерными и условиями, представляющими интерес в исследования (заиленость, небольшая глубина, каменистость образована искусственным путем)



Рисунок 3.3 Пример области исследования с характерными для намывных территорий условиями.

3.2 Характеристика точек исследования.

3.2.1 Жемчужный пляж (1)

Первая точка отбора проб является общедоступным пляжем. Грунт – смешанный, песчаный. Имеется большое количество камней (рис. 3.4). Зообентос недостаточно разнообразен, но присутствуют раковины моллюсков. Как целые, так и осколки раковин.



Рисунок 3.4 Пляж Жемчужный. Первая точка отбора проб.



Рисунок 3.5 Прибрежная зона пляжа Жемчужный

После промыва грунта удалось обнаружить небольшое количество личинок мотыля, которые ведут донный образ жизни. Внешний вид характеризуется рубиново красным цветом, длина тела до полутора сантиметров. Наличие этих организмов может говорить о положительном прогнозе в развитии фауны данного пляжа, так как это один из индикаторов по индексу Вудивисса. Также, часто встречается рдест пронзённолистный. Наблюдается зарастание подводных камней зелеными водорослями. Для биоиндикации более точным показателем является наличие личинок, жуков, ракообразных, однако обилие водорослей, и в том числе рдеста, является положительным сигналом.

Используя индекс Вудивисса (рис 2.1), все найденные группы организмов – биоиндикаторов определяют степень загрязненности воды в области пляжа как среднюю (альфа-мезосапробный).



Рисунок 3.6 Отбор проб и найденные раковины моллюсков



Рисунок 3.7 Одна из особей личинок мотыля, найденная на пляже жемчужный

3.2.2 Жемчужный пляж (2)



Рисунок 3.6 Пляж Жемчужный. Вторая точка отбора проб

Вторая точка отбора проб производилась севернее первой точки в более каменистой части пляжа Жемчужный. Интересна она была в первую очередь из-за того, что находится в одинаковых условиях с первой точкой исследования, они имеют близкое расположение, гидрологические условия похожи. Однако на берегу находится больше булыжников, есть микробухты, количество посетителей пляжа меньше.

Почва идентична первой точке отбора проб. Выявлена большая каменистость и несколько микробухт с иловыми отложениями. Зообентос по разнообразию видов и количеству особей схож с первой точкой отбора проб. Он беден, и в данной точке натурных исследований это обусловлено большим количеством насыпи камней. Прибрежные волны не дают развиваться видовому разнообразию ввиду его хрупкости, хотя потенциал для развития фауны пляжа есть.

Обнаружены водоросли, личинки мотыля, рдест бронзенолистный. Флора и фауна схожа с первой точкой по обнаруженным видам, но отличается меньшим количеством представителей видов.



Рисунок 3.7 Рдест бронзенолистный, найденный на второй точке отбора проб.

Используя индекс Вудивисса (рис 2.1), все найденные группы организмов – биоиндикаторов определяют степень загрязненности воды в области пляжа как среднюю (альфа-мезосапробный).

3.2.3 Дудергофский канал (3)



Рисунок 3.8 Дудергофский канал (устье)

Канал был прорыт в 1970-х годах. Его ширина составляет 25 метров. Левый и правый берег укреплены железобетонными стенками, однако у выхода в финский залив укрепления отсутствуют.

Натурные исследования проводились в устье канала. Грунт в данной точке неоднородный, с большим количеством камней (рисунок 3.9, 3.10). Из

возможных индикаторов в почве найдены только малощетинковые черви (олигохеты), что является показателем наиболее низкого качества воды по индексу Вудивисса.

На текущий момент в русле канала наблюдается большое количество донных отложений и взвеси. Высокое содержание органических веществ приводит к процессу заилиности. Причина их высокой концентрации – совокупность метеорологических и гидрологических процессов, существующих в этой акватории. Дудергофский канал впадает в Финский залив. Но периодические нагонные волны, вызванные влиянием преобладающих западных ветров, служат своеобразным барьером для вод канала. А стоячие волны поддерживают количество взвеси в воде.



Рисунок 3.9 Вода и грунт в области Дудергофского канала



Рисунок 3.10 Пляж Дудергофского канала

Используя индекс Вудивисса (рис 2.1), все найденные группы организмов – биоиндикаторов определяют степень загрязненности воды в области пляжа как сильно загрязненную. Относится к полисарбной зоне, водное сообщество находится в сильно угнетенном состоянии.

3.2.4 Балтийский бульвар (4)



Рисунок 3.11 Пляж у Балтийского бульвара. Третья точка отбора проб

Пляж у Балтийского бульвара - общедоступный и популярный у жителей города пляж. Песок более плотный, без видимых примесей и чистый. В образцах невооружённым глазом заметны частицы глины. В результате эксперимента, после отбора проб и промыва образца почвы, зообентос не обнаружен. Не найдено биоиндикаторов, свидетельствующих как о хорошем качестве воды, так и о плохом. Обнаружены лишь рдест пронзённолистный в схожем количестве с пляжем Жемчужный (рисунок 3.7, 3.12).

Бедность зообентоса может быть объяснена высокой динамичности водной среды. Вода чистая, обладает высокой степенью прозрачности. Но, как мы уже упоминали выше, растительный мир не является явным индикатором качества среды.



Рисунок 3.12 Результат отбора проб на 4 точке маршрута исследований

3.2.5 Устье реки Красненькая (5)



Рисунок 3.13 Отбор проб в устье реки Красненькая.

Река Красненькая протекает между жилым комплексом и промышленной зоной вдоль Краснопутиловской улицы. В настоящее время река по кадастровым данным имеет протяженность в 6877 метров.

Река подвергается антропогенному воздействию почти на всем своем протяжении. Используется для канализационных стоков, сильно захламлена строительным и бытовым мусором. Ближе к верхней ее части заключена в тоннель.



Рисунок 3.14 Экологическая обстановка в районе реки Красненькая [43]

Отбор проб происходил на пляже в устье реки с большим количеством растительности (камыши, трава, водоросли), однородной, густо проросшей корнями почве и большим количеством иловых отложений. Нет булыжников и

камней. Берег омывается плавным течением, а не интенсивными волнами (как в случаях с пляжами Жемчужный и у Балтийского бульвара). По пути к точке отбора проб, регулярно встречались стаи комаров и другого гнуса. Такие условия, как правило, очень благоприятны для развития личинок веснянок, поденок, ручейника. Однако, полученные данные оказались непредсказуемы и крайне неожиданны. После отбора и промыва почв из нескольких точек пляжа обнаружены только олигохеты. Это свидетельствует о самом низком качестве воды.

Такой результат мог быть обусловлен близостью к нефтехранилищам, захламленностью мусором и, возможно, влиянием слива охлаждающей воды от недалеко расположенной ТЭЦ.

Используя индекс Вудивисса (рис 2.1), все найденные группы организмов – биоиндикаторов определяют степень загрязненности воды в области пляжа как сильно загрязненную. Относится к полисарбной зоне, водное сообщество находится в сильно угнетенном состоянии.

3.3 Вывод о состоянии намывных территорий Невской губы

Количественный и качественный анализ данных исследования показал: экологическая обстановка в районе требует регулярного мониторинга и принятию мер по улучшению качества воды в районах намывных территорий по всему маршруту исследования. Класс качества воды не удовлетворяет условиям безопасного использования в бытовых целях.

Общими показателями для всех точек исследования является крайне низкое разнообразие зообентоса и примерно одинаковый состав почв.

В области пляжей с динамичной водной среды (точки 1, 2 и 4) найдены следы присутствия ракообразных, личинки мотыля, водоросли. Данные указывают на загрязнение, характеризующиеся как “значительное”. Но присутствует потенциал к развитию фауны в ближайшие годы.

В более спокойных районах зообентос отсутствует. За исключением малощетинковых червей, что характеризует загрязнение как “сильное”. Данный результат может быть следствием близости расположения точек отбора проб к промышленным объектам, обусловлено гидрологическими условиями, малой динамичностью среды, аккумуляции загрязнителей, а также ввиду самого происхождения территорий.

Глава 4 Практические рекомендации по организации и совершенствованию системы экологического мониторинга Невской губы с использованием биоиндикационного подхода

4.1. Общие принципы использования биоиндикаторов

Опыт ученых из разных стран и за долгие годы исследований в области мониторинга и контроля качества окружающей среды выявил следующий преимущества, которые присущи живым организмам:

- реакция на слабые флуктуации воздействия при продолжительной антропогенной нагрузке, что достигается испытыванием антропогенных нагрузок на значениях, близких к предельным;
- Демонстрируют общее состояние ОС при суммировании всех воздействий (и антропогенных и биологических).
- дают возможность исключить изучение физических и химических параметров
- дают информацию о скорости изменения тех или иных характеристик
- дают информацию о трендах развития и возможных последствиях антропогенного воздействия на окружающую среду
- дают возможность определения очагов и пути их распространения загрязнений различного вида и потенциальной возможности попадания в пищу человека
- позволяют судить о возможной токсичности материалов, получаемых человеком благодаря синтезу

В биоиндикации различают два вида реакции организма. Специфическая и неспецифическая. Специфическая реакция происходит при воздействии того или иного единичного фактора. Неспецифическая реакция является одинаковым ответом на целый ряд воздействий.

По типу реакции, индикаторы разделяют на две группы: чувствительные кумулятивные. В случае первой группы, ответом на негативное воздействие будет сильное отклонение жизненных показателей от обычных. Вторые имеют способность накапливать негативное воздействие и превышать его норму, не проявляя при этом видимых изменений.

Системный подход к изучению качества окружающей среды позволяет спрогнозировать тенденцию к изменению на ранних стадиях диагностики. Первыми сигналами могут быть дисбаланс процессов продукции и деструкции. Проявлениями такого дисбаланса могут быть зарастание или заиление водоема.

Максимально чувствительные сообщества являются наиболее ценными в биоиндикации. Также очень полезна высокая скорость ответа при тест реакции и явностью характеристик жизнедеятельности. Как пример, можно привести сообщества планктона в водной среде, у которых скорость реакции достаточно велика из-за короткого срока жизни и большой репродуктивной способностью. Большей консервативностью являются сообщества бентоса. Срок жизни у них более длинный, а репродукция уступает планктону. Изменения происходят при более длительном загрязнении, более хроническом, и указывает на необратимость процесса.

4.1.1 Особенности использования растений в качестве биоиндикаторов

Главной особенностью использования в качестве биоиндикаторов растений является их универсальность. Благодаря растениям есть возможность

проводить биоиндикации всех природных сред. Например, изменение окраски листьев указывает появление токсикантов в почве или воздушном пространстве. Также может указывать на это отмирание части тканей растения или несвоевременное опадание листвы. Данные реакции, как правило, не отличаются специфичностью.

При использовании растений в качестве индикаторов стоит учитывать потенциальную возможность действия других, более естественных факторов. Недостаток железа в почве может вызвать хлороз или быть следствием времени наступления заморозков. Таким образом, реакция на естественные процессы и антропогенную нагрузку может быть схожа и необходимо исследование всех условий произрастания тест объекта.

Другим типом растений индикаторов являются аккумулирующие растения. Токсичные вещества накапливаются в тканях и откладываются в продуктах метаболизма под загрязняющим воздействием, не проявляя видимых изменений. С увеличением концентрации загрязняющих веществ растения способны реагировать тем или иным образом. Такие реакции могут быть проявлены в изменении скорости роста, снижении биологической активности и различных биометрических показателей.

Б.В. Виноградов различал следующие индикаторные признаки растений: флористические, физиологические, морфологические и фитоценотические. Если при определенных экологических факторах формируются различные составы растительных покровов, то эти различия считаются флористическими. То есть и отсутствие, и присутствие того или иного вида растений уже имеет индикаторное значение.

На основе обмена веществ растений определяются физиологические признаки. Что касается анатомо-морфологическим признакам, здесь чуть

охватываемый диапазон чуть больше; это могут быть различия во внешнем строении, а также своего рода отклонения при развитии или образования нового типа.

Такие показатели, как рассеянность или наоборот, изобилие растений, степень плотности покрова, горизонтальное чередование видов растений, изменения положений органов растений в зависимости от высоты над поверхностью или на глубине почвы относятся к фитоценотическим признакам.

Аномалии роста, такие как отклонение развития и роста от нормальных закономерностей, довольно часто используются в биоиндикаторных методиках. Их разделяют на несколько групп:

- аномалии, проявляющиеся гигантизмом или карликовостью
- аномалии, проявляющиеся в деформации тканей растения (листья, плоды, ветки или ствол)
- аномалии, проявляющиеся как появление новообразований

Наибольший интерес заключается в нескольких видах:

- лентовидное уплощение и сращение стеблей, корней и цветоносов;
- виды, если у них тычинки превращаются в лепестки;
- пролификация прорастание цветков и соцветий;
- асцидия воронковидные, чашевидные и трубчатые листья у растений с пластинчатыми листьями;
- виды, у которых наблюдается обратное развитие органов;
- индивиды, у которых образована ниточная структура пластинки;
- если тычинки превращаются в плоский лист

Для проведения мониторинга в масштабах популяции и фитоценоза обычно оценивается общее состояние окружающей среды. Отдельные виды растений используются для отслеживания концентрации конкретных веществ.

4.1.2 Особенности использования животных в качестве биоиндикаторов

Отличительная возможность проведения мониторинга используя позвоночных представителей бентоса заключается в их близости к человеку. Главным недостатком является затрудненность при поиске и идентификации их в среде обитания и укороченный отрезок времени для проведения морфо-анатомических наблюдений.

Особенности поведения и параметры жизнедеятельности очень чувствительны изменению привычной среды обитания. Физиологические функции организма мгновенно отвечают любому появлению в теле токсикантов и загрязнений. Эффект от любого загрязнителя, воздействующего даже на определенную часть организма или орган проявляется на всем организме. Первыми признаками становятся изменение биоритмов (дыхание, сердцебиение, репродукция и пищеварение)

По правилу, набор индикаторов должен быть один, чтобы была возможность сравнить материалы, собранные различными людьми-исследователями.

Далее перечислены критерии отбора млекопитающих животных для биомониторинга:

- Должны принадлежать не к одному звену трофической цепи
- Не проявляют явной оседлости или склонности к миграции

- Ареал обитания широк. Эндемичные виды не могут быть использованы
- Должна быть принадлежность к натуральным сообществам. Исключаются домашние животные или питающиеся вблизи заселенных территорий.
- Число представителей должно хватать для создания минимальной статистики
- Метод добычи или отлова должен быть доступен

Используя перечисленные критерии, можно определить несколько видов животных, пригодных для мониторинга на территории СНГ:

- обыкновенная бурозубка

- европейский крот

- алтайский крот

- бурый медведь

- лось

- рыжая полёвка

- красная полёвка

4.1.3 Особенности использования микроорганизмов в качестве биоиндикаторов

Среди быстро реагирующих на изменение окружающей среды отличаются микроорганизмы. Из-за способности микроорганизмов разрушения соединений любого происхождения, они всегда в тесной связи с составом веществ в той

среде, и это прямо влияет на их активность и развитие. Поэтому обязательно иметь данные о составе и качестве, а также показателей активности микроорганизмов.

Процесс концентрирования пробы проводится с целью изучения морфологических отличий и определения их общего количества в объеме. В процессе пользуются фильтрами Зейтца. Можно также их заменить другой конструкцией с размерами пор на 0,35%; 0,5; 0,23%; 03-04 мкм. От 10 до 20 мл может колеблется объем фильтруемой воды, что зависит от водоема. Каплю иммерсионного масла переносят на предметное стекло и по перемещению сетчатого микрометра легко микроскопируют. Но, перед всем этим, необходимо перекрасить фильтр, и только после подсчитать количество микроорганизмов.

Для получения более точных результатов, подсчитывают 20 полей зрения и при условии, чтобы в каждом количестве микробов не должно быть меньше 50.

По следующей формуле вычисляют, сколько в 1 мл воды (N) содержатся клетки бактерий, способных образовать колонию.

$$N = \frac{K_n}{V},$$

где K есть отношение площади фильтра (S, мкм²) на площадь присчитывания клеток (S₁, мкм²); n - среднее число бактерий в одном поле зрения; V- объём профильтрованной воды, мл.

Необходимо определить с помощью микрометра размеры клеток, для получения значения показателя биомассы бактерий.

Количество клеток сапрофитных организмов, которое приходится на 1 мл воды называют показателем микробного числа. И для оценки качества воды именно ею часто пользуются. По ГОСТ-у, это число не должно быть больше 100,

если речь идет о водопроводной воде. Конечно, в загрязненных водоемах это число может достигать до миллионов, а в чистых оно нивелируется между 10-100.

Данные по составу микроорганизмов также используются наряду с микробным числом. К примеру, развитие нитчатых бактерий больше всего наблюдаются в полисапробной зоне. Энтеробактерии *Escherichia coli*, присутствующие в кишечнике человека, характеризуют коллииндекс, что в свою очередь, очень высокий в воде с фекальными отходами. Индекс этот рассчитывают исходя количества колоний *Escherichia coli*. Также рассчитывают обратный показатель-наименьший объем воды, в котором содержится одна кишечная палочка.

4.2 Требования к методам биотестирования

Чтобы результаты современных методов биотестирования соответствовали критериям по решению комплекса задач, должны отвечать следующим требованиям: должны быть максимально чувствительными для более точных замеров экологических изменений, чтоб уже в начальной стадии можно было их предотвратить; не только на природе, практике, но и при лабораторных условиях эти методы должны быть удобными для создания моделей, а также приветствуется простота методов и для широкого распространения быть не слишком дорогими; выявлять самые важные факторы жизнедеятельности; применяемость для оценки всех изменений среды обитания; соответствие методов для всех видов существ при любых воздействиях.

Другое не менее важное требование заключается в том, что методы должны отличаться универсальностью по отношению к физ-химическим и биологическим оцениваемым воздействиям, а также по типу экосистем и виду животных.

Если обобщить все требования, то метод должен быть достаточно простым, доступным и с широким диапазоном использования.

4.2.1 Место биотестирования в системе экологического мониторинга

В природной среде, при низком содержании концентраций ЗВ, биологические методы отличаются эффективностью в диагностике негативных изменений. Тем не менее, они также должны соответствовать кое-каким требованиям:

- Нужны именно те виды, которые относятся к той зоне, где располагается объект;
- Организмы должны быть равномерно распространены по площади изучаемой территории для лучшего исследования;
- Их реакции на отклонения свойств среды обитания должны выражены как по качеству, так по количеству;
- Естественно, сама биология видов должна быть хороша известна.

Биоиндикаторы позволяют:

- Можно выяснить, на сколько опасна то или иное вещество для живой природы;
- Предполагать дальнейший сценарий развития экосистемы;
- Определять места скопления загрязнений в экосистемах;
- Следить за скоростью изменений в ОПС.

Особенно следует отметить то, что биоиндикаторы показывают уровень опасности состояния ОС как и животным, так и для человека.

Среди чувствительных биоиндикаторов отличаются мхи, грибы, водоросли и т.д. Пыльца растений или хвоя сосны также могут быть выбраны в качестве индикатора. А среди животных, к примеру, рыбы, моллюски, ракообразные могут быть в роли индикаторов, которые положительно или отрицательно реагируют на антропогенное изменение среды.

Если наблюдается высокая плотность организмов, толерантных к изменениям или вовсе отсутствие каких-либо популяций, то это говорит о большом уровне загрязнений [21].

4.2.2 Тест – объекты, используемые для биотестирования

Наиболее чувствительными из организмов, пригодных для эко мониторинга и контроля качества водных объектов являются:

- Дафнии
- Зеленые водоросли и протококковые
- Некоторые виды аквариумных рыб (гуппи и данио – рерио) и аборигенных (голец, гольян)

Все перечисленные тест организмы имеют свои преимущества и недостатки перед другими группами и ни один нельзя назвать универсальным тестером. Однако, большинство загрязнителей (порядка 80%) могут быть определены ими [24].

4.3 Методика биотестирования

Процесс отбора проб воды протекает следующим образом:

1. Согласно методике биотестирования, отбирают нужное количество воды.
При этом пользуются стеклянной посудой, которую потом плотно закрывают пробкой.
2. Все пробы, согласно методике, не должны замораживаться или контактировать с химическими веществами.
3. Тестирование проводят в 6 часов после отбора. Но в некоторых случаях можно использовать пробы, лежащие в темноте при температуре 42 градусов Цельсия не более 3 суток.
4. Обязательно, перед тестированием, пробу пускают через фильтровальную бумагу. Но в зависимости от цели, это можно отменить.
5. Чтобы определить среднюю летальную дозу вещества-ЛК50, готовят сразу 5 проб, разбавленную водой или серию из пяти растворов, которые отличаются концентрациями исследуемого вещества [8, 22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, после изучения всей доступной информации об экологической обстановке в Невской губе, проведенных натурных исследованиях, анализа всех полученных данных и подведения промежуточных кратких итогов, можно сделать вывод о том, что экологическая обстановка в таком важном в экономическом и геополитическом плане, городе Санкт – Петербурге, требует очень пристального внимания со стороны экологов. Большое количество соседствующих промышленных, рекреационных, культурных и социально значимых объектов обязывает к поддержанию экологической обстановки в точке баланса, в которой все представители флоры и фауны могли бы осуществлять активную жизнедеятельность на подходящем уровне, экономика развиваться и функционировать, а для всех жителей и гостей города имелись все комфортные условия для жизни и отдыха.

Несмотря на то, что технологии методов экологического мониторинга уже достаточно развиты, существует ряд задач необходимых к решению. Решение этих задач и постановка новых будут способствовать улучшению отслеживания и контроля качества жизни человека, животных и произрастания фауны.

Проведенные натурные исследования показали, что качество воды на главном объекте исследования (намывных территориях), находится на очень низком уровне. Условия для развития экосистемы далеки от идеальных, или хотя бы приемлемых. Перед тем как можно будет говорить о восстановлении всех эко

процессов, с учетом регулярного антропогенного воздействия, пройдут десятилетия. Необходим тщательный контроль деятельности промышленных предприятий, предприятий, занимающихся работой с твердыми коммунальными отходами и строительным мусором, контроль деятельности строительных организаций и подрядчиков. Также необходимы активные действия по улучшению экологической обстановки, активное взаимодействие специалистов, привлечение новых кадров и разработка новых технологий для решения существующих задач и постановки новых.

Список использованной литературы

1. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биоллюминесценции тест-системой «Эколюм». МПР РФ.— М.: 2004. 16 с.
2. Методика определения токсичности проб вод (природных, хозяйственно-питьевых, промышленных сточных) экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». — Санкт-Петербург: Спектр-М, 2005. — 13 с.
3. Григорьев Ю. С. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла. Красноярск: КГУ. — 2004. — 19 с.
4. Жмур Н. С., Орлова Т. Л. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. — М.: Акварос, 2001. — 44 с.
5. В.Н. Никулина и М.С. Голубков 2016 Структура и функционирование фитопланктона в эстуарии реки Невы в 2011–2016 гг // *Труды Зоологического института РАН*, 2020, 324(1): 162–174
6. М.Б. Шилин, В.И. Сычев, В.Л. Михеев, Е.П. Истомин, Ю.А. Леднова, С.В. Лукьянов, В.М. Абрамов Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ // *ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ*, 2020, № 60 С. – 354.
7. ГетИнфо / Интернет-ресурс

(<https://www.geoinfo.ru/product/arhangelskij-igor-vsevolodovich/inzhenerno-geologicheskie-processy-i-yavleniya-pri-sozdanii-iskusstvennyh-territorij-v-nevskoj-gube-39870.shtml>)

8. *Голубков С. М.* Экосистема восточной части Финского залива: биоразнообразие и экологические проблемы // Региональная экология. 2014. No 34 (35). С. 15–20.
9. *Голубков С. М., Максимов А. А., Голубков М. С. и др.* Функциональный сдвиг в экосистеме восточной части Финского залива под влиянием естественных и антропогенных факторов // Доклады академии наук. 2010. Т. 432. No 3. С. 423–425.
10. *Кармазинов Ф. В., Кинебас А. К., Бекренев А. В., Сулейманова Э. К., Холодкевич С. В., Иванов А. В.* Опыт эксплуатации систем биомониторинга качества воды в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и санитарная техника. 2007, No 7, ч. 2. С. 2–6.
11. *Федотов В. П., Холодкевич С. В., Строчило А. Г.* Изучение сократительной активности сердца раков с помощью нового неинвазивного метода // Ж. эвол. биохимии и физиологии. 2000. Т. 36, No 3. С. 219–222.
12. *Холодкевич С. В. и др.* Биоэлектронный мониторинг поверхностных вод // Мир измерений. 2011. No 10. С. 6–13.
13. *Холодкевич С. В., Иванов А. В., Трусевич В. В., Кузнецова Т. В.* Новые физиологические биомаркеры для биоиндикации состояния (здоровья) водных экосистем на основе оценки адаптивной способности двустворчатых моллюсков с помощью стандартизованных тест-воздействий // Материалы IV Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.

А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» и школы-семинара «Современные методы исследования и оценки качества вод, состояния водных организмов и экосистем в условиях антропогенной нагрузки». В двух частях. Часть I. (Борок, 24–29 сентября 2011 г.). — Борок, 2011. С. 224–227.

14. Холодкевич С. В., Иванов А. В., Корниенко Е. Л., Куракин А. С. Способ биологического мониторинга окружающей среды (варианты) и система для его осуществления. Бюл. изобр., 2007, №29. Патент РФ № 2308720 С1, МПК G01N 33/18 (2006.01); G01N 21/17 (2006.01). Приоритет от 20.06.2006 г.

15. Холодкевич С. В., Куракин А. С., Корниенко Е. Л., Лехтонен К. К., Штрэнд Я., Кузнецова Т. В., Камардин Н. Н., Любимцев В. А., Иванов А. В.

Биоиндикация экологического состояния водных экосистем на основе биомаркеров кардиоактивности бентосных беспозвоночных // Современные проблемы гидроэкологии. Тезисы докладов 4-й Международной научной конференции, посвященной памяти профессора Г. Г. Винберга (11–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург, Россия). — Санкт-Петербург. 2010. С. 198.

16. Холодкевич С. В., Кузнецова Т. В., Иванов А. В., Трусевич В. В., Куракин А. С. Ультрадианные ритмы в кардиоактивности двустворчатых моллюсков // ДАН. 2009, № 426, № 6. С. 831–833.

17. Adi Fdil Mouabad M. A., Outzourhit A., Benhra A., Maarouf A., Pihan J. C.

Valve movement response of the mussel *Mytilus galloprovincialis* to metals (Cu, Hg, Cd and Zn) and phosphate industry effluents from Moroccan Atlantic coast // Ecotoxicology. 2006 July. V. 15(5). P. 477–486.

18. Bamber S. D., Depledge M. H. Evaluation of changes in the adaptive physiology of shore crabs (*Carcinus maenas*) as an indicator of pollution in estuarine environments // Mar. Biol. 1997, V. 129. N 4. P. 667–672.

19. *Bamber S. D., Depledge M. H.* Responses of shore crabs to physiological challenges following exposure to selected environmental contaminants // *Aquatic Toxicology*. 1997. V. 40. P. 79-92.
20. *Borcherding J.* Ten Years of Practical Experience with the Dreissena-Monitor, a Biological Early Warning System for Continuous Water Quality Monitoring // *Hydrobiologia* — The Hague; 556, 1. P. 417-426.
21. *Depledge M. H., Aagaard A., Györkös P.* Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioral biomarkers // *Mar. Pollut. Bull.* 1995. V. 31. P. 19–27.
22. *Depledge M. H., Andersen B. B.* 1990. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates // *Comp Biochem Physiol.* 96A(4). P. 473-477.
23. *Depledge M. H., Galloway T. S.* Healthy animals, healthy ecosystems // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2005. V. 3(5). P. 251–258.
24. *Hagger J. A., Galloway T. S., Langston W. J., Jones M. B.* Application of biomarkers to assess the condition of European Saltwater Sites // *Environmental Pollution*. 2009. V. 157. P. 2003–2010.
25. *Handy R. D., Depledge M. H.* Physiological Responses: Their Measurement and Use as Environmental Biomarkers in Ecotoxicology // *Ecotoxicology*. 1999. V. 8. P. 329–349.

26. Kholodkevich S. V., Fedotov V. P., Ivanov A. V., Kuznetsova T. V., Kurakin A. S., Kornienko E. L. Fiber-optic remote biosensor systems for permanent biological monitoring of the surface waters quality and bottom sediments in the real time, <http://www.ices.dk/products/CMdocs/cm-2007/I/I-2007.pdf>
27. Kholodkevich S. V., Ivanov A. V., Kurakin A. S., Kornienko E. L., Fedotov V. P. Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations // Journal of Environmental Bioindicators. 2008. V. 3, No 1. P. 23–34.
28. Kholodkevich S. V., Kuznetsova T. V., Lehtonen K. K., Kurakin A. S. Experiences on ecological status assessment of the Gulf of Bothnia different sites based on cardiac activity biomarkers of caged mussels (*Mytilus edulis*) // ICES Annual Science Conference 2011, 19–23 September, Gdansk, Poland. <http://www.ices.dk/products/CMdocs/CM-2011/R/R2011.pdf>.
29. Kuznetsova T. V. Change of salinity of medium as a functional loading in estimating physiological state of the crayfish *Astacus leptodactylus* // J. Evol. Biochem. and Physiol. September 2013. V. 49(5). P. 498-502.
30. Standards catalogue / Интернет ресурс (<http://www.iso.org/iso/en/CatalogueListPage.CatalogueList?COMMID=3729>)
31. Turja R., Höher N., Snoeijis P., Baršienė J., Butrimavičienė L., Kuznetsova T., Kholodkevich S. V., Devier M.-H., Budzinski H., Lehtonen K. K. A multibiomarker approach to the assessment of pollution impacts in two Baltic Sea coastal areas in Sweden using caged mussels (*Mytilus trossulus*) // Sci Total Environ, 2014, V. 473–474. P. 398–409.
32. Wells P. G., Depledge M. H., Butler J. N., Manock J. J., Knap A.H. Rapid toxicity assessment and biomonitoring of marine contaminants – exploiting the potential of

rapid biomarker assays and microscale toxicity tests // Mar. Pollut. Bull. 2001. V. 42. No 10. P. 799–804.

33. Холодкевич С. В., Кузнецова Т. В., Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий Финского залива ДАН. 2015, No 426, No 6. С. 5-11.

34. Curtis, T.M., Williamson, R., and Depledge, M.H., Simultaneous, long-term monitoring of valve and cardiac activity in the blue mussel *Mytilus edulis* exposed to copper, *Mar. Biol.*, 2000, vol. 136, no. 5, pp. 837–846.

35. Brown, R.J., Galloway, T.S., Lowe, D., Browne, M.A., Dissanayake, A., Jones, M.B., and Depledge, M.H., Differential sensitivity of three marine invertebrates to copper assessed using multiple biomarkers, *Aquat. Toxicol.*, 2004, vol. 66, no. 3, pp. 267–278.

36. Fokina, N.N., Ruokolainen, T.R., Nemova, N.N., and Bakhmet, I.N., Changes of blue mussels *Mytilus edulis* L. composition under cadmium and copper toxic effect, *Biol. Trace Elem. Res.*, 2013, vol. 154, no. 2, pp. 217–225. doi 10.1007/s12011-013-9727-3

37. Bloxham, M.J., Worsfold, P.J., and Depledge, M.H., Integrative biological and chemical monitoring: in situ physiological responses of freshwater crayfish to fluctuations in environmental ammonia concentrations, *Ecotoxicology*, 1999, vol. 8, no. 3, pp. 225–237.

38. Bakhmet, I.N., Fokina, N.N., Nefedova, Z.A., and Nemova, N.N., Physiological-biochemical properties of blue mussel *Mytilus edulis* adaptation to oil contamination, *Environ. Monit. Assess.*, 2009, vol. 155, no. 1–4, pp. 581–591. doi 10.1007/s10661-008-0457-5

39. *Depledge, M.H. and Fossi, M.C.*, The role of biomarkers in environmental assessment (2). Invertebrates, *Ecotoxicology*, 1994, vol. 3, no. 3, pp. 161–172. doi 10.1007/BF00117081
40. Оценка современного состояния и прогноз тенденций изменения экосистемы р. Нева.// Отчет по договору No 3/10-13, ФГБУ «ГГИ», СПб, 2013, - 130 с.
41. Голубев Д.А., Зайцев В.М., Клеванный К.А., Леднова Ю.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Шилин М.Б. Комплексные исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и восточной части Финского залива // «Инженерные изыскания», 2010, No 5, С.36-42.
42. Шилин М.Б., Мамаева М.А., Леднова Ю.А., Волнина О.В. Дреджинг как фактор оптимизации экологической ситуации в береговой зоне // Гидротехника, 2012, No 1 (26): С.100 – 103.
43. Град Петра / интернет-ресурс.
<https://photo.gradpetra.net/views/39965.html>